

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

BADJI MOKHTAR-ANNABA UNIVERSITY
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA



جامعة باجي مختار - عنابة

Faculté : Technologie

Département : Génie Mécanique

Domaine : Sciences et Technologies

Option : Ingénierie de la Maintenance

Mémoire de Fin d'Etudes

Thème :

*Amélioration de la maintenance basée sur la
fiabilité (MBF /RCM) à l'entreprise TSS*

Présenté par: SAIDI IBTISSEM

Encadrant : KHELIF.R

DEVANT LE JURY

PRESIDENT:	Mr. BENAMIRA.A	UNIV .ANNABA
EXAMINATEURS:	Pr. KHELIF R.	UNIV .ANNABA
	Mr. KALLOCHE.A	UNIV .ANNABA

Année Universitaire : 2024/2025

REMERCIEMENTS

Avant tout, je remercie le bon Dieu qui m'a donné la force et la patience pour terminer mes études.

*Je tiens à remercier **Pr. KHELIF R.** Encadrant de ce mémoire qui a ménagé un effort afin de me permettre de mener à bien mon modeste travail et à qui j'exprime ma gratitude et mes respects.*

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

Un grand merci aux responsables de l'unité TSS qui m'ont facilité la tâche dans l'élaboration de ce mémoire.

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.

SAIDI IBTISSEM.

DÉDICACES

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

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.*

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 côtés a toujours été
ma source de force pour affronter les différents
obstacles.*

Une spéciale dédicace à :

Mon frère, ma grande mère

*Toute la famille, mon ami proche, Mes amies
chacun a son nom, mes collègues et tous les
étudiants de Promo2020/2025.*

SAIDI IBTISSEM.

Résumé

Ce mémoire propose une démarche d'amélioration de la maintenance au sein de l'unité TSS de SIDER El HADJAR par l'adoption de la Maintenance Basée sur la Fiabilité (RCM). Elle s'appuie sur l'analyse de criticité des équipements, l'étude de leur fiabilité, et l'application de la méthode AMDEC à l'accouplement HOLSET du laminoir à pas de pèlerin. La stratégie aboutit à un plan structuré d'implémentation de la RCM, intégrant une organisation spécifique, un programme de formation, un suivi par indicateurs de performance, et des outils d'aide à la décision. Les résultats attendus sont la réduction des pannes imprévues, l'allongement de la durée de vie des équipements, et l'optimisation des coûts de maintenance.

Abstract:

This thesis presents an approach to improving maintenance at the TSS unit of SIDER El HADJAR through the adoption of Reliability-Centered Maintenance (RCM). The methodology is based on equipment criticality analysis, reliability studies, and the application of the FMEA method to the HOLSET coupling of the pilgrim step mill. The strategy results in a structured implementation plan for RCM, including a dedicated organization, a training program, performance monitoring indicators, and decision-support tools. The expected outcomes are a reduction in unexpected breakdowns, extended equipment lifespan, and optimized maintenance costs.

ملخص

تقدم هذه المذكرة منهجا للمساهمة في تحسين الصيانة داخل وحدة مطحنة الأنابيب الملحومة التابعة لشركة سيدار الحجار من خلال تبني صيانة قائمة على الموثوقية. يعتمد النهج المقترح على تحليل أهمية المعدات، ودراسة الموثوقية، وتطبيق طريقة تحليل أنماط الفشل وتأثيرها وخرجتها (لا مذك) على وصلة ولسات الخاصة بدرفيلي الدفع. وتؤدي المقاربة الى اقتراح منظم لتطبيق الصيانة القائمة على الموثوقية، يشمل هيكل تنظيميا مخصصا، وخطة تدريب، ومتابعة بواسطة مؤشرات الأداء، وأدوات اتخاذ القرار. وتهدف النتائج الى تقليل الأعطال غير المتوقعة، وإطالة عمر الآلات، وتحسين تكاليف الصيانة.

Sommaire

Remerciements.....	A
Dédicace.....	B
Résumé	C
Sommaire	D.E.F
Liste des figures.....	G.H
Liste des tableaux.....	I
Introduction générale.....	1
 Chapitre I : Présentation de la maintenance dans l'entreprise SIDER D'EL HADJAR (TSS).	
I.1.Description de l'entreprise TSS.....	4
I.1.1. Organisation de l'Entreprise SIDER TSS.....	6
I.1.2. Processus de la tuberie sans soudure	7
I.1.3. l'aciérie électrique.....	8
I.1.4. Processus de fabrication du tube sans soudure.....	9
I.1.5. Les ateliers de production.....	10
I.1.5.A. Le laminoir à tubes (LAT).....	10
I.1.5.B. Parachèvement des tubes (PAT).....	18
I.1.6. Procédures de contrôle des tubes.....	20
I.2. Présentation du service maintenance de l'entreprise TSS.....	21
I.2.1. Organigramme du département maintenance.....	21
I.2.2. Ses missions.....	22
I.2.3. La maintenance appliquée au niveau du SIDER (TSS).....	22
I.2.3.1. La maintenance préventive.....	23
I.2.3.1.1. Organigramme de maintenance préventive.....	24
I.2.3.1.2. Processus de la maintenance Préventive.....	25

I .2.3.2. La maintenance corrective.....	25
I .2.3.2.1. Organigramme de maintenance curative.....	26
I .2.3.2.2. Processus de la maintenance curative.....	27
Chapitre II: État de l'art sur la maintenance basée sur la fiabilité (MBF/RCM)	
II.1. Définition de la Maintenance Basée sur la Fiabilité (MBF/RCM).....	29
II.1.1. Définition normalisée (selon la norme SAE JA1011).....	29
II.1.2. Principes fondamentaux de la RCM	29
II.1.3. Objectifs de la Maintenance Basée sur la Fiabilité.....	31
II.1.4. Avantages de la maintenance basée sur la fiabilité.....	31
II.1.5. Les étapes clés de la démarche MBF/RCM.....	32
II.1.6. Description des outils et des méthodes utilisés dans la MBF/RCM.....	38
II.1.7. Présentation des exemples concrets d'application de la MBF/RCM dans d'autres entreprises.....	42
Chapitre III: Etude de la criticité des machines	
III.1.1. Définition de la notion de criticité des équipements.....	47
III.1.2. Présentation des méthodes d'analyse de la criticité.....	48
III.1.3. Sélection des équipements critiques de l'entreprise SIDER El HADJER unité TSS.....	49
III.1.3.1. Classification des machines critiques.....	50
III.1.3.2. Présentation de l'accouplement « HOLSET »	52
III.1.3.2.1. Composition de l'accouplement « HOLSET ».....	54
III.1.3.2.2. Caractéristiques techniques de l'accouplement « HOLSET ».....	54
III.1.3.2.3. Description de fonctionnement.....	55
III.1.3.2.4. Analyse de quelques défaillances.....	58
III.1.4. Choix des équipements critiques retenus pour l'analyse MBF/RCM.....	59
III.1.4.1. Etude de la fiabilité.....	59
III.1.4.2 Méthode de calcul des paramètres de la fiabilité.....	63
III.1.4.3. Calcule des paramètres de fiabilité.....	65

Chapitre IV : Analyse des modes de défaillances, de leur effet et leur criticité d'une machine critique

IV.1. Introduction.....	68
IV.1.1. Tableau de l'analyse AMDEC.....	70
IV.1.2. Classification des éléments.....	71
IV.1.3. Diagramme des éléments.....	71
IV.1.4. Tableau Diagramme des risques.....	72

Chapitre V : Proposition d'une démarche organisationnelle pour la mise en place de la MBF/RCM dans l'entreprise

V.1. Proposition d'une feuille de route pour la mise en place de la MBF/RCM dans l'entreprise TSS	74
V.2.1. Définition détaillée des rôles et des responsabilités	78
V.2.2 Plan de formation détaillé.....	80
V.2.3 Plan de communication détaillé.....	82
V.3.1. Système de suivi et d'évaluation détaillé.....	83
V.3.1.1. Indicateurs de Performance Clés.....	83
V.3.1.2. Collecte des Données.....	84
V.3.1.3. Analyse des Données.....	84
V.3.1.4. Tableaux de Bord.....	84
V.3.1.5. Rapports et Revues.....	84
Conclusion.....	85
Bibliographie.....	86

Liste des figures :

Chapitre I :

Figure I.1 : Présentation de SIDER TSS.....	4
Figure I.2 : Situation géographique De l'unité TSS (Image Google earth).....	5
Figure I.3 : Organigramme de l'entreprise TSS.....	6
Figure I.4 : Processus de la tuberie sans soudure.....	7
Figure I.5 : Lingots ronds.....	8
Figure I.6 : Lingots dodécagonaux.....	8
Figure I.7 : Processus de fabrication du tube sans soudure.....	9
Figure I.A.1 : Processus du laminoir à tube.....	10
Figure I.A.2: Parc à lingots.....	11
Figure I.A.3: Four à sole tournante partie enfournement et défournement.....	11
Figure I.A.4: Presse à percer.....	12
Figure I.A.5 : Presse à centrer.....	12
Figure I.A.6 : Four à plateau.....	12
Figure I.A.7 : Laminoir oblique.....	12
Figure I.A.8 : Train 14.....	13
Figure I.A.9 : Laminoir à pas de pèlerin.....	13
Figure I.A.10: Lame de scie.....	13
Figure I.A.11 : Four à longerons.....	14
Figure I.A.12 : Calibreur à 5 cages.....	14
Figure I.A.13 : Chaines de refroidissement des tubes.....	14
Figure I.A.14 : Dresseuse rotative.....	15
Figure I.A.15 : CND.....	15
Figure I.A.16 : BARDONS.....	15
Figure I.A.17: Banc d'épreuve hydraulique.....	16
Figure I.A.18 : Synoptique du processus de fabrication au niveau du LAT.....	17
Figure I.B.1 : Processus de parachèvement a tube.....	18
Figure I.B.2 : Synoptique du processus de fabrication au niveau du PAT.....	19

Figure I.8 : Organigramme du département maintenance.....	21
Figure I .2.3.1.1: Organigramme de maintenance préventive.....	24
Figure I .2.3.2.1. : Organigramme de maintenance curative.....	26

Chapitre II:

Figure II.1: Le diagramme d'Ishikawa.....	38
Figure II.2 : Diagramme de Pareto ou courbe ABC.....	39
Figure II.3 : Les outils et des méthodes utilisés dans la MBF/RCM.....	42
Figure II.4: Exemples de secteur d'application de la MBF.....	45

Chapitre III :

Figure III.1: La courbe ABC.....	51
Figure III.2: Laminoir à pas de pèlerin.....	53
Figure III.3 : Chaîne cinématique du laminoir à pas de pèlerin.....	53
Figure III.4 : Photo de l'accouplement HOLSET.....	54
Figure III.5 : Photo du plateau de l'accouplement HOLSET.....	55
Figure III.6 : Schéma du plateau selon le dossier technique « HOLSET ».....	56
Figure III.7: Schéma de définition de la douille (Diamètre 185 mm).....	56
Figure III.8 : Photo de la douille de l'accouplement.....	57
Figure III.9 : Schéma de définition de la goupille (Diamètre 104 mm).....	57
Figure III.10: Photo de la goupille de l'accouplement HOLSET.....	58
Figure III.11: Photo d'une goupille.....	58
Figure III.12: Photo d'une goupille rompue.....	59
Figure III.13: Méthode de calcul des TBF et des TTR.....	63

Chapitre IV :

Figure IV.1 : Schéma accouplement HOLSET.....	69
Figure IV.2 : Diagramme des éléments.....	71
Figure IV.3 : Diagramme des risques.....	71

Liste des tableaux

Chapitre I :

Tableau I .2.3.1.2 : Processus de la maintenance préventive.....	25
Tableau I .2.3.2.2. : Processus de la maintenance Curative.....	27

Chapitre III :

Tableau III .1 : Tableau de l'analyse ABC.....	51
Tableau III. 2: Historique des pannes de HOLSET.....	59
Tableau III.3 : Liste des TBF en heures enregistrées en 2022.....	64

Chapitre IV :

Tableau IV.1 : Tableau de l'analyse AMDEC.....	70
Tableau IV.2 : Classification des éléments.....	71
Tableau IV.3 : Tableau des risques.....	72

Introduction générale

La maintenance est l'ensemble des actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise. Plusieurs auteurs présentent la fonction maintenance comme un ensemble d'activités regroupées en deux sous-ensembles : les activités à dominante technique et les activités à dominante gestion.

D'autre part, le domaine de la maintenance industrielle est en développement continu vu les grands projets qui se dessinent dans les travaux des hydrocarbures, des routes, des nouveaux moyens de transports urbains comme les tramways, des infrastructures de construction comme les logements et industries agroalimentaires.

Ce projet de fin d'étude est le résultat des travaux effectués durant une période de stage pratique au sein du département maintenance du complexe SIDER D'HADAR Unité TSS.

Notre objectif, dans ce mémoire, est de développer le thème « **l'amélioration de la maintenance basée sur la fiabilité** » et de rendre la maintenance plus efficace en se concentrant sur la prévention des pannes plutôt que sur la simple réparation. Il s'agit d'utiliser des méthodes proactives et prédictives pour augmenter la disponibilité des équipements, réduire les coûts, améliorer la sécurité et prolonger la durée de vie des actifs de l'unité TSS à complexe d'El-Hadjar. L'idée clé est de passer d'une approche réactive à une approche anticipative pour optimiser la performance globale de l'usine.

Comme une machine d'application, nous avons opté pour la machine accouplements HOLSET qui existe au niveau du laminoir à pas de pèlerins à la TSS atelier de laminage à tube LAT. Une première approche présente la fonction maintenance dans l'entreprise et une seconde s'intéresse à une revue des mécanismes d'accouplement et leurs types et applications. Nous avons ensuite étudié l'historique des arrêts relatifs à l'accouplement HOLSET en menant une étude complète de fiabilité.

Ce travail est divisé en cinq chapitres :

Le premier chapitre est dédié à la présentation de la maintenance dans l'entreprise d'accueil.

Dans un deuxième chapitre, nous faisons un état de l'art sur la maintenance basée sur la fiabilité (MBF/RCM).

Le troisième chapitre sera consacré à une étude de la criticité des machines.

Dans le quatrième chapitre, nous faisons une analyse des modes de défaillances, de leur effet et leur criticité des machines critiques.

Enfin, une proposition d'une démarche organisationnelle pour la mise en place de la MBF/RCM dans l'entreprise sera abordée dans le cinquième chapitre.

Une conclusion finalisera le mémoire.

Chapitre I : Présentation de la maintenance dans l'entreprise SIDER D'EL HADJAR (TSS)

I.1. Description de l'entreprise TSS :



Figure I.1 : Présentation de SIDER TSS

L'entreprise est implantée sur le site du complexe **SIDER EL HADJAR** Annaba et a pour mission principale la production des tubes sans soudure (figure n°1). Ils sont destinés principalement à l'industrie du pétrole et du gaz en tube de haute qualité, Line Pipe et Casing des 6 pouces au 14 pouces. Sa capacité annuelle est de 90 000 tonnes. Son démarrage a eu lieu en 1974 [1].

Ses principaux clients sont :

- SONATRACH
- SONELGAZ
- NAFTAL

Localisation du site et l'environnement :

Les ateliers de production **SIDER TSS** se trouvent implantés dans l'enceinte du complexe sidérurgique d'el- **HADJAR**.

SITE :

Le site de la tuberie sans soudure a une superficie de 31,5 ha. Des surfaces couvertes atteignent 81 300 m² dont :

- Ateliers de productions : 78 000 m²
- Blocs socio administratifs : 3300 m²

La surface des routes, parking et aires de stockage est de : 233 700 m².

Environnement :



SIDERTSS est située dans un environnement industrialisé et viabilisé bénéficiant de toutes les infrastructures indispensables à la bonne marche industrielle.



Figure I.2 : Situation géographique De l'unité TSS (Image Google earth)

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.

La tuberie fabrique tous ses tubes sans soudure selon les spécifications de l'API (American Petroleum Institute).

Depuis **1986**, la TSS a obtenu la reconnaissance de la qualité de ses produits par l'obtention du label  Monogramme API  délivrée par l'institut Américain du Pétrole.

De plus la Tuberie Sans Soudure a été l'une des premières en Algérie à obtenir, en **1999**, la certification **ISO 9001**.

Les équipements de procès et de contrôles sont remis périodiquement à jour selon les exigences des spécifications API 5L (pour les line pipe) et 5CT (pour les casings et tubing).

- **Les principaux produits de l'Entreprise [1]**

- Les tubes 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 ;
- Les Tubes Tarifs et Divers.

- **Les ateliers de production :**

a)-**LAT** : Le laminoir à tubes qui permet la fabrication des tubes avec un large éventail des diamètres et différentes épaisseurs.

b)-**PAT** : Le parachèvement à Tubes spécialisé dans le traitement thermique des aciers et dans le filetage et la finition des extrémités des tubes et manchons.

I.1.1. Organisation de l'Entreprise SIDER TSS :

L'Entreprise **SIDER TSS** est structurée en tête par une direction générale, elle est composée de quatre directions, trois départements et plusieurs services, la structure de TSS peut se schématiser selon l'organigramme suivant, figure n° 03.

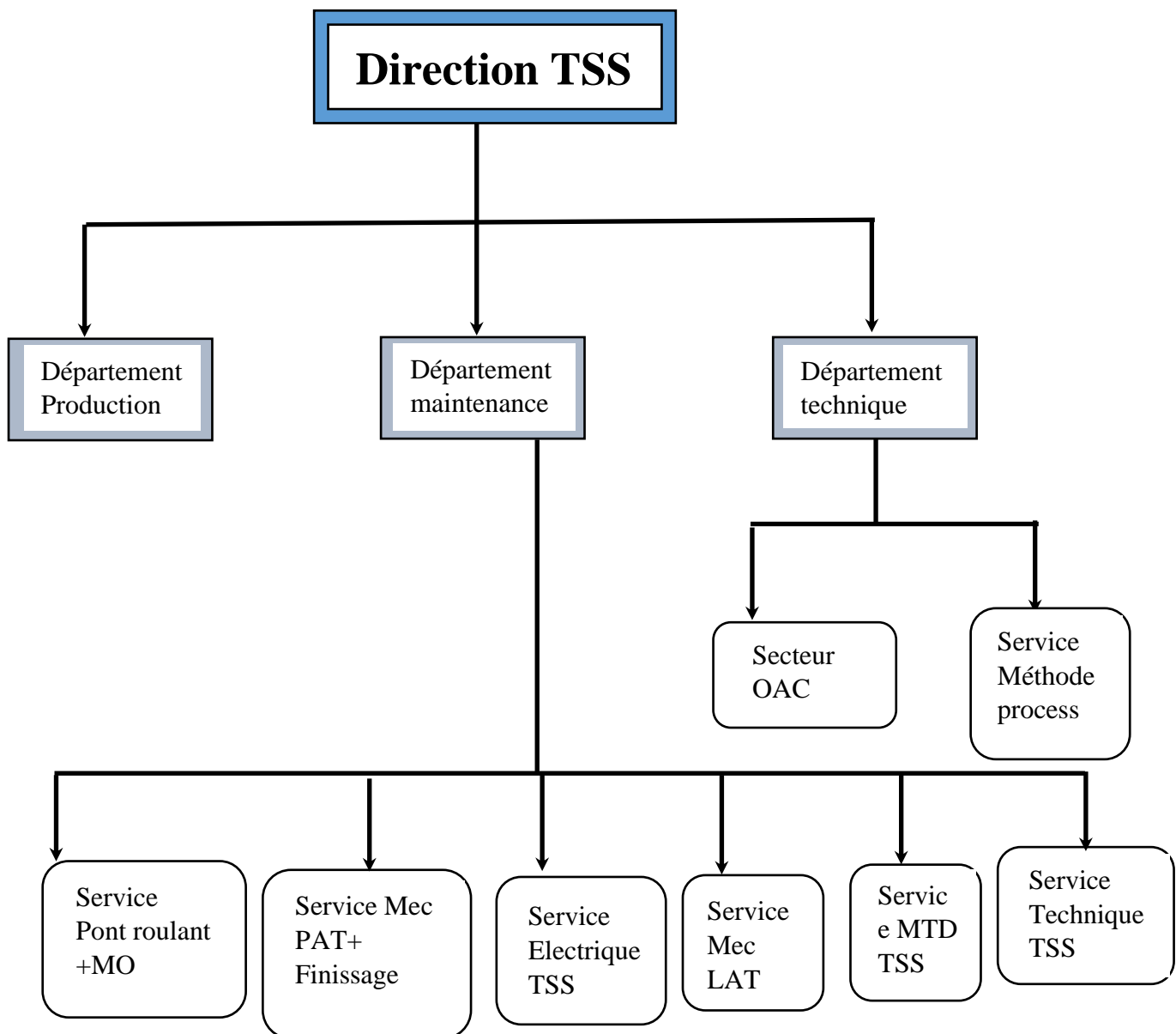


Figure I.3 : Organigramme de l'entreprise TSS [1]

I.1.2. Processus de la tuberie sans soudure :

Le schéma suivant présente tout le procès de la tuberie sans soudure.

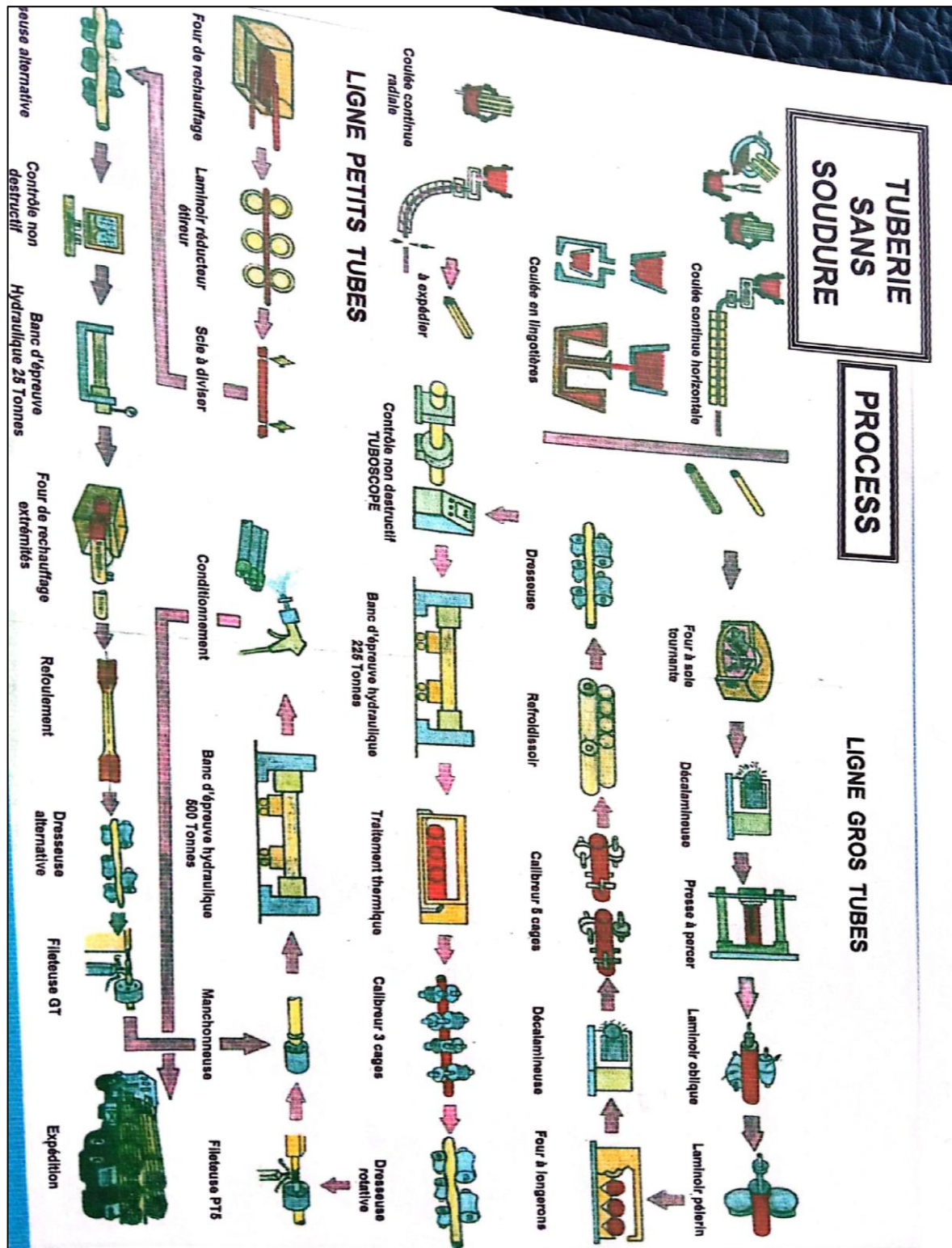


Figure I.4 : Processus de la tuberie sans soudure [1]

I.1.3. L'ACIÉRIE ÉLECTRIQUE :

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 : Ø190 et L 405 mm (voir figure N°5).
- Lingots dodécagonaux : Ø 300 et L 500 mm (voir figure N°6).

Les aciers élaborés répondent aux exigences chimiques de l'API 5L (la norme de spécification de l'American Petroleum Institute couvre les tuyaux de canalisation soudés et sans soudure) et 5CT (les normes spécifique pour les tubes et tubage de 8ème édition, pétrole et gaz naturel).



Figure I.5 : Lingots ronds



Figure I.6 : Lingots dodécagonaux

I.1.4. Processus de fabrication du tube sans soudure :

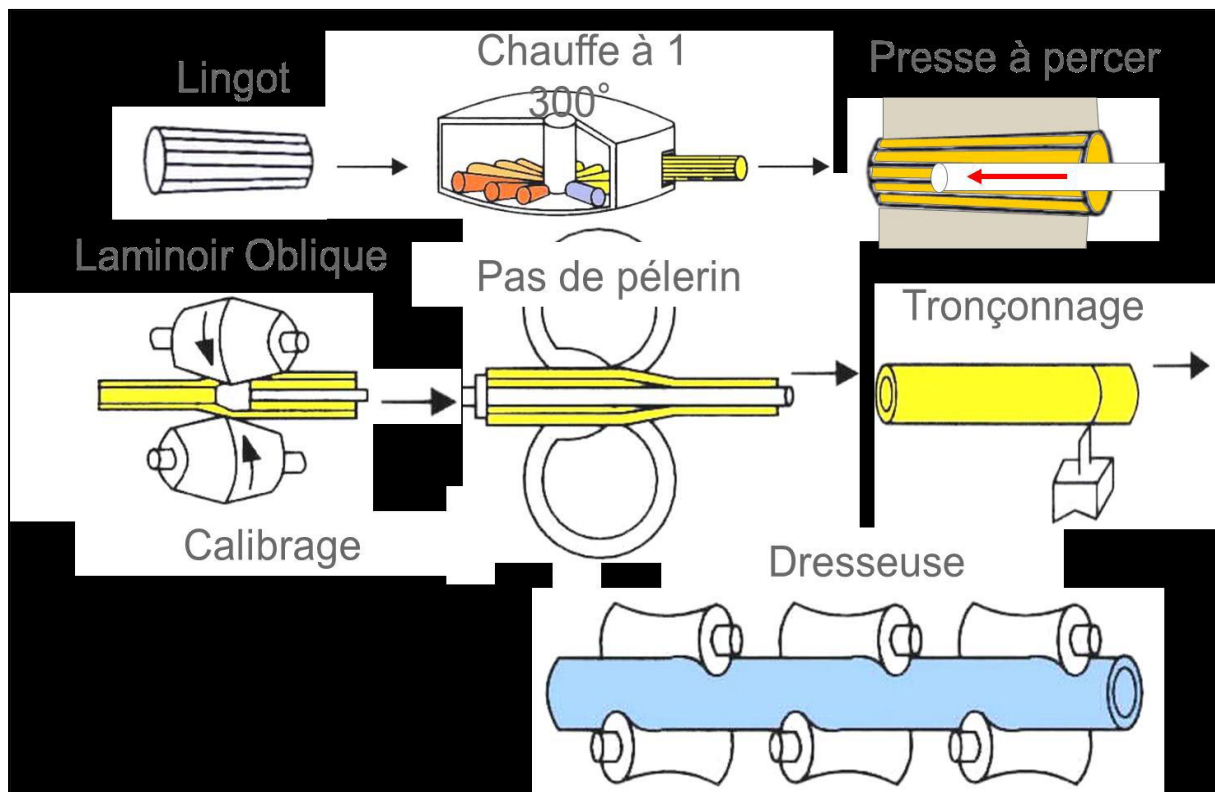


Figure I.7 : Processus de fabrication du tube sans soudure

➤ Description des installations :

Les équipements de production SIDER TSS sont répartis dans les ateliers suivants :

- Le laminoir à tubes ;
- Le parachèvement des tubes ;
- Atelier de fabrication des manchons.
- Laboratoires des essais mécaniques (essais de traction et de résilience)
- Laboratoire de métrologie

Ces ateliers sont desservis par les principales installations annexes suivantes :

- Station de pompage ;
- Station de traitement des eaux ;
- Sous stations électriques

I.1.5. LES ATELIERS DE PRODUCTION [1] :

I.1.5.A. Le laminoir à tubes (LAT) :

Le laminoir à tubes est une installation qui fabrique des tubes de différentes tailles et épaisseurs grâce à une méthode de laminage spécifique. Cette ligne de production comprend les équipements suivants (voir Fig. N°A).

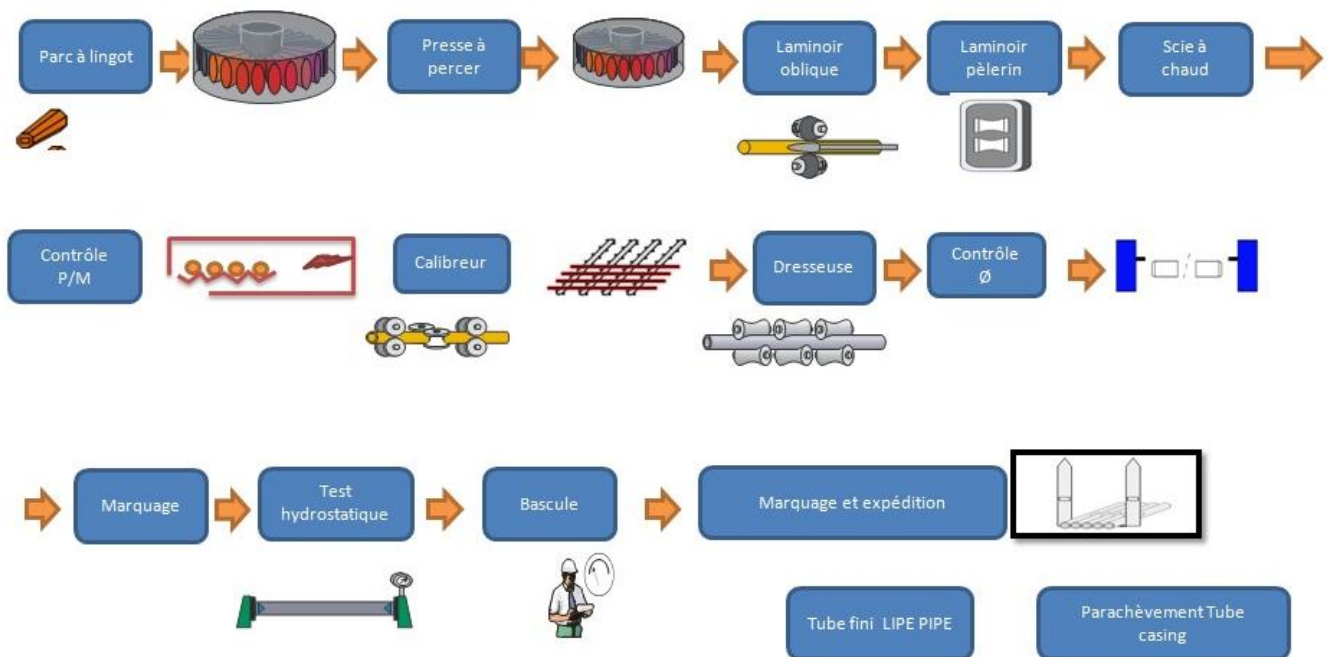


Figure I.A.1 : Processus du laminoir à tube [1].

- ✓ Parc à lingot.
- ✓ Four à sole tournante.
- ✓ Presse à percer (Pour les lingots dodécagonaux).
- ✓ Presse à centrer (Pour les lingots ronds).
- ✓ Four à plateau (intermédiaire).
- ✓ Laminoir oblique.
- ✓ Laminoir à pas de pèlerin (14'', 8''B – 8''C).
- ✓ Scies à chaud.
- ✓ Fours à longerons.
- ✓ Calibreur 5 cages (gros tubes).
- ✓ Chaines de refroidissement des tubes.
- ✓ Dresseuse tubes.
- ✓ Tub scope. CND

Les procédés pour obtenir un tube sont très nombreux comme nous allons voir dans le schéma (voir la Fig. N°8) chaque opération ayant ces exigences.

a) **Parc à lingots** : Deux types de lingots en provenance de l'aciérie électrique sont stockés dans ce parc, ils ont des différents matériaux d'acier. Ce dernier là il dépend de la commande de client :

- Lingot rond $\varnothing 190$; $\varnothing 225$; $\varnothing 270$; $\varnothing 345$
- Lingot dodécagonaux $\varnothing 300$; $\varnothing 35$; $\varnothing 410$; $\varnothing 500$



Figure I.A.2: Parc à lingots.

b) **Four à sole tournante** : La Capacité du four est de 45 tonnes par heure. Il est destiné au chauffage des lingots à une température de 1300°C avec une bonne homogénéisation de température.

▪ Le four à sole parte enfournement

▪ Le four à sole parte défournement



Figure I.A.3: Four à sole tournante partie enfournement et défournement.

c) **Presse à percer de 1200 tonnes :**

Perçage de lingots en doigt de gant, la presse est alimentée à partir d'une centrale hydropneumatique.

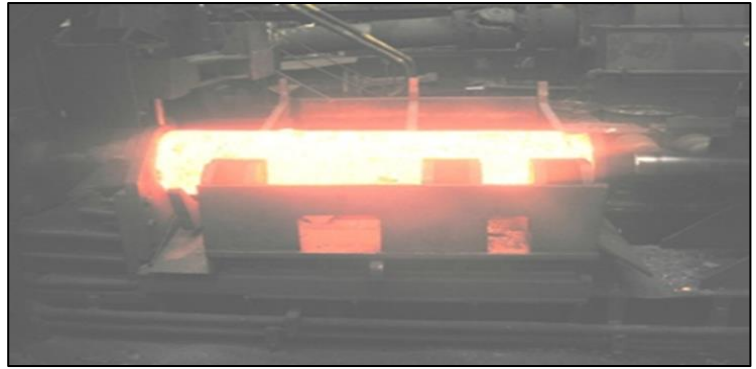


Figure I.A.4: Presse à percer

d) **Presse à centrer :** Elle assure le centrage des lingots ronds qui ne nécessitent pas le passage par la presse à percer.



Figure I.A.5 : Presse à centrer

e) **Four à plateau :** Enfourner les ébauches presse en provenance de la presse à percer à une T° de $1150c^\circ$, enregistrer les ébauches entrant sur le disque répétiteur avec son N° de coulée, Défourner les ébauches à une T° de $1300c^\circ$.



Figure I.A.6 : Four à plateau

f) **Le laminoir oblique :** Transformer les ébauches presse en ébauche à paroi épaisse par entraînement de produit entre deux cylindres latéraux 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



Figure I.A.7 : Laminoir oblique

g) **Laminoir à pas de pèlerin** : Le laminoir dispose de deux trains 8'' (B et C) et un train 14''
chaque laminoir est composé de trois parties :

1-La cage,

2-l'appareil de présentation et son chariot

3-le circuit des mandrins

4-la chaîne cinématique

❖ Les caractéristiques de train 8 :

- diamètres produits de 120 à 245mm
- poids ébauche et mandrin 2100KG
- longueur min /max : 8 à 23m
- épaisseur min /max : 6 à 26mm

❖ Les caractéristiques de train 14 :

- diamètres produits de 168 à 372mm
- poids ébauche et mandrin 5700KG
- longueur min /max : 8 à 33m
- épaisseur min /max : 6 à 26mm



Figure I.A.8 : Train 14

- Transformer les ébauches tabulaires en provenance du LO en tube à une T° de 1050c° environs.

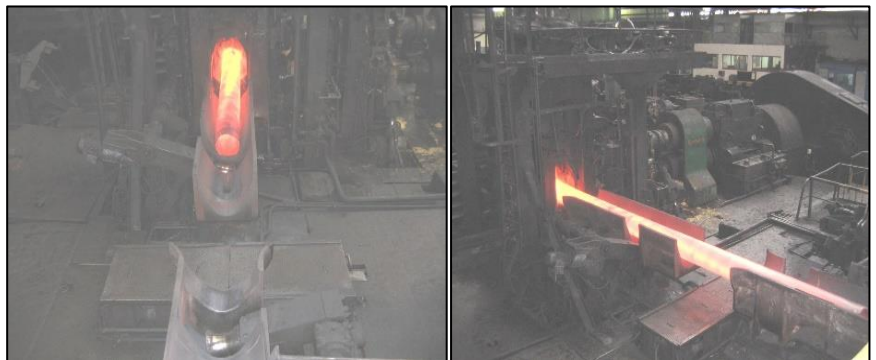


Figure I.A.9 : Laminoir à pas de pèlerin

- h) **La scie à chaud** : Après chaque cage on dispose d'une scie à chaud pour couper les extrémités du tube.



Figure I.A.10: Lame de scie

- i) **four à longerons:** Réchauffage des tubes laminés de longeron maximale 15m à haute cadence de production (110tube /heure) avec une bonne homogénéité de température. La température de défournement de 850° à 875°C.



Figure I.A.11 : Four à longerons

- j) **Calibreur à 5 cages :** 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. La température de calibrage est comprise entre 850c° et 900c°.



Figure I.A.12 : Calibreur à 5 cages

- k) **Chaines de refroidissement des tubes :**



Figure I.A.13 : Chaines de refroidissement des tubes.

l) Dresseuse tubes :

✚ **Dresseuse rotative** : Dressage à froid des tubes venant du calibreur.

- Diamètre tubes : 140 à 406 mm
- Longueur tubes : 5 à 16 m ;
Epaisseur max. : 14 mm pour le tube 339,7 de nuance J55

✚ **Dresseuse alternative (petits tubes)** : Diamètres tubes : 60,3 à 113,3 mm



Figure I.A.14 : Dresseuse rotative.

m) Contrôle CND (Contrôle Non Destructif) :

- Tub scope (un pour gros tubes et un pour petits tubes) ;
- Magna poudre (contrôle visuel des tubes magnétisés)



Figure I.A.15 : CND.

n) Tronçonneuse BARDONS :

Mise en longueur et coupe des viroles pour les essais mécaniques, figure n° 16.



Figure I.A.16 : BARDONS.

o) Banc d'épreuve hydraulique :

- Un pour petits tubes (60,3 à 114,3 mm) : 25 Tonnes ;
- Un pour gros tubes (114,3 à 372 mm) : 225 Tonnes



Figure I.A.17: Banc d'épreuve hydraulique.

✓ Fonctionnement de la chaîne de production (LAT):

- Les lingots sont entreposés dans le parc de TSS, puis ils sont transférés vers le four à sol tournante pour être chauffés progressivement à (1300 C°). À la fin du chauffage, ils sont envoyés à la presse à percer pour réaliser un perçage en forme de doigt de gant. Pendant cette étape, il y a une perte de chaleur, donc nous réchauffons l'ébauche pour rétablir la température entre (1100 et 1300) C° dans le four à plateaux .Après cela, l'ébauche se dirige vers le laminoir oblique.
- Cette étape permet d'allonger l'ébauche avant de l'envoyer au laminoir à pas pétrin, ce qui transforme l'ébauche en tube grâce à plusieurs opérations de laminage.
- Après le laminage, la forme du tube n'est pas souhaitable, donc sur le découpage avec une scie à chaud à une température de (700 C °) (palet et pavions). Ensuite, il passe par un contrôle de dimensions (épaisseurs). Le tube entre dans un four à longerons à (900 C °), puis il est dirigé vers un calibre et une dresseuse pour ajuster le diamètre extérieur. Une fois que les défauts géométriques sont éliminés, une détection de fissures est effectuée à l'aide de poudre magnétique et d'un contrôle électromagnétique avec un Tub scope.
- En fin de compte, on obtient un tube final chanfreiné avec un diamètre extérieur conforme aux spécifications techniques du client, qui est ensuite envoyé vers le parachèvement des tubes [1].

❖ Organigramme du processus de LAT :

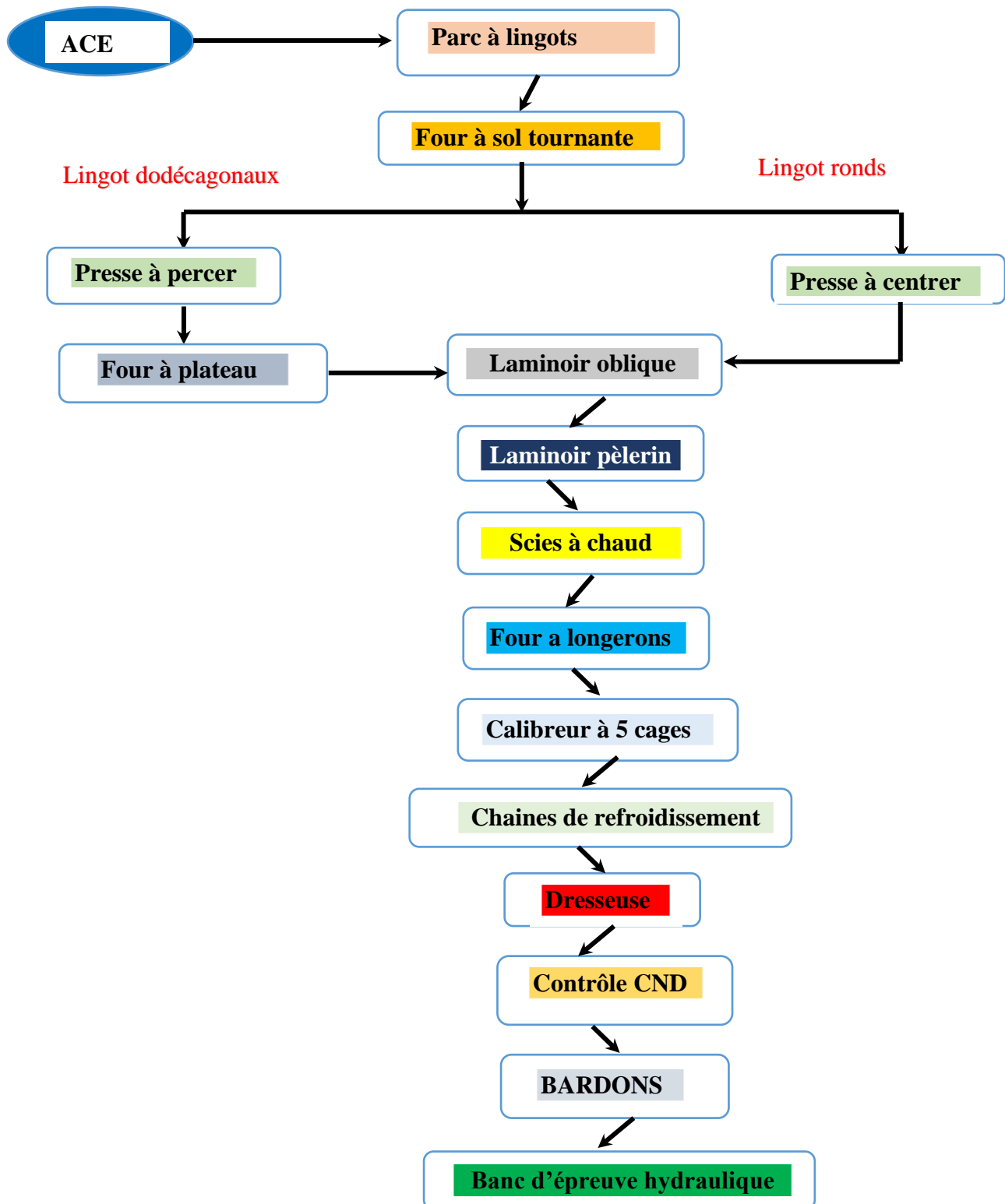


Figure I.A.18 : Synoptique du process de fabrication au niveau du LAT [1].

I.1.5.B. Parachèvement des tubes (PAT) :

L'atelier de parachèvement des tubes sans soudures à plusieurs équipements essentiels, et la zone de traitement thermique en fait partie. Cette zone a pour but de modifier thermiquement les tubes sans soudures afin d'en améliorer leurs propriétés mécaniques. La méthode de traitement employée ici est celle de la trempe suivie d'un revenu (ou détente). Un programme annuel est géré par la zone de traitement thermique (TTH).

Cette chaîne de traitement thermique et de finition (voir la Fig. B. 1) comprend les installations suivantes :

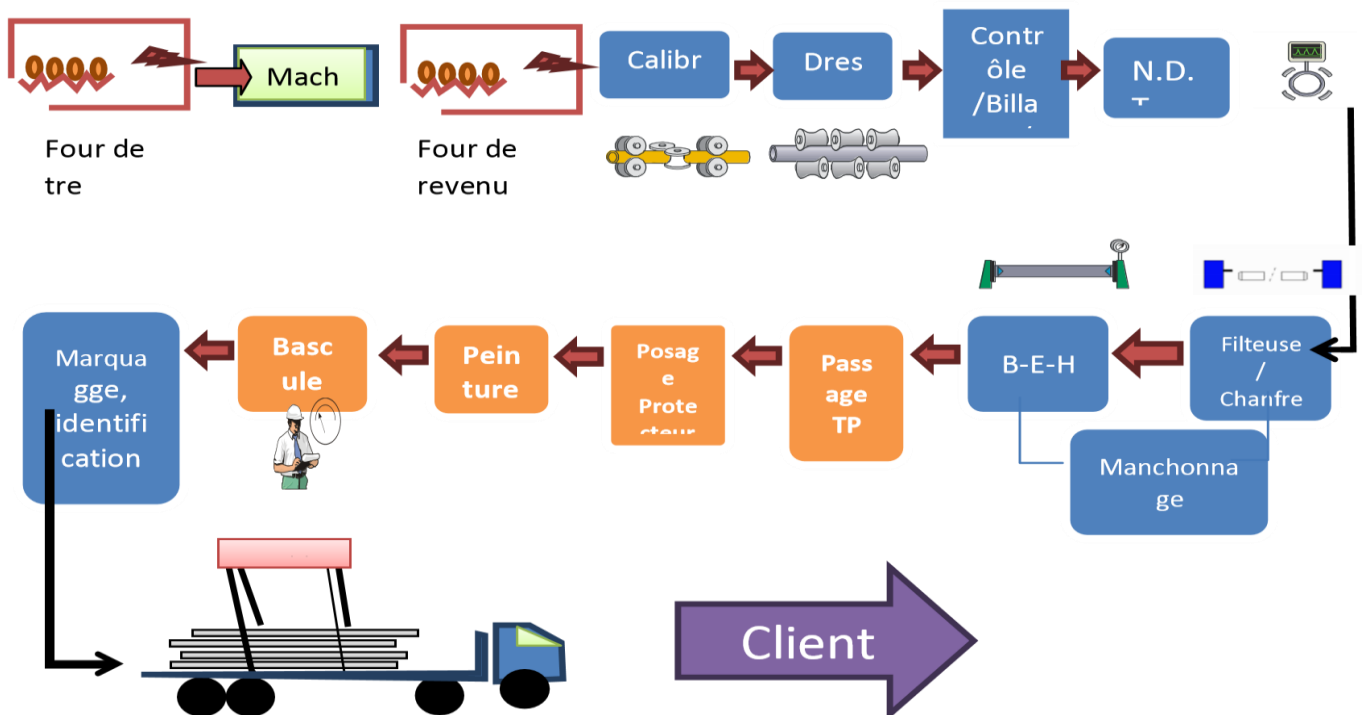


Figure I.B.1 : Processus de parachèvement à tube [1]

➤ Traitements thermiques :

- Four de trempe 900C° ;
- Four de revenu 700C° ;
- calibreur à trois cages : Calibrage de mise à dimension par réduction de diamètre et calibrage cylindrique des tubes ;
- la chaîne de refroidissement
- La zone billage :
- Dresseuse.

Dans l'atelier de parachèvement à tube les tubes nécessitent un traitement thermiques et une finition aux extrémités comme nous allons voir dans le schéma (Fig.B.1).

✓ Fonctionnement de la chaine de production (PAT):

- Dans le four de trempe et le four de revenu pour l'objet de réduire plus ou moins l'écart de l'équilibre, Après diriger vers le calibreur ,ensuite déplacer les tubes vers une chaine pour le contrôle de diamètre dans la zone billage, avant d'être contrôler dans laboratoire de métrologie pour assurer la conformité des outillages par apport à la norme, les tubes passé par le dresseuse ,puis les tubes doivent être chanfreiné.
- Finalement, Les tubes subir un contrôle dimensionnelles (diamètre, épaisseur ...), après passe par le poste de contrôle des agents.

❖ Organigramme du processus de PAT :

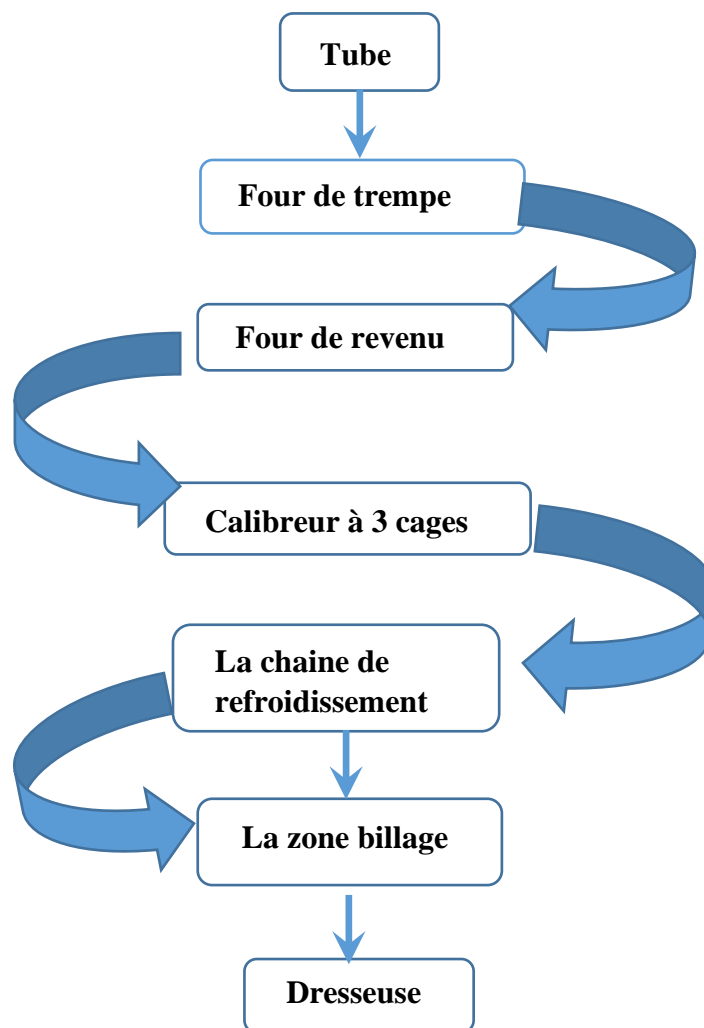


Figure I.B.2 : Synoptique du processus de fabrication au niveau du PAT [1].

I.1.6. Procédures de contrôle des tubes [1] :

- 1) **Contrôles Non Destructifs** : Ces contrôles pour but de mettre en évidence des défauts soit directement (visuel) soit indirectement par leurs effets (Tub scope, Magna poudre).
- 2) **Epreuve hydraulique** : Chaque tube subit l'épreuve hydraulique (banc d'épreuve hydraulique). Chaque tube doit être maintenu à la pression d'essai en fonction des dimensions et nuances et un temps exigé par le client.
- 3) **Contrôles destructifs(CD)** : Les contrôles destructifs des tubes sans soudure viennent consolider la qualité du produit fabriqué par TSS. Son laboratoire d'essais mécaniques dispose d'équipements fiables étalonnés périodiquement. Les différents essais destructifs réalisés sur une virole de tube sont des essais mécaniques (traction, dureté, résilience), des analyses chimiques.

- **Prélèvement des échantillons:**

Les échantillons pour les essais sont prélevés d'une virole du tube, désigné pour le test. La paire de plaques sont prélevés transversalement à l'axe du tube.

- **Essais réalisés:**

Tous les essais sont effectués en conformité avec les normes API5L et avec les spécifications du client.

- **Analyses chimiques:**

Le contrôle de la composition chimique se fait sur le métal de tube. Les résultats d'analyses sont comparés avec celle du fournisseur et les exigences du client, ce qui permet de définir les premiers critères d'acceptation du produit en composition chimique (spectromètre).

- **Essai de traction:**

L'essai de traction consiste à soumettre une éprouvette à un effort de traction jusqu'à rupture en vue de déterminer une ou plusieurs caractéristiques mécaniques (la résistance ultime à la traction, la limite apparente d'élasticité à 0.5% et l'allongement).

- **Essai de dureté:**

L'essai de dureté consiste à mesurer la résistance d'un matériau à la pénétration.

- **Essai de résilience:**

L'essai de résilience consiste à mesurer l'énergie de rupture de les éprouvettes dans les différentes températures, cette dernière est exigée par le client et la norme API.

I.2. Présentation du service maintenance de l'entreprise TSS :

I.2.1. Organigramme du département maintenance [1]:

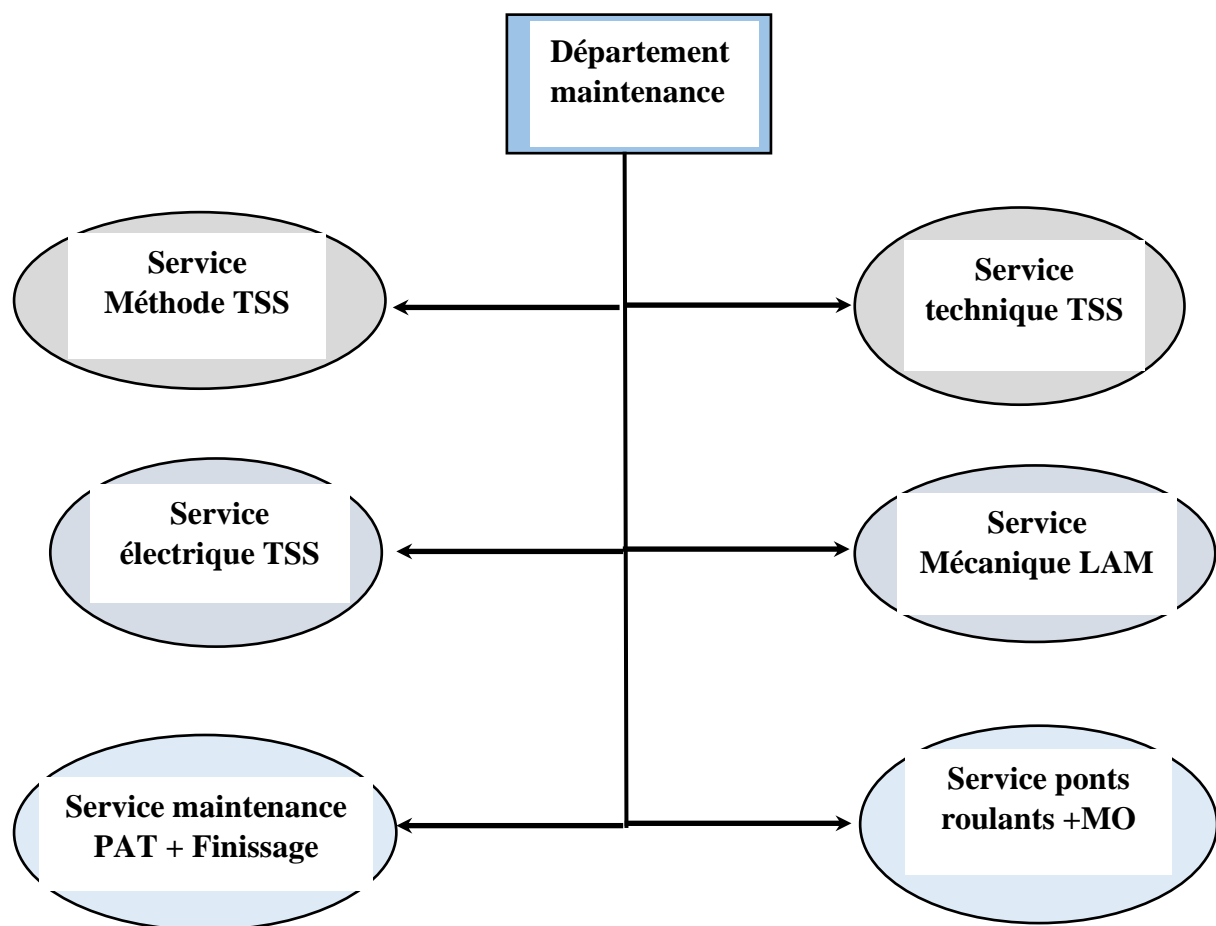


Figure I.8 : Organigramme du département maintenance

I.2.2. Ses missions :

La mission des ingénieurs et des techniciens est de produire avec un minimum de capital et de matières premières, de garantir en outre le fonctionnement de l'outil de production pendant la plus longue durée possible, avec un minimum de dépense et en assurant qualité et sécurité. En règle générale, ces objectifs ne peuvent être atteints que par la maintenance préventive des machines.

La maintenance a pour but :

- Le maintien du capital machines.
- La suppression des arrêts non programmés et des chutes de production (garantie de la capacité de livraison).
- La maintenance joue un rôle économique essentiel dans l'industrie. cela se retrouve d'ailleurs dans les dépenses liées à l'entretien.

I.2.3. La maintenance appliquée au niveau de la TSS SIDER :

La maintenance, également appelée maintenance technique, désigne un ensemble de processus et de pratiques visant à assurer le fonctionnement continu et efficace des machines, des équipements et d'autres types d'actifs généralement utilisés dans les entreprises. Le département de la maintenance joue un rôle très important dans l'entreprise TSS, c'est pour ça que le service de maintenance travaille en régime 3*8 [1].

L'entreprise applique des différents types de maintenance, le choix du type dépend du besoin de l'entreprise et l'importance d'équipement :

- **Maintenance préventive conditionnelle (l'analyse vibratoire et l'analyse des huiles):** Ce type de maintenance comprend toutes les tâches de restauration de matériels ou de composants non défectueux, entreprises en application d'une évaluation d'état et de la comparaison avec un critère d'acceptation préétabli (défaillance potentielle).

L'installation nécessite une surveillance périodique en utilisant des instruments spécifiques : capteurs (accéléromètre), un appareil de mesure offline (vibrotest60). Les vibrations sont mesurées à toutes les directions (verticales, horizontales et axiales)

- **Maintenance préventive systématique (des visites, des inspections programmées) :**
Ce type de maintenance comprend l'ensemble des actions destinées à restaurer en totalité ou partiellement, la marge de résistance des matériels non défaillants, lorsque ces tâches sont décidées en fonction du temps ou de la production, sans considération de l'état des matériels à cet instant.
- En cas d'anomalies, la maintenance appliquée est la maintenance curative.

I .2.3.1. La maintenance préventive :

La maintenance préventive ayant pour objet de réduire la probabilité de défaillance ou de dégradation d'un bien ou d'un service rendu.

Les activités correspondantes sont déclenchées selon un échéancier établi à partir d'un nombre prédéterminé d'usage (maintenance systématique), et des critères prédéterminés significatifs de l'état de dégradation du bien ou du service (maintenance conditionnelle)

Elle se fait à travers les EPAS (l'entretien préventif avec arrêt systématique) et les arrêts programmés (généralement programmées le week-end, ou dans des arrêts par manque produit).

Il se fait aussi par les biais des arrêts annuels (grands travaux de maintenance).

I .2.3.1.1. Organigramme de maintenance préventive [1]:

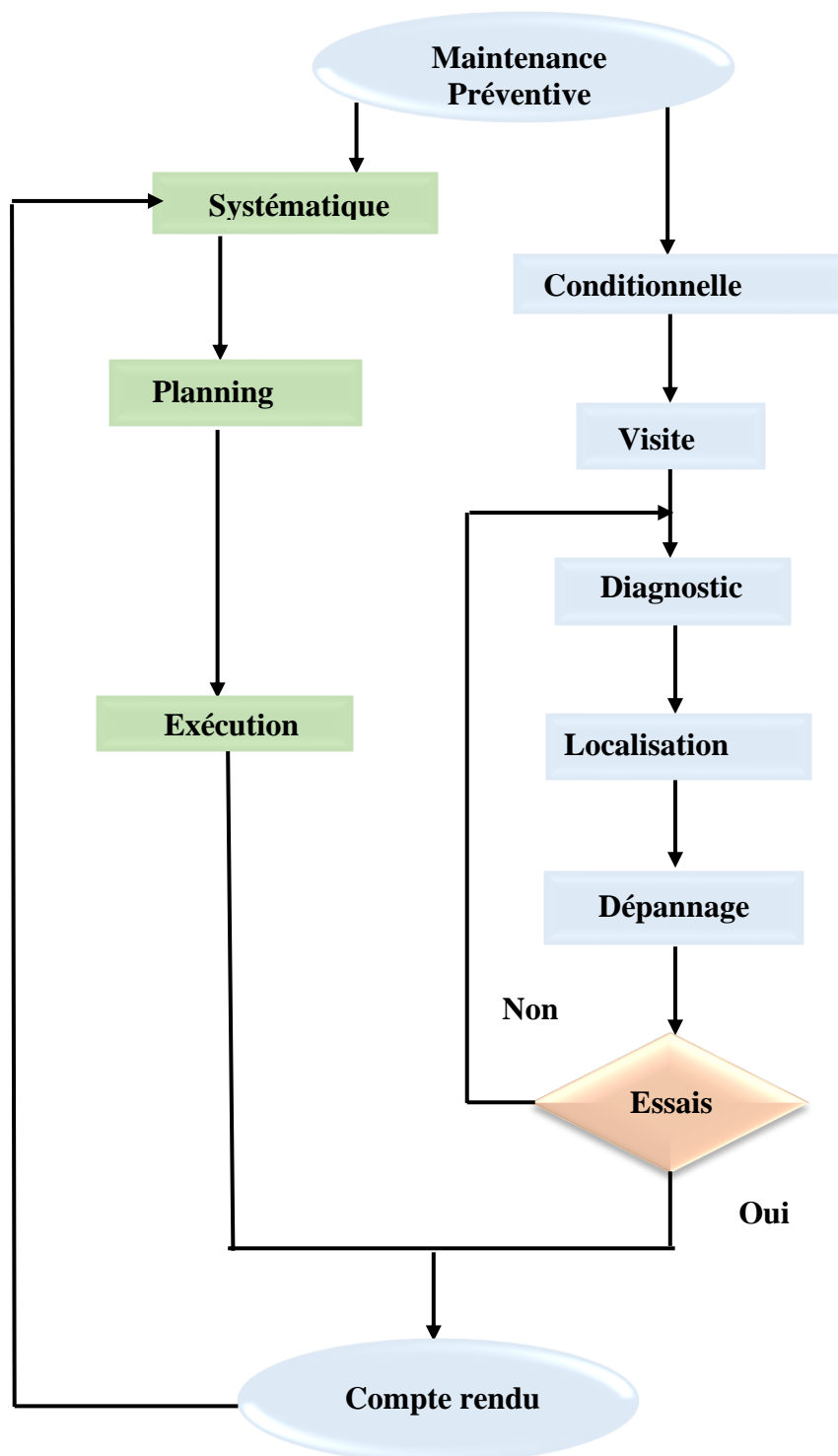


Figure I .2.3.1.1: Organigramme de maintenance préventive

I .2.3.1.2. Processus de la maintenance Préventive [1] :

Atelier LAT/ PAT

Finalité missions	Assurer une maintenance préventive au moindre coût afin de diminuer les arrêts de production conformément au planning établi.
Données de sortie	Une prestation conforme à la demande du processus de réalisation. Assurer une bonne fiabilité des installations de production.
Ressources	<p>➤ Machines : Atelier Laminage / Finissage.</p> <p>➤ Matières: Outillage portable défini par les instructions de maintenance et à l'aide de ces mêmes instructions, on peut se procurer les pièces de rechange transportables nécessaires sans délai et à proximité immédiates du lieu.</p> <p>➤ Méthodes : Les instructions de la maintenance et l'ensemble de la documentation générale et particulière nécessaire à la maintenance.</p> <p>➤ Milieu : la sécurité, l'hygiène et l'environnement du poste de travail.</p>

Tableau I .2.3.1.2 : Processus de la maintenance préventive.

I .2.3.2. La maintenance corrective :

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 du bon fonctionnement.

Lors de l'apparition des pannes sur l'installation, les agents de la maintenance (intervention) interviennent pour changer l'organe défaillant afin de remettre en service l'installation le plus rapidement possible.

I .2.3.2.1. Organigramme de maintenance curative [1] :

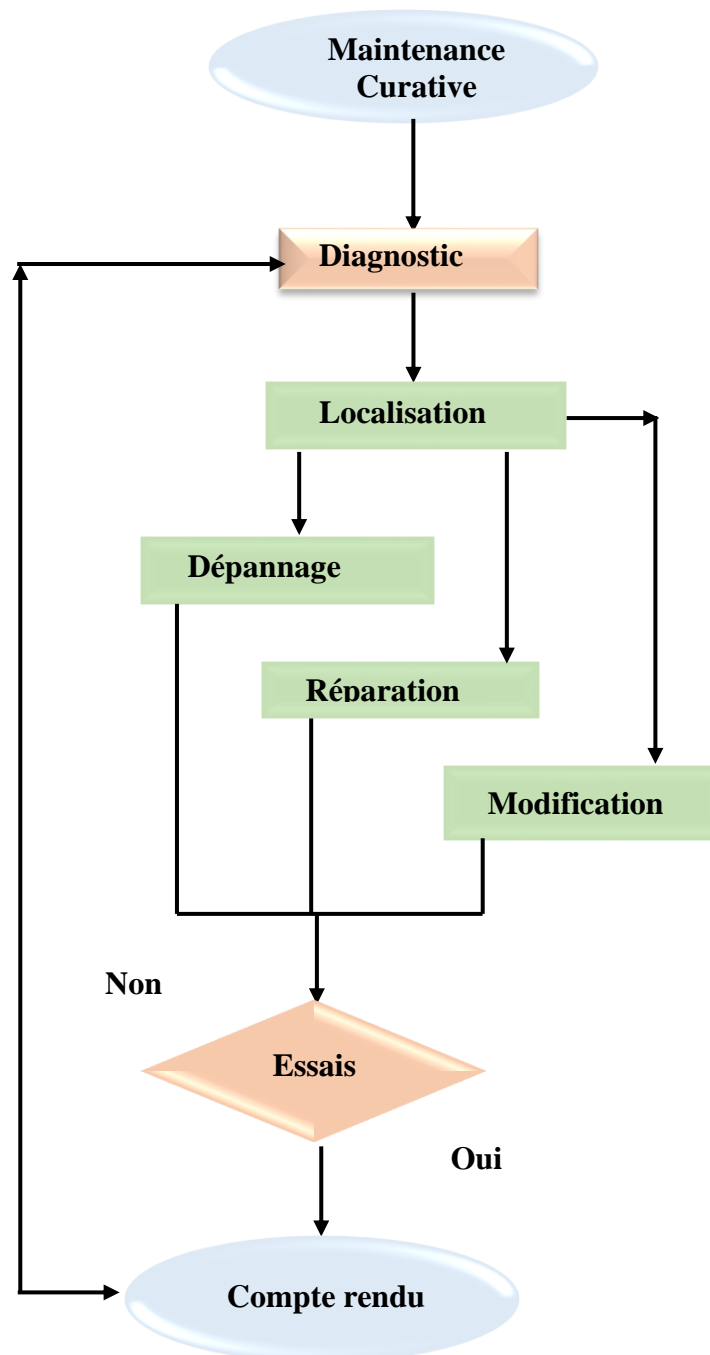


Figure I .2.3.2.1. : Organigramme de la maintenance curative

I .2.3.2.2. Processus de la maintenance Curative [1] :

Atelier LAT / PAT

Finalité missions	Assurer la remise en état de l'outil de production dans les délais et au moindre coût.
Données de sortie	Outil de production remis en état dans les délais.
Ressources	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Machines : Atelier Laminage / Finissage. ➤ Matières : Outillage prévu défini dans les instructions de maintenance ainsi que des appareils de mesure et de réglage et éventuellement des bancs d'essai et de contrôle des équipements ainsi que les pièces approvisionnées par le magasin et à l'aide de ces mêmes instructions. ➤ Méthodes : Les instructions de la maintenance et l'ensemble de la documentation générale et particulière nécessaire à la maintenance. ➤ Milieu : la sécurité, l'hygiène et l'environnement du poste de travail.

Tableau I .2.3.2.2. : Processus de la maintenance Curative

Chapitre II:

État de l'art sur la maintenance basée sur la fiabilité (MBF/RCM)

II.1. Définition de la Maintenance Basée sur la Fiabilité (MBF/RCM) :

La maintenance basée sur la fiabilité (MBF), connue internationalement sous le nom de Reliability-Centered Maintenance (RCM), (2) est une approche méthodologique de gestion de la maintenance qui vise à assurer la sûreté, la disponibilité et l'efficacité opérationnelle des systèmes industriels tout en optimisant les ressources. Elle consiste à identifier les fonctions critiques d'un équipement, à analyser ses modes de défaillance potentiels, et à déterminer les politiques de maintenance les plus efficaces pour en garantir le bon fonctionnement.

Le concept de RCM (2) a été initialement élaboré dans les années 1960 par l'industrie aéronautique, notamment par les compagnies aériennes américaines et la FAA (Federal Aviation Administration), qui cherchaient à améliorer la sécurité des avions tout en réduisant les coûts de maintenance. Cette approche a depuis été adoptée dans de nombreux secteurs industriels : énergie, pétrochimie, ferroviaire, nucléaire, etc.

II.1.1. Définition normalisée (selon la norme SAE JA1011) :

Le RCM est un processus utilisé pour déterminer ce qui doit être fait pour garantir que tout actif physique continue de faire ce que ses utilisateurs veulent qu'il fasse dans son contexte d'exploitation actuel [2].

Autrement dit, il s'agit d'une méthode qui cherche à garantir que chaque actif technique remplisse ses fonctions essentielles dans des conditions opérationnelles spécifiques, en se basant sur une analyse rigoureuse des risques et des défaillances.

II.1.2. Principes fondamentaux de la RCM

L'approche RCM repose sur sept principes fondamentaux, selon la norme SAE JA1011, qui guident la structuration de toute démarche MBF [3] :

❖ Identification des fonctions de l'équipement

Chaque équipement a une ou plusieurs fonctions précises à remplir dans un système donné. Il est fondamental d'identifier clairement :

- Les fonctions principales (par exemple : « transporter un fluide à un débit donné »).
- Les fonctions secondaires (sécurité, régulation, confort, etc.).

❖ Identification des défaillances fonctionnelles

Une défaillance fonctionnelle survient lorsque l'équipement n'assure plus l'une de ses fonctions, même partiellement. L'analyse cherche à répondre à la question : « Qu'est-ce qui peut empêcher cet actif de remplir ses fonctions ? »

❖ Détermination des modes de défaillance

Il s'agit d'identifier toutes les causes potentielles de la défaillance. Par exemple : usure, corrosion, surchauffe, rupture, erreur humaine, etc.

❖ Analyse des effets de chaque défaillance (AMEF ou FMEA)

Pour chaque mode de défaillance, on analyse les conséquences sur le système, l'environnement, la sécurité, et le processus de production.

❖ Évaluation des conséquences

Les conséquences peuvent être classées en plusieurs catégories :

- Sécuritaires (danger pour le personnel, l'environnement)
- Opérationnelles (perte de production, arrêt de ligne)
- Économiques (coûts de réparation, pertes indirectes)
- Latentes (défaillances non détectées immédiatement)

❖ Détermination des tâches de maintenance appropriées

Selon les modes de défaillance et leurs conséquences, on détermine le type d'action de maintenance appropriée :

- Maintenance préventive systématique (calendrier fixe)
- Maintenance conditionnelle (basée sur le suivi des paramètres)
- Maintenance prédictive (basée sur des modèles ou IA)
- Maintenance corrective planifiée ou non planifiée

❖ Justification technique et économique des tâches

Chaque tâche de maintenance doit être techniquement réalisable, économiquement justifiée, et permettre de réduire le risque à un niveau acceptable.

II.1.3. Objectifs de la Maintenance Basée sur la Fiabilité [4] :

La mise en œuvre de la MBF/RCM vise à atteindre plusieurs objectifs stratégiques dans une organisation industrielle :

❖ Assurer la fiabilité opérationnelle

Garantir que les équipements fonctionnent comme prévu, de manière constante, pendant une durée définie, sans interruption non planifiée.

❖ Préserver la sécurité des personnes et des installations

L'analyse des modes de défaillance permet de prévenir les risques critiques pour la santé, la sécurité des opérateurs, et la protection de l'environnement.

❖ Optimiser les coûts de maintenance

La MBF permet de supprimer les tâches inutiles, coûteuses ou inefficaces, au profit de celles qui ont une réelle valeur ajoutée.

❖ Réduire les arrêts imprévus

En anticipant les défaillances critiques, on évite les pannes soudaines et coûteuses qui affectent la chaîne de production.

❖ Améliorer la durée de vie des actifs

En adoptant des stratégies de maintenance ciblées, on limite l'usure prématurée des composants et on prolonge la durée de vie des équipements.

❖ Augmenter la productivité globale

Une installation bien entretenue permet une production continue, stable, et conforme aux standards de qualité.

II.1.4. Avantages de la maintenance basée sur la fiabilité [4] :

L'approche MBF/RCM, bien que complexe à mettre en œuvre, présente de nombreux avantages tangibles pour les entreprises industrielles :

❖ Vision systémique et structurée de la maintenance

La MBF repose sur une méthodologie rigoureuse, systémique et documentée. Elle permet une compréhension globale du fonctionnement des équipements et de leurs défaillances.

❖ **Adaptation au contexte d'exploitation réel**

Contrairement à la maintenance préventive classique, la MBF tient compte du contexte opérationnel, ce qui permet de personnaliser les actions de maintenance.

❖ **Réduction des coûts totaux (TCO)**

En évitant les interventions inutiles et en priorisant les actions à fort impact, on réduit les coûts de maintenance directe et indirecte (pertes de production, pannes majeures, etc.).

❖ **Amélioration de la sécurité et de la conformité réglementaire**

La RCM permet de mieux maîtriser les risques industriels et d'assurer la conformité avec les normes HSE (Hygiène, Sécurité, Environnement).

❖ **Contribution à la performance durable**

En prolongeant la durée de vie des actifs et en réduisant les gaspillages (énergie, pièces, temps), la MBF s'inscrit dans une logique de durabilité.

❖ **Déclencheur de transformation numérique**

La MBF constitue une base solide pour le passage vers une maintenance 4.0, intégrant capteurs IoT, plateformes de données, jumeaux numériques et intelligence artificielle.

❖ **Implication des équipes techniques**

La démarche RCM implique les techniciens, ingénieurs et opérateurs dans l'analyse et la décision, ce qui renforce la culture de fiabilité et la responsabilité collective.

II.1.5. Les étapes clés de la démarche MBF/RCM [5] :

La démarche Maintenance Basée sur la Fiabilité (MBF/RCM) suit un processus structuré et systématique permettant d'assurer la performance optimale des équipements tout en garantissant leur fiabilité et leur sécurité. Chaque étape de la démarche permet de mieux comprendre les besoins en maintenance des équipements, d'analyser les risques, et de définir des stratégies adaptées.

Voici une présentation des étapes clés de cette démarche :

❖ **Identification des fonctions de l'équipement**

La première étape de la démarche RCM consiste à identifier les fonctions essentielles de chaque équipement ou système dans le contexte de son utilisation. Cela permet de définir clairement ce que l'on attend de chaque équipement en termes de performance et de fiabilité.

Objectifs :

- Identifier les fonctions primaires (celles qui permettent à l'équipement d'accomplir son rôle principal).
- Identifier les fonctions secondaires (ex. : la sécurité, la régulation, la stabilité).

Exemple : Pour une pompe, la fonction primaire peut être de pomper un fluide à une pression donnée, tandis que les fonctions secondaires peuvent inclure la protection contre la surpression et le maintien de la température optimale [9].

❖ Identification des modes de défaillance

Cette étape consiste à analyser les modes de défaillance possibles de l'équipement, c'est-à-dire les différentes façons dont l'équipement pourrait échouer à remplir ses fonctions.

Objectifs :

- Identifier les causes de défaillance : usure, corrosion, dysfonctionnement électrique, défaut de fabrication, etc.
- Déterminer les événements ou situations qui peuvent entraîner un arrêt ou une défaillance de l'équipement.

Exemple : Pour une pompe, les modes de défaillance peuvent inclure :

- Fuite de fluide due à un joint défectueux.
- Surchauffe due à une mauvaise ventilation ou à un moteur défaillant.
- Blocage mécanique causé par une accumulation de résidus dans les conduits [9].

❖ Analyse des effets de défaillance [5]

L'étape suivante consiste à analyser les effets de chaque mode de défaillance sur l'ensemble du système. Cette analyse permet de comprendre l'impact d'une défaillance, notamment en termes de sécurité, de coûts, de production, et de fiabilité.

Objectifs :

- Identifier les conséquences directes et indirectes de chaque défaillance.
- Prioriser les défaillances selon leur gravité et leur impact sur la sécurité, la production, et les coûts.

Exemple :

- Fuite de fluide : Peut entraîner une perte de production, des risques environnementaux et des coûts supplémentaires pour réparer la pompe.
- Blocage mécanique : Peut entraîner un arrêt de la chaîne de production, une perte de temps, des coûts de maintenance et potentiellement un impact sur la sécurité si le système de protection n'est pas fonctionnel [10].

❖ Analyse des conséquences et des risques [6]

Cette étape implique une évaluation des risques liés à chaque mode de défaillance en fonction de son impact potentiel sur les fonctions critiques de l'équipement, la sécurité des opérateurs, et la performance du système.

Objectifs :

- Classer les défaillances en fonction de leur gravité (ex. : accident grave, arrêt de production, dégradation progressive).
- Analyser les risques en fonction de la probabilité d'occurrence et de l'impact sur la sécurité, la qualité et la continuité de la production.

Méthode : Une méthode courante pour évaluer les risques est la FMEA (Failure Modes and Effects Analysis), qui classe les défaillances selon leur Gravité (G), Probabilité d'apparition (P) et Détectabilité (D) pour obtenir un indice de priorité de risque ($RPN = G \times P \times D$).

❖ Définition des stratégies de maintenance [7]

En fonction des analyses précédentes, l'objectif est de définir la stratégie de maintenance appropriée pour chaque équipement et chaque mode de défaillance identifié. Cette étape permet de choisir les actions préventives, correctives, ou conditionnelles nécessaires.

Objectifs :

Déterminer quel type de maintenance sera appliqué :

- **Maintenance préventive (MP) :** intervention planifiée en fonction du temps ou du cycle d'utilisation.

- **Maintenance conditionnelle (MC)** : intervention basée sur l'état réel de l'équipement (surveillance de paramètres comme la température, les vibrations, etc.).
- **Maintenance prédictive (MP)** : intervention basée sur des données avancées et des modèles statistiques pour prédire les défaillances avant qu'elles ne surviennent.
- **Maintenance corrective (MC)** : intervention après une défaillance, planifiée ou non planifiée.

Exemple :

- Pour une pompe, la stratégie pourrait être de planifier une maintenance préventive tous les 6 mois pour remplacer les joints et vérifier l'étanchéité.
- En parallèle, une maintenance conditionnelle pourrait être mise en place pour surveiller les vibrations et la température, permettant de détecter une défaillance avant qu'elle n'entraîne un arrêt de production [11].

❖ Justification économique et technique des actions de maintenance

Une fois les stratégies définies, il est crucial de justifier les choix techniques et économiques des actions de maintenance. Cela permet de s'assurer que les solutions retenues apportent un retour sur investissement (ROI) satisfaisant et contribuent à la rentabilité et à la performance de l'organisation.

Objectifs :

- Analyser les coûts associés à chaque stratégie de maintenance : coûts d'intervention, coûts indirects (arrêt de production, dégradation de la qualité), etc.
- Justifier le choix des stratégies : pourquoi une maintenance préventive est-elle plus avantageuse qu'une corrective dans ce cas ? Pourquoi certains équipements peuvent-ils être laissés sans maintenance conditionnelle ?

Outils utilisés :

- Analyse coûts-bénéfices
- Évaluation du coût du cycle de vie des équipements (LCC – Life Cycle Cost)
- Évaluation des risques associés à chaque défaillance (analyse FMEA ou HAZOP)

❖ Mise en œuvre et suivi des actions de maintenance [8]

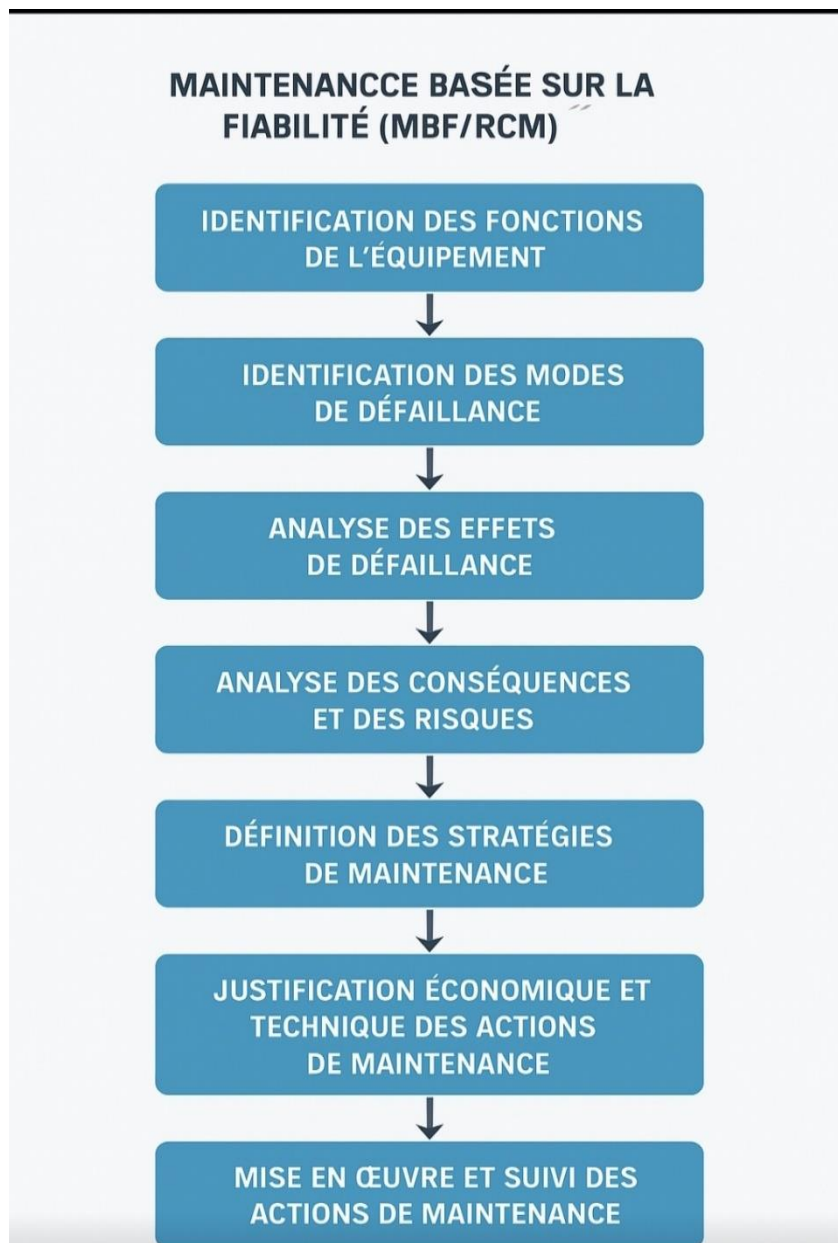
La dernière étape consiste à mettre en œuvre les stratégies de maintenance retenues et à mettre en place un système de suivi pour garantir leur efficacité à long terme. Cela inclut la gestion des interventions, la mise à jour des plannings de maintenance et l'analyse des résultats des actions mises en place.

Objectifs :

- **Planification des interventions** : Programmer les tâches de maintenance selon les priorités et les urgences.
- **Suivi des performances** : Analyser les résultats des actions de maintenance pour vérifier qu'elles répondent bien aux objectifs de fiabilité, de coût et de performance.
- **Amélioration continue** : Réajuster les stratégies de maintenance selon les retours d'expérience, les évolutions technologiques et les retours d'analyse.

Outils utilisés :

- Systèmes de gestion de la maintenance assistée par ordinateur (GMAO)
- Indicateurs de performance clés (KPI) : disponibilité des équipements, taux de pannes, coûts de maintenance, etc.
- Feedback régulier des techniciens et opérateurs



La démarche MBF/RCM repose sur un processus méthodique et rigoureux qui :

- Permet de réduire les risques
- optimiser les coûts de maintenance
- améliorer la disponibilité des équipements.

Chaque étape de cette démarche est cruciale pour garantir une gestion efficace de la maintenance, permettant ainsi aux entreprises de maximiser leurs performances opérationnelles tout en minimisant les risques de défaillance et les coûts associés.

II.1.6. Description des outils et des méthodes utilisés dans la MBF/RCM [4]

La démarche RCM repose sur une combinaison de méthodes analytiques et d'outils techniques qui permettent d'identifier les modes de défaillance, d'en évaluer les conséquences, et de définir des politiques de maintenance optimisées. Ces outils offrent une base objective et structurée pour la prise de décision dans le domaine de la maintenance industrielle.

❖ 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.

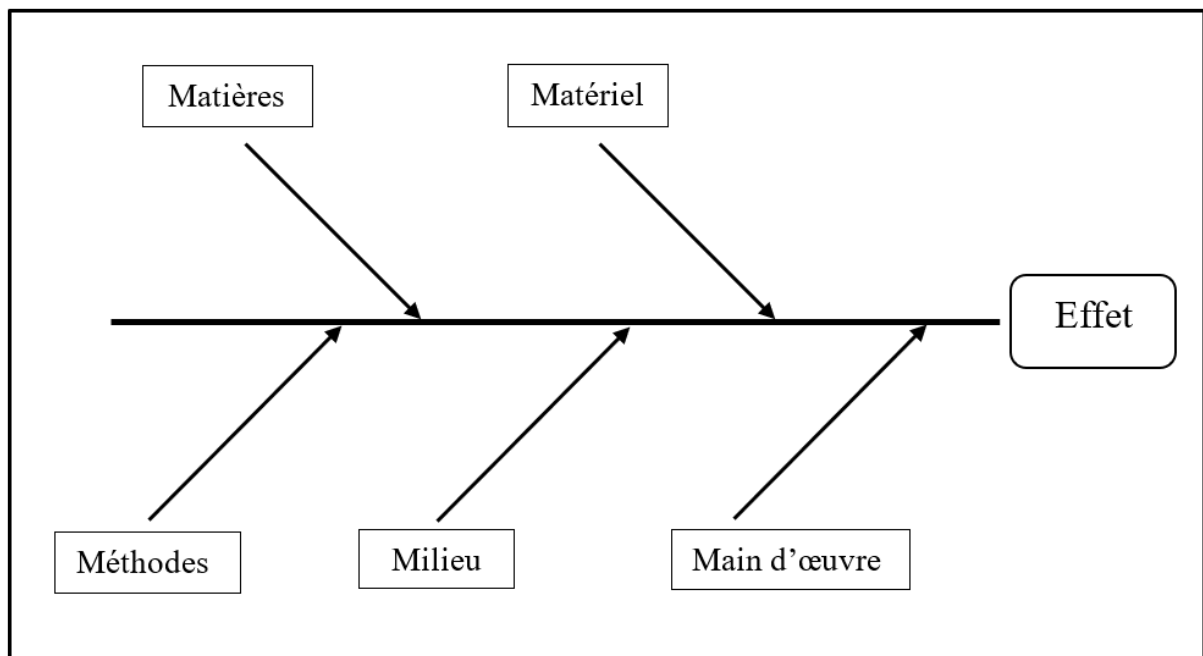


Figure II.1: Le diagramme d'Ishikawa.

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 [13].

❖ 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. [14]

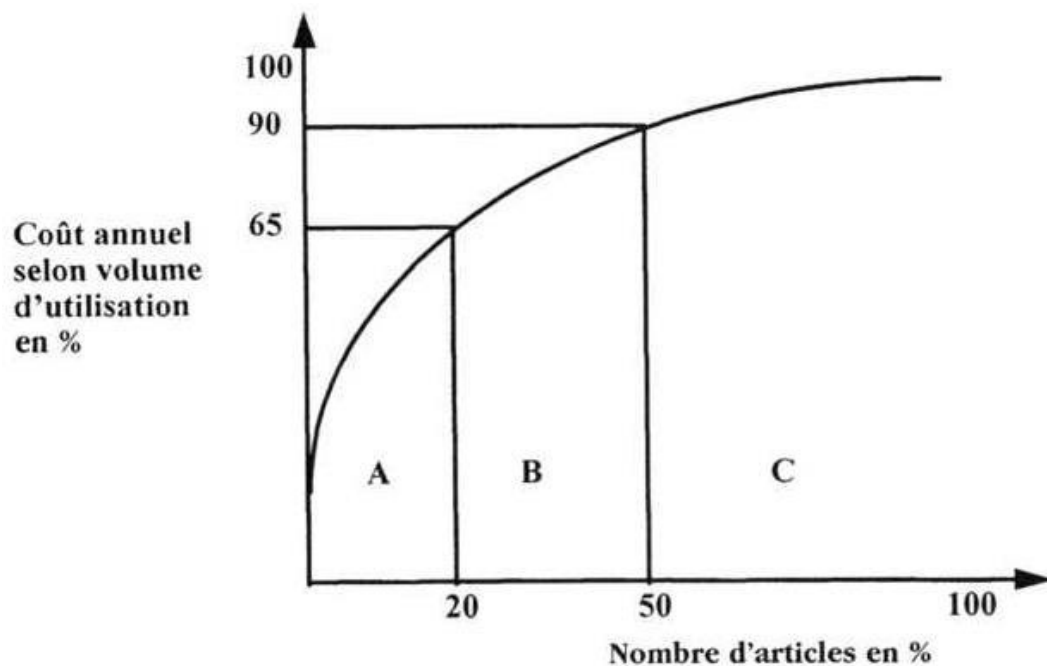


Figure II.2 : Diagramme de Pareto ou courbe ABC.

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 couts de maintenance.
- Améliorer la fiabilité des systèmes.
- Justifier la mise en place d'une politique de maintenance [15].

❖ L'analyse AMDEC (FMEA/FMECA – Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité)

Définition : L'AMDEC est une méthode systématique permettant d'identifier les défaillances potentielles d'un système ou d'un équipement, d'en analyser les effets et de déterminer leur criticité.

Objectifs :

- Anticiper les défaillances.
- Hiérarchiser les priorités de traitement.
- Orienter les décisions de maintenance.

Paramètres analysés :

- Gravité (G)
- Probabilité d'apparition (P)
- Détectabilité (D)
- $RPN = G \times P \times D$

Avantage :

- Méthode rigoureuse et largement reconnue.
- Permet une priorisation des actions correctives.

❖ L'arbre des défaillances (Fault Tree Analysis – FTA)

Définition : L'arbre de défaillances est une représentation graphique et logique des causes pouvant conduire à un événement indésirable (défaillance critique).

Utilisation dans la RCM :

- Identifier les causes racines d'un dysfonctionnement majeur.
- Visualiser les combinaisons d'événements pouvant mener à une défaillance.

Avantage :

- Aide à la prise de décision sur les éléments critiques.
- Très utilisé dans les systèmes complexes (aéronautique, nucléaire).

❖ L'arbre des causes (Cause Tree Analysis)

Définition : C'est une méthode d'analyse des incidents visant à déterminer la séquence des causes techniques et humaines ayant mené à une panne ou un dysfonctionnement.

Utilité :

- Outil d'analyse a posteriori.
- Base pour les actions correctives.

❖ Le diagramme de criticité (Criticality Matrix)

Définition : C'est un outil graphique qui permet de classer les équipements en fonction de deux axes : probabilité de défaillance et conséquences.

Objectifs :

- Identifier les équipements critiques.
- Prioriser les ressources de maintenance.

❖ L'analyse de fiabilité (MTBF, disponibilité) :

Principaux indicateurs

- **MTBF (Mean Time Between Failures) :** moyenne des temps de bon fonctionnement.
- **Taux de disponibilité :** mesure la capacité d'un équipement à remplir sa fonction.

Utilité :

- Mesure de performance.
- Pilotage des stratégies de maintenance conditionnelle.

❖ Les outils de maintenance conditionnelle et prédictive :

Analyse vibratoire : détection des déséquilibres ou usures.

Thermographie infrarouge : détection des échauffements anormaux.

Analyse des huiles : détection des particules métalliques ou contamination.

IoT et capteurs connectés : surveillance en temps réel.

Maintenance prédictive par intelligence artificielle : modèles de prédiction fondés sur les données historiques et l'apprentissage machine.

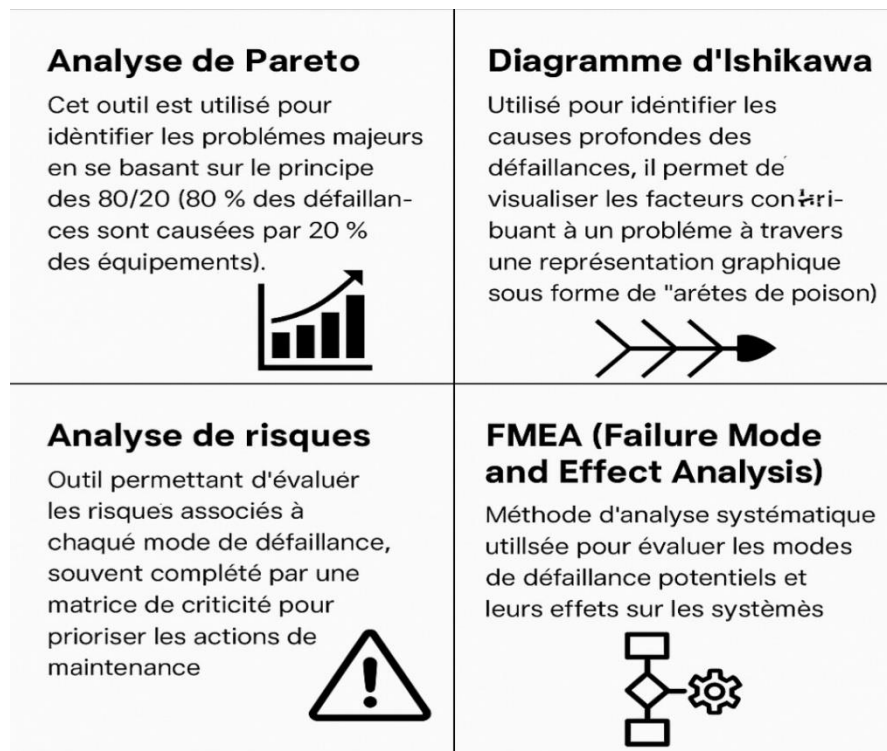


Figure II.3 : Les outils et des méthodes utilisés dans la MBF/RCM

L'efficacité de la démarche MBF/RCM repose sur la combinaison de méthodes analytiques (AMDEC, FTA, etc.) et d'outils technologiques (GMAO, capteurs, IA) qui permettent d'optimiser les ressources de maintenance tout en garantissant la fiabilité, la sécurité et la disponibilité des équipements. Le choix des outils dépend du contexte industriel, de la complexité des systèmes à maintenir et des objectifs stratégiques de l'entreprise.

II.1.7. Présentation des exemples concrets d'application de la MBF/RCM dans d'autres entreprises [6] :

L'application de la Maintenance Basée sur la Fiabilité (MBF/RCM) s'est largement répandue dans de nombreux secteurs industriels où la fiabilité, la sécurité et la disponibilité des équipements sont des enjeux critiques. Voici quelques cas concrets d'entreprises ayant adopté avec succès cette approche.

1. Secteur aéronautique – Cas de Boeing

L'une des premières applications industrielles de la RCM a été réalisée dans les années 60 par l'entreprise Boeing, pour optimiser la maintenance des avions civils et militaires.

Objectif :

- Réduire le coût de maintenance tout en assurant un niveau de sécurité maximal.
- Adapter les programmes de maintenance aux vraies conditions d'usage des avions.

Résultats :

- Réduction significative du nombre d'interventions inutiles.
- Allongement des intervalles de maintenance sans compromettre la sécurité.
- Mise en place d'une maintenance préventive ciblée et de procédures de contrôle basées sur l'analyse des défaillances réelles.

2. Secteur ferroviaire – SNCF (France)

La SNCF a intégré la démarche RCM pour améliorer la fiabilité de son matériel roulant, en particulier pour les trains à grande vitesse (TGV) et les rames TER.

Objectif :

- Réduire les coûts d'entretien.
- Garantir la ponctualité des trains.
- Éviter les pannes en ligne.

Résultats :

- Amélioration du taux de disponibilité des trains.
- Utilisation d'outils comme la GMAO, la surveillance vibratoire et la FMEA.
- Déploiement progressif de la maintenance conditionnelle (ex. : analyse des bogies, des systèmes de freinage).

3. Secteur pétrolier et gazier – Sonatrach / Total / Shell

Les industries pétrolières et gazières, où la moindre défaillance peut avoir des conséquences humaines, environnementales et financières graves, ont intégré la MBF/RCM dans leurs politiques HSE (Hygiène, Sécurité, Environnement).

Objectif :

- Réduire le nombre d'incidents et de pannes critiques.
- Allonger la durée de vie des équipements sous pression et des installations offshore.

Actions mises en place :

- Audit complet des équipements critiques.
- Mise en place d'une matrice de criticité.
- Maintenance prédictive via capteurs connectés (pression, corrosion, vibrations).
- Analyse de risques via AMDEC et arbres de défaillance.

Résultats :

- Amélioration du taux de disponibilité des installations.
- Réduction des coûts de maintenance corrective.
- Gain en sécurité et en conformité réglementaire.

4. Secteur de la production électrique – EDF (France)

Dans les centrales nucléaires ou thermiques, la fiabilité des équipements est une exigence vitale. EDF a appliqué la méthode RCM dans la gestion de ses actifs critiques (turbines, alternateurs, systèmes de refroidissement, etc.) [11].

Objectif :

- Garantir une production continue d'électricité.
- Respecter les exigences de sécurité nucléaire.
- Réduire les durées d'arrêts planifiés.

Résultats :

- Amélioration du plan de maintenance grâce à une meilleure hiérarchisation des équipements.
- Réduction des opérations inutiles.
- Intégration de la surveillance en temps réel.

5. Industrie automobile – Toyota

Toyota a adopté une stratégie RCM dans le cadre de sa politique de maintenance Lean (« Total Productive Maintenance » – TPM), notamment dans ses lignes d'assemblage automatisées [12].

Objectif :

- Réduire les arrêts machines.
- Éviter les défauts qualité liés à des problèmes mécaniques.
- Assurer une production en flux tendu.

Résultats :

- Réduction des temps d'arrêt non planifiés.
- Standardisation des procédures de maintenance.
- Amélioration continue intégrée dans la culture d'entreprise.

Ces exemples démontrent que la mise en œuvre de la MBF/RCM peut apporter des bénéfices significatifs en termes de performance, sécurité, fiabilité et réduction des coûts, quels que soient les secteurs d'activité. Cette approche, bien que nécessitant une expertise et une organisation rigoureuse, représente un levier majeur pour les entreprises visant l'excellence opérationnelle.

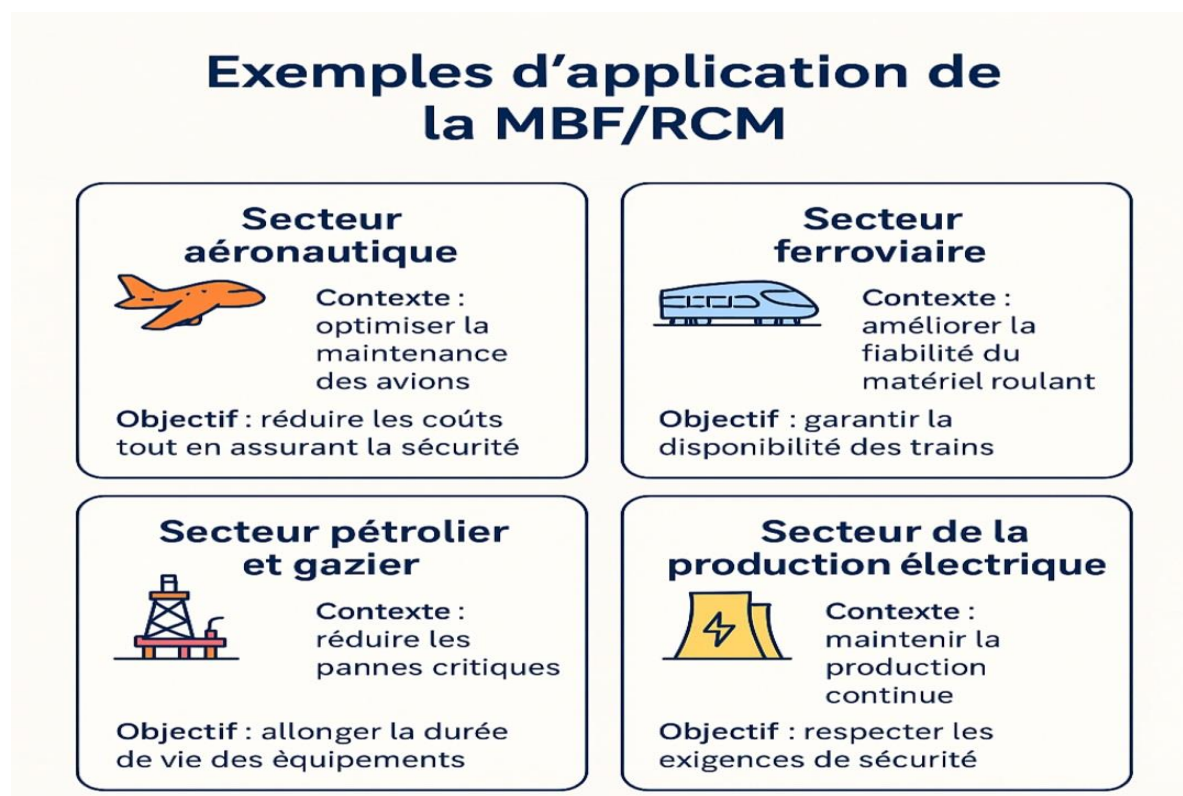


Figure II.4 : Exemples de secteur d'application de la MBF

Chapitre III: Etude de la criticité des machines

III.1.1. Définition de la notion de criticité des équipements

Dans le domaine de la maintenance industrielle, la criticité d'un équipement désigne son degré d'importance stratégique dans un processus de production, en fonction des conséquences que pourrait engendrer une défaillance. Elle ne se limite pas seulement à l'aspect technique, mais englobe plusieurs dimensions : sécurité des personnes, impact environnemental, qualité du produit fini, continuité de la production, et coûts associés à l'arrêt ou à la réparation [16].

L'objectif principal de l'évaluation de la criticité est de hiérarchiser les équipements en fonction de leur niveau de risque, afin de déterminer les priorités en matière d'entretien, de surveillance ou de remplacement. Cette hiérarchisation permet aux responsables de maintenance d'optimiser les ressources (humaines, matérielles et financières), tout en minimisant les conséquences des pannes les plus critiques.

On distingue généralement trois niveaux de criticité [17] :

- **Haute criticité** : l'équipement est vital pour la sécurité, la production ou l'environnement ; sa panne peut entraîner un arrêt complet ou des pertes importantes.
- **Criticité moyenne** : la panne a un impact modéré, souvent gérable par des moyens de secours ou une intervention rapide.
- **Faible criticité** : la défaillance a peu de conséquences sur le fonctionnement global ou peut être facilement contournée.

L'analyse de la criticité s'inscrit donc dans une logique de gestion du risque appliquée aux systèmes industriels, permettant de passer d'une maintenance curative réactive à une maintenance préventive ou proactive, mieux ciblée et plus efficace.

Elle est également une composante essentielle de démarches qualité (ISO 9001), de sécurité (ISO 45001), ou encore de gestion environnementale (ISO 14001), où l'identification et la maîtrise des risques liés aux équipements sont exigées [19].

Enfin, il est important de noter que la criticité peut évoluer dans le temps, notamment suite à des modifications du processus, des exigences réglementaires ou de l'environnement opérationnel. Il est donc recommandé de réévaluer périodiquement la criticité des installations.

III.1.2. Présentation des méthodes d'analyse de la criticité [20] :

L'analyse de la criticité repose sur des méthodes permettant d'évaluer, classer et prioriser les équipements selon leur niveau de risque. Ces approches sont essentielles pour orienter les actions de maintenance, assurer la fiabilité du système de production et réduire les coûts liés aux pannes. Plusieurs outils et méthodes sont utilisés, en fonction du contexte industriel, du degré de précision souhaité et des ressources disponibles.

❖ La méthode ABC

Inspirée de la loi de Pareto, cette méthode classe les équipements en trois catégories en fonction de leur impact sur l'activité :

- **Classe A** : équipements majeurs, dont une défaillance entraîne des conséquences graves (arrêt de production, danger pour les personnes, non-conformité produit). Ils nécessitent une attention constante et des plans de maintenance préventive rigoureux.
- **Classe B** : équipements d'importance intermédiaire. Leur panne peut être maîtrisée dans un délai raisonnable, mais perturbe le fonctionnement normal.
- **Classe C** : équipements à faible impact. Leur défaillance n'engendre pas de conséquences significatives sur la production ou la sécurité.

Cette méthode est simple à mettre en œuvre, mais peut manquer de précision si elle n'est pas complétée par d'autres analyses.

❖ La matrice de criticité

La matrice de criticité croise généralement deux axes :

- La probabilité de défaillance (fréquence d'apparition),
- La gravité de la conséquence (niveau d'impact).

Chaque équipement est placé dans une grille (souvent 3x3, 4x4 ou 5x5), permettant d'obtenir une vue d'ensemble de sa criticité. Par exemple, un équipement qui tombe fréquemment en panne et dont l'impact est élevé sera classé en zone rouge (hautement critique), tandis qu'un autre, peu susceptible de tomber en panne et avec un faible impact, sera en zone verte.

Cet outil visuel facilite la prise de décision et la priorisation des actions.

❖ L'analyse multicritère

Cette méthode consiste à attribuer à chaque équipement une note ou un coefficient pour plusieurs critères : coût d'arrêt, durée de réparation, fréquence de panne, présence de redondance, impact sur la sécurité ou l'environnement, etc. Chaque critère peut être pondéré selon son importance.

La somme des scores obtenus permet de classer les équipements selon un indice global de criticité. Cette méthode est plus fine et plus adaptée aux systèmes complexes, mais elle nécessite une bonne base de données et une expertise dans la définition des critères.

❖ L'AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité)

Bien que plus détaillée, l'AMDEC est aussi utilisée pour analyser la criticité des composants en identifiant les modes de défaillance possibles, leurs effets, leur fréquence et leur gravité. Elle permet d'anticiper les pannes critiques et d'élaborer des actions correctives ciblées.

En résumé, le choix de la méthode dépend du niveau de précision attendu, des données disponibles et des objectifs de la démarche. Une combinaison de plusieurs outils peut offrir une évaluation plus complète et fiable de la criticité des équipements.

III.1.3. Sélection des équipements critiques de l'entreprise **SIDER EL HADJER** unité TSS :

Pour sélectionner les équipements critiques de l'entreprise **SIDER EL HADJER** unité TSS, plusieurs critères doivent être pris en compte, en fonction de l'impact potentiel sur la **production**, la **sécurité**, l'**environnement**, et les **coûts** :

1. Impact sur la production :

- Les équipements essentiels à la production sidérurgique, tels que les **fours à arc électrique** et les **laminoirs**, sont vitaux. Leur défaillance entraînerait des arrêts prolongés, ce qui affecterait directement la production et engendrerait des pertes financières significatives.

2. Sécurité :

- Les équipements impliquant des risques pour les employés, comme les **systèmes de ventilation** dans les zones de production (pour éviter l'accumulation de gaz toxiques), les **machines à haute pression**, et les **dispositifs de sécurité** (systèmes anti-incendie, détecteurs de gaz, etc.), sont critiques. La défaillance de ces équipements pourrait entraîner des accidents graves.

3. Impact environnemental :

- Les équipements susceptibles de provoquer des **fuites de gaz ou de produits chimiques** doivent être considérés comme critiques. Cela inclut les équipements liés au **traitement des eaux**, les **systèmes de filtration des gaz**, et les **installations de stockage des matières premières**.

4. Coûts de réparation et de remplacement :

- Certains équipements ont un coût élevé en termes de réparation et de remplacement, comme les **centrales électriques internes** ou les **équipements de refroidissement**. Leur défaillance peut entraîner des coûts financiers considérables en plus de l'arrêt de production.

❖ Le choix des machines mécaniques est basé sur leur rôle et leur importance dans la production de l'unité TSS. Dans notre travail, on a choisi HOLSET à cause du temps d'arrêt important dans l'entreprise SIDER ELHADJAR (TSS) qui engendre des pertes de production considérables.

III.1.3.1. Classification des machines critiques :

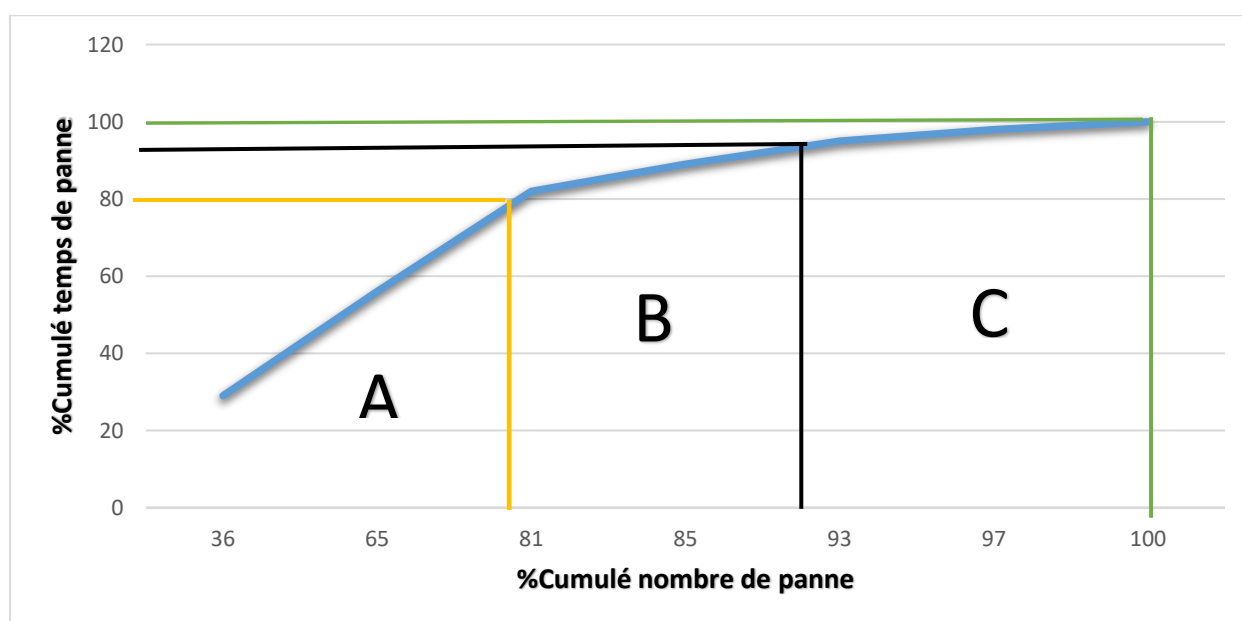
A partir de l'historique des pannes des installations dans l'unité TSS de l'année 2022 on a :

- ✓ Allonge
- ✓ Four à soule
- ✓ Presse à percer
- ✓ Appareil de présentation
- ✓ HOLSET
- ✓ Chaîne cinématique
- ✓ Point à pince

N°	Machine	Temps d'heures d'arrêt (mn)	Cumul de temps	Cumul %	Nombre d'arrêt	Cumul	Cumul %
1	HOLSET	6208	6208	29	61	61	36
2	Appareil de présentation	5481	11689	56	48	109	65
3	Four à soule	5292,8	16981,8	82	27	136	81
4	Allonge	1485	18466,8	89	7	143	85
5	Pont à pince	1305	19771,8	95	12	155	93
6	Presse à percé	500	20271,8	98	7	162	97
7	Chaine cinématique	435	20706,8	100	5	167	100

Tableau III .1 : Tableau de l'analyse ABC.

- Diagramme de Pareto :**



- **Analyse de la courbe ABC :**

Après dépouillement des données en heures de pannes et en nombre d'arrêts, 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 ; [36% ; 29%]. 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 coûteux (surtout si on considère le manque à gagner en production).
- ✚ Pour la deuxième zone **B**, il est recommandé généralement la préventive systématique.
- ✚ Enfin, pour la zone **C**, il est toléré de pratiquer la maintenance corrective du fait que le coût on budget de maintenance est minime.

III.1.3.2. Présentation de l'accouplement « HOLSET » :

L'accouplement HOLSET est un accouplement placé entre le réducteur et le dédoubleur de la chaîne cinématique 14'' qui sert à absorber les efforts survenus par le contact des deux mouvements simultanés, la rotation des cylindres de la cage LP 14'' et l'avance du chariot de l'appareil 14'' durant le laminage, et qui contient des fusibles mécaniques (les goupilles) de cisaillement et ce pour préserver l'installation (Moteurs , réducteur, dédoubleur, cage, allonges et cylindres).

- L'accouplement « HOLSET », est un accouplement à plateau.
- L'accouplement se compose de deux demi accouplements reliés entre eux par des boulons ajustés.
- Un goupillage peut augmenter le couple transmissible. Les deux plateaux sont mis en position l'un par rapport à l'autre.
- Le côté commande comprend une bague intérieure et une bague extérieure, entre ces deux est logée une douille en bronze. Les deux bagues sont reliées solidement par deux boulons de rupture.
- Le côté sortie se compose d'une bague intérieure et d'une bague extérieure entre lesquelles sont logés les éléments en contact.

Figure III.1: La courbe ABC.

L'accouplement HOLSET est un organe dans le laminoir à pas de pèlerin, il assure la rotation entre le réducteur et la cage dédoubleuse.

- **Laminoir à pas de pèlerin :**

Dans l'atelier du laminoir à tube se trouve un laminoir à pas de pèlerin qui se compose de deux trains 8" et 14".

Chaque laminoir est composé de trois parties : la cage, l'appareil de présentation et son chariot ainsi que le circuit des mandrins.

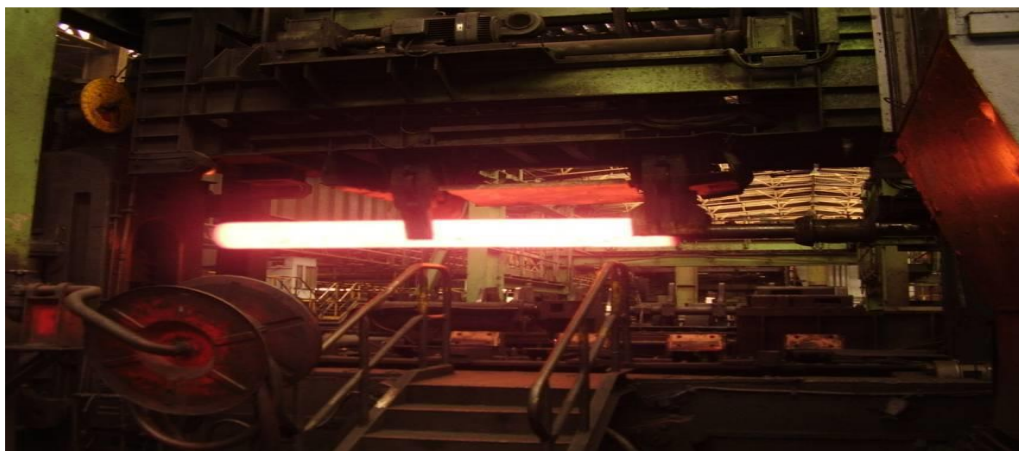
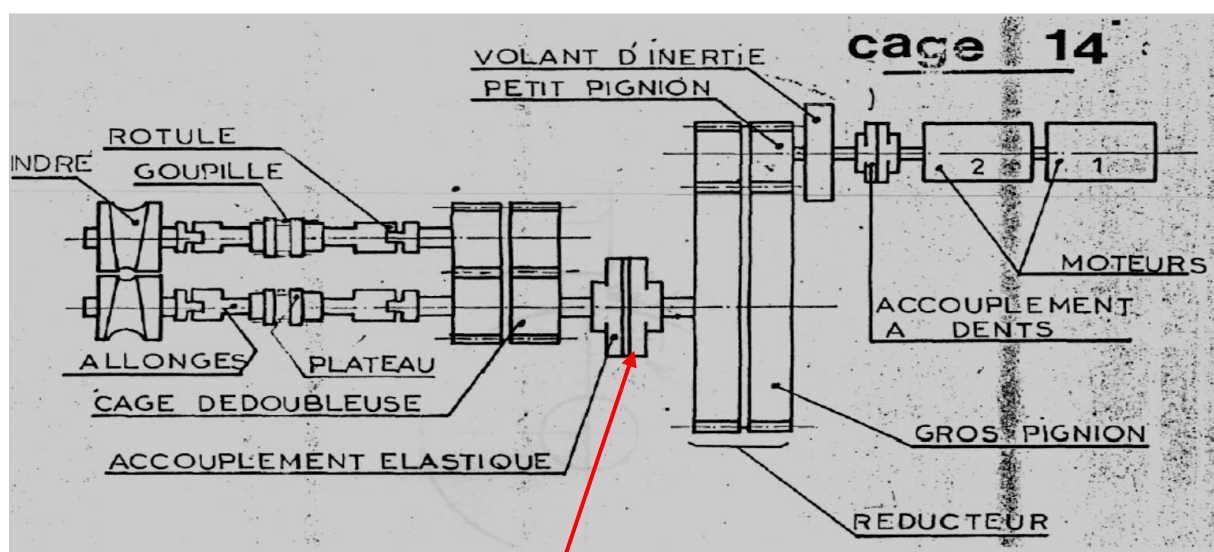


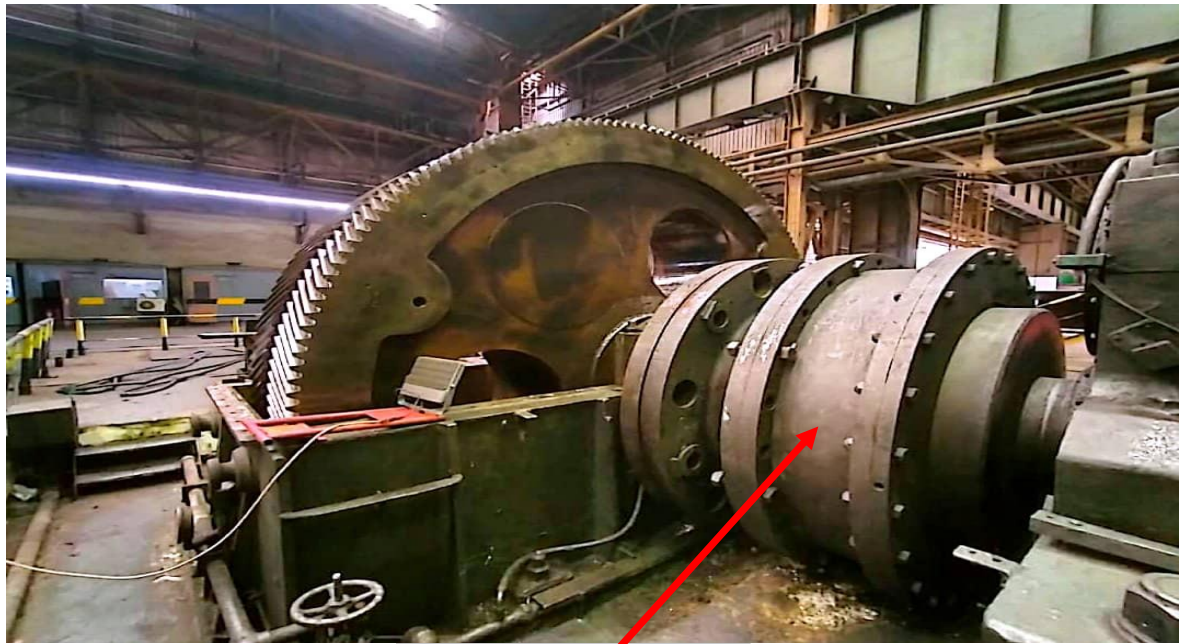
Figure III.2: Laminoir à pas de pèlerin.

- **Chaine cinématique de laminoir à Pas de pèlerin :**



Accouplement HOLSET

Figure III.3 : Chaine cinématique du laminoir à pas de pèlerin



Accouplement HOLSET

Figure III.4 : Photo de l'accouplement HOLSET

III.1.3.2.1. 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

III.1.3.2.2. Caractéristiques techniques 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.**

III.1.3.2.3. 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.
- **Schéma présente le plateau de l'accouplement HOLSET :**

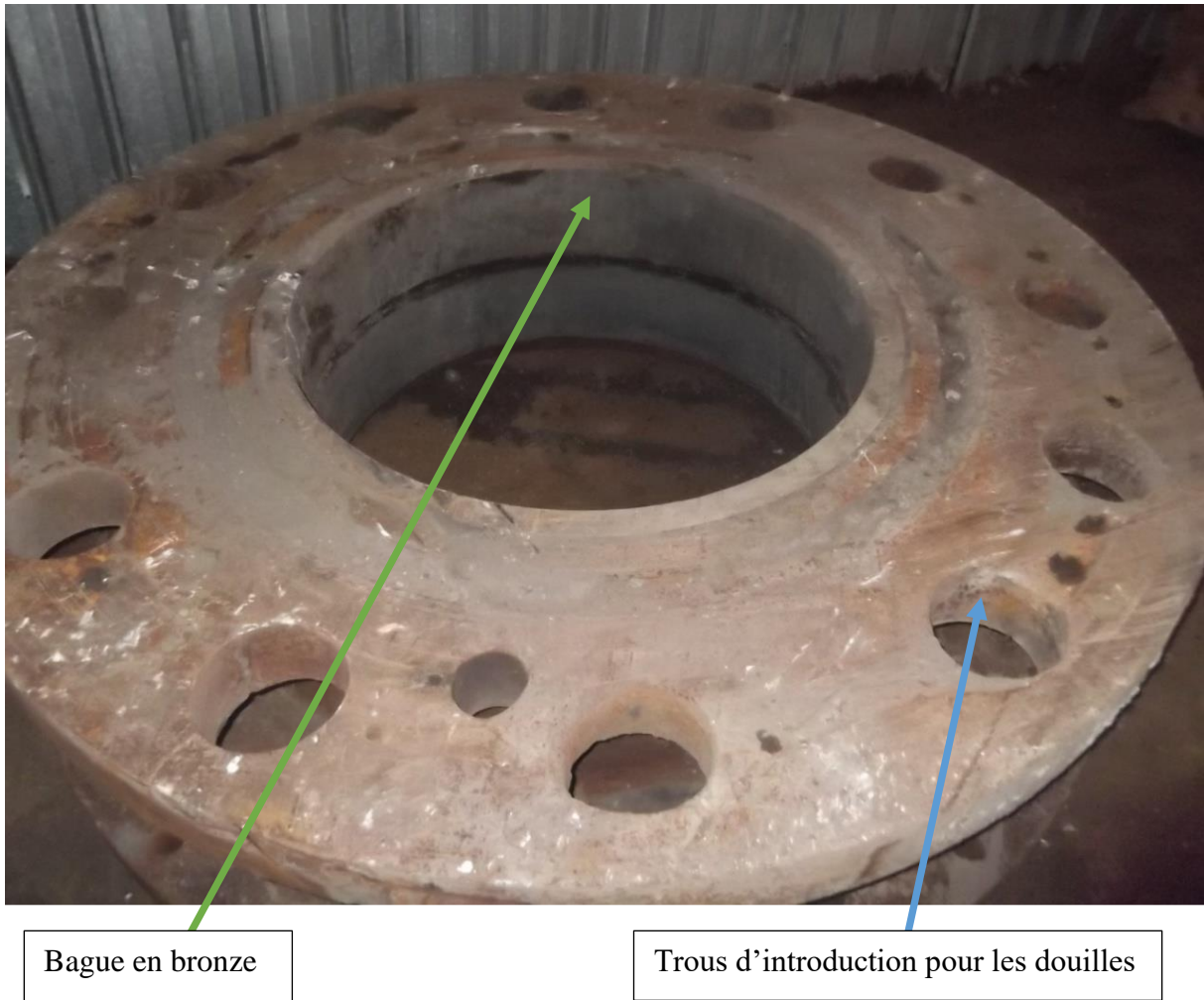


Figure III.5 : Photo du plateau de l'accouplement HOLSET [1].

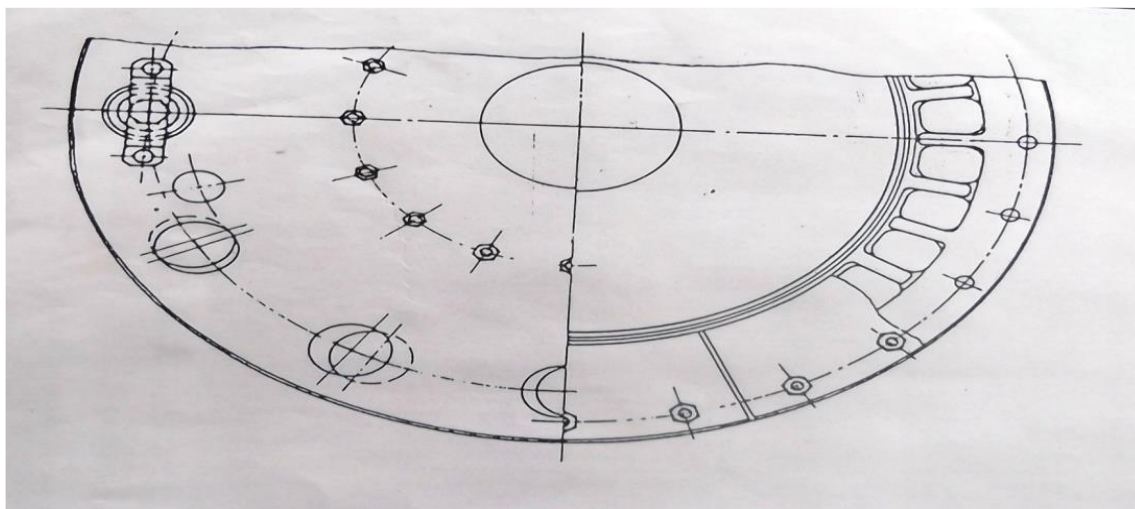


Figure III.6 : Schéma du plateau selon le dossier technique « HOLSET » [1]

- Schéma des douilles :

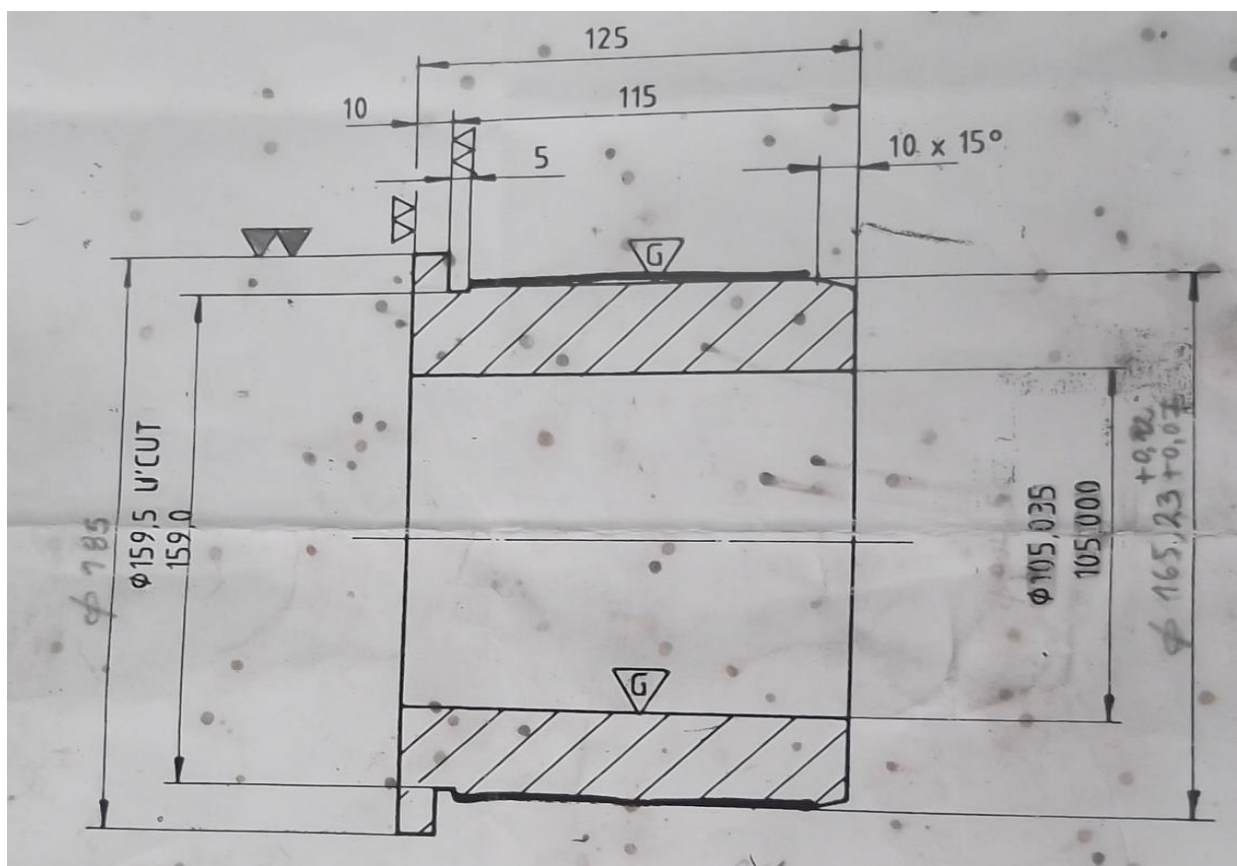


Figure III.7: Schéma de définition de la douille (Diamètre 185 mm) [1]



Figure III.8 : Photo de la douille de l'accouplement

- Schéma des goupilles :

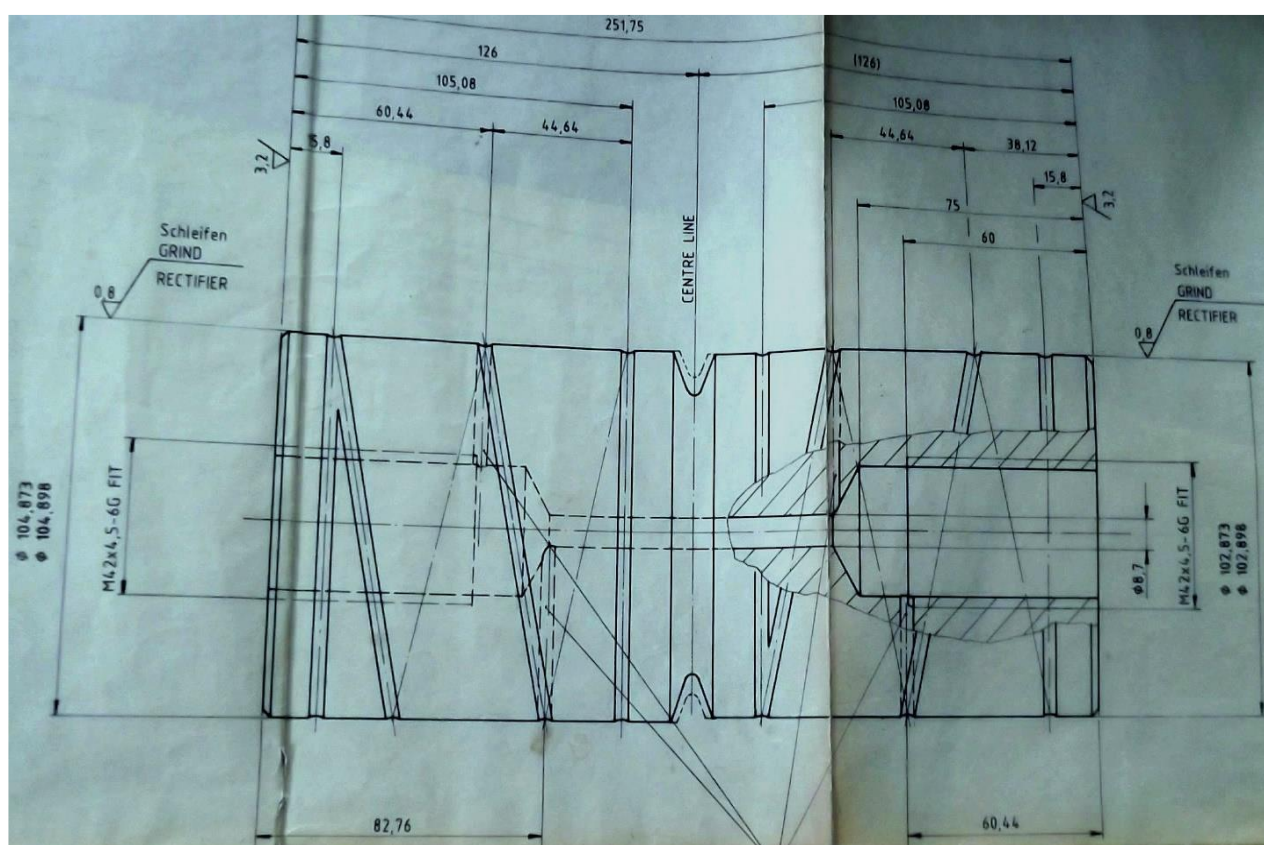


Figure III.9 : Schéma de définition de la goupille (Diamètre 104 mm) [1]



Figure III.10: Photo de la goupille de l'accouplement HOLSET.

III.1.3.2.4. Analyse de quelques défaillances :

Dans l'accouplement « HOLSET », se passe presque toujours des ruptures dans les goupilles, La cause principale de cisaillement est à la déformation du plateau de l'accouplement et éventuellement la matière première et suite aux efforts répétés, il y a eu une rupture des goupilles. Les photos suivantes vont expliquer ces défaillances.



Figure III.11: Photo d'une goupille



Figure III.12: Photo d'une goupille rompue.

III.1.4. Choix des équipements critiques retenus pour l'analyse MBF/RCM :

Le choix est selon le chemin critique c'est-à-dire des machines qui ont un impact direct sur la production (leur cause et arrêt de dysfonctionnement de la ligne de production).

La machine HOLSET présente 36,53% des pannes et 29% des heures d'arrêt. Ceci justifie le choix de l'étude de la MBF.

III.1.4.1. Etude de la fiabilité :

- **Historique de panne de la machine HOLSET:**

Le tableau suivant illustre l'historique des pannes du HOLSET:

DATE	ZONE	Installation	Spécialité	Travaux réalisés	Durée (h) intervention	Durée (min)
02/02/2022	LP14"	HOLSET	MEC	Cisaillement de deux goupilles accouplement HOLSET repère MMM/FFF	2,17	130
14/02/2022	LP14"	HOLSET	MEC	Changement goupilles de cisaillement	1,83	110
15/02/2022	LP14"	HOLSET	MEC	Changement goupilles de cisaillement	2,75	165

08/03/2022	LP14"	HOLSET	MEC	Remise en place goupille de cisaillement plus soudure clavette maintien monobloc	1,00	60
10/03/2022	LP14"	HOLSET	MEC	Changement goupilles de cisaillement	2,83	170
14/03/2022	LP14"	HOLSET	MEC	changement goupilles	1,17	70
15/03/2022	LP14"	HOLSET	MEC	Changement de deux goupilles	2,00	120
16/03/2022	LP14"	HOLSET	MEC	Changement de deux goupilles	2,00	120
17/03/2022	LP14"	HOLSET	MEC	Changement de deux goupilles	1,50	90
17/03/2022	LP14"	HOLSET	MEC	Changement de deux goupilles	2,67	160
20/03/2022	LP14"	HOLSET	MEC	Remise en place de goupille	1,00	60
20/03/2022	LP14"	HOLSET	MEC	Changement goupilles	1,83	110
21/03/2022	LP14"	HOLSET	MEC	Vérification goupilles	0,25	15
21/03/2022	LP14"	HOLSET	MEC	Cisaillement de deux goupilles accouplement HOLSET	0,58	35
22/03/2022	LP14"	HOLSET	MEC	Changement des goupilles de cisaillement	2,00	120
31/03/2022	LP14"	HOLSET	MEC	Changement des goupilles de cisaillement	1,75	105
31/03/2022	LP14"	HOLSET	MEC	Changement des goupilles de cisaillement	1,75	105
04/04/2022	LP14"	HOLSET	MEC	Dressage étrier puis remontage	0,92	55
05/04/2022	LP14"	HOLSET	MEC	Changement goupilles de cisaillement	1,08	65
12/04/2022	LP14"	HOLSET	MEC	Changement goupilles de cisaillement	1,67	100
13/04/2022	LP14"	HOLSET	MEC	Changement goupilles de cisaillement	1,00	60
14/04/2022	LP14"	HOLSET	MEC	Suite des travaux de changement goupillent, dressage des étriers et montage monoblocs	1,33	80
14/04/2022	LP14"	HOLSET	MEC	Démontage et changement goupilles de cisaillement	2,23	134

17/04/2022	LP14"	HOLSET	MEC	Changement des goupilles de cisaillement	3,97	238
17/04/2022	LP14"	HOLSET	MEC	Changement des goupilles de cisaillement pour la 2ème fois	3,95	237
17/04/2022	LP14"	HOLSET	MEC	Changement de deux goupilles	1,57	94
19/04/2022	LP14"	HOLSET	MEC	Changement des goupilles de cisaillement	2,17	130
19/04/2022	LP14"	HOLSET	MEC	Suite des travaux de changement Goupilles	1,33	80
20/04/2022	LP14"	HOLSET	MEC	Changement des goupilles de cisaillement	1,67	100
26/04/2022	LP14"	HOLSET	MEC	Changement goupille de cisaillement	1,08	65
27/04/2022	LP14"	HOLSET	MEC	Changement goupilles	1,75	105
27/04/2022	LP14"	HOLSET	MEC	Cisaillement une goupilles	1,75	105
01/05/2022	LP14"	HOLSET	MEC	Changement goupilles de cisaillement	2,00	120
08/05/2022	LP14"	HOLSET	MEC	Changement goupilles de cisaillement	2,83	170
08/05/2022	LP14"	HOLSET	MEC	Changement goupilles de cisaillement	5,00	300
10/05/2022	LP14"	HOLSET	MEC	Cisaillement des goupilles	1,00	60
10/05/2022	LP14"	HOLSET	MEC	Cisaillement des goupilles	3,17	190
23/05/2022	LP14"	HOLSET	MEC	Changement vis de monobloc cisailé	1,17	70
29/05/2022	LP14"	HOLSET	MEC	Changement de deux goupilles	1,75	105
30/05/2022	LP14"	HOLSET	MEC	Serrage étrier sur EEE	0,50	30
11/06/2022	LP14"	HOLSET	MEC	Changement vis de fixation de monobloc cisailé	0,83	50
12/06/2022	LP14"	HOLSET	MEC	Changement de deux goupilles	0,92	55
13/06/2022	LP14"	HOLSET	MEC	Remontage cache d'accouplement HOLSET	0,33	20
15/06/2022	LP14"	HOLSET	MEC	Changement de deux goupilles	3,50	210

16/07/2022	LP14"	HOLSET	MEC	Changement goupilles de cisaillement	1,75	105
19/07/2022	LP14"	HOLSET	MEC	Changement goupilles de cisaillement	2,25	135
20/07/2022	LP14"	HOLSET	MEC	Changement goupilles de cisaillement	1,38	83
23/07/2022	LP14"	HOLSET	MEC	Soudure étrier au niveau accouplement	0,50	30
27/07/2022	LP14"	HOLSET	MEC	Changement goupilles de cisaillement	3,50	210
08/08/2022	LP14"	HOLSET	MEC	Changement de deux goupilles	1,58	95
09/08/2022	LP14"	HOLSET	MEC	Changement de deux goupilles	1,25	75
10/08/2022	LP14"	HOLSET	MEC	Changement de deux goupilles	3,67	220
17/08/2022	LP14"	HOLSET	MEC	Changement des goupilles	3,08	185
20/08/2022	LP14"	HOLSET	MEC	Changement des goupilles	1,42	85
21/08/2022	LP14"	HOLSET	MEC	Cisaillement des goupilles LP 14"	1,92	115
22/08/2022	LP14"	HOLSET	MEC	Changement goupilles de cisaillement	1,48	89
23/08/2022	LP14"	HOLSET	MEC	Changement goupilles de cisaillement	1,58	95
25/08/2022	LP14"	HOLSET	MEC	Changement goupilles de cisaillement	2,15	129
27/08/2022	LP14"	HOLSET	MEC	Cisaillement des goupilles LP 14"	1,25	75
28/09/2022	LP14"	HOLSET	MEC	Changement goupilles de cisaillement	0,67	40

Tableau III. 2: Historique des pannes de HOLSET

III.1.4.2. Méthode de calcul des paramètres de la fiabilité :

Cette étude a pour but de déterminer la fiabilité de l'accouplement HOLSET suite à l'analyse de l'historique mis à notre disposition par l'atelier LAT dans l'entreprise TSS. L'équipement en question se trouve dans la chaîne cinématique du laminoir à pas de pèlerins.

Cette étude a été proposée pour élucider les défaillances et leur occurrence dans les accouplements HOLSET. Il nous a été suggéré de voir l'évolution des paramètres de la fiabilité durant les dernières années surtout que le manque d'un plan de maintenance efficace dans l'entreprise peut donner des résultats faibles.

Avec les données exploitées de l'historique des pannes (voir tableau de l'historique de pannes de l'année 2022), il est possible de calculer les temps de bon fonctionnement (TBF) de la manière suivante :

- **Exemple de calcul :**

Formule de base du TBF :

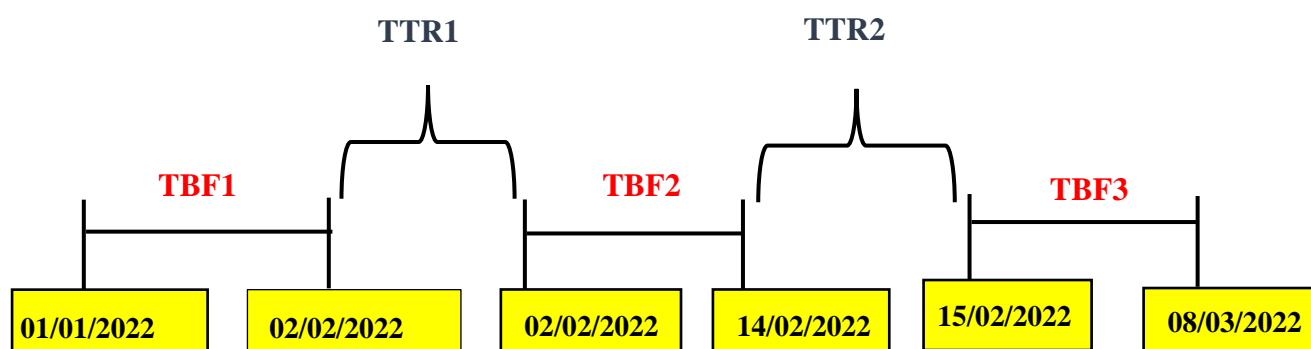


Figure III.13: Méthode de calcul des TBF et des TTR

N°	Date	Heure Début	Heure Fin	Durée de la panne (heure)
1	01/01/2022	/	/	Commencement
2	02/02/2022	07 :30	09:40	2,17
3	14/02/2022	11 :15	13 :05	1,83
4	15/02/2022	13 :00	15:45	2,75
5	08/03/2022	8 :30	9 :30	1,00
6	10/03/2022	6 :00	8 :30	2,83

TBF1= 23 jours+7,31 heures= (23*24) +7,31= **559,31 heures**

TBF2= 14,20 heures+7 jours+ 11,15heures= (7*24) +14,20+11,15=**193,35 heures**

TBF3= 10,55 heures +13,00 heures= **23,55 heures**

TBF4= 8.15 heures+15 jours+8,30 heures= (15*24) +8,15+8,30=**376,45 heures**

TBF5= 14,30heures+1 jour+6,00 heures= (1*24) +14,30+6,00=**44,30 heures**

TBF6= 15,30 heures+1 jours+14,15 heures= (1*24) +15,30+14,15=**53,45 heures**

Ainsi, on trouve les résultats suivants pour le cas 1 qui regroupe l'ensemble des **TBF en heures** de l'année 2022.

TBF1 :	TBF2 :	TBF3 :	TBF4 :	TBF5 :	TBF6 :
559,31	193,35	23,55	376,45	44,30	53,45
TBF7:	TBF8:	TBF9 :	TBF10 :	TBF11 :	TBF12 :
17,45	22,00	25,50	17,10	18,05	29,55
TBF13 :	TBF14:	TBF15 :	TBF16:	TBF17 :	TBF18 :
166,00	43,00	24,50	127,40	15,45	20,15
TBF19 :	TBF20 :	TBF21 :	TBF22:	TBF23 :	TBF24 :
19,16	64,31	24,50	94,40	19,55	43,30
TBF25 :	TBF26:	TBF27 :	TBF28 :	TBF29 :	TBF30 :
116,30	41,10	214,00	98,15	25,15	232,30
TBF31 :	TBF32 :	TBF33:	TBF34 :	TBF35 :	TBF36:
21,40	15,50	46,25	531,05	72,50	15,35
TBF37:	TBF38 :	TBF39 :	TBF40 :	TBF41 :	TBF42 :
46,37	96,00	183,00	31,40	20,00	111,35
TBF43:	TBF44 :	TBF45 :	TBF46 :	TBF47 :	TBF48 :
56,40	23,05	18,05	19,31	43,40	26,51
TBF49 :	TBF50 :				
18,05	528,00				

Tableau III.3 : Liste des TBF en heures enregistrées en 2022.

III.1.4.2. Calcul des paramètres de fiabilité :

- **Détermination MTBF** (Temps moyen de fonctionnement) :

$$MTBF = \frac{\Sigma \text{Temps de bon fonctionnement}}{\text{Nombre de panne}} = \frac{\Sigma TBF}{N}$$

$$MTBF = \frac{TBF1 + TBF2 + TBF3 + \dots + TBF50}{N}$$

$$MTBF = \frac{6432,68}{50} = \mathbf{129 \text{ (H)}}$$

- **Détermination de l'écart type :**

$$\sigma(T)^2 = \frac{\Sigma TBF_i^2}{N} - MTBF^2$$

$$\sigma(T)^2 = \frac{(6432,68)^2}{50} - (129)^2$$

$$\sigma(T) = \mathbf{99 \text{ (H)}}$$

- **Détermination de convention de variation :**

$$CV = \frac{\sigma(T)}{MTBF}$$

$$CV = \frac{99}{129} = \mathbf{76\%}$$

- **Détermination λ :**

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

$$\lambda = \frac{1}{129} = \mathbf{7,75 * 10^{-3} \text{ Déf/h}}$$

- Détermination du Kurtosis (K) :

$$K = \frac{\mu_4}{(\mu_2)^2} = \frac{\frac{1}{N} \sum (TBF_i - MTBF)^4}{\left(\frac{1}{N} \sum TBF_i^2 - MTBF^2\right)^2}$$

$$K = \frac{\mu_4}{(\mu_2)^2} = \frac{\frac{1}{50} \sum (TBF_i - MTBF)^4}{\left(\frac{1}{50} \sum TBF_i^2 - MTBF^2\right)^2}$$

$$K = \frac{\frac{1}{50} ((TBF1 - MTBF)^4 + (TBF2 - MTBF)^4 + (TBF3 - MTBF)^4 + \dots)}{\left(\frac{1}{50} ((TBF1 - MTBF)^2 + (TBF2 - MTBF)^2 + (TBF3 - MTBF)^2 + \dots)\right)^2}$$

$$K = 5,35$$

➤ $K > 3$ —————> Courbe très pointue

- Détermination Skewness (S) :

$$S = \frac{\mu_3}{\sqrt{(\mu_2)^3}} = \frac{\frac{1}{N} \sum (TBF_i - MTBF)^3}{\sqrt{\left(\frac{1}{N} \sum TBF_i^2 - MTBF^2\right)^3}}$$

$$S = \frac{\frac{1}{50} ((TBF1 - MTBF)^3 + (TBF2 - MTBF)^3 + (TBF3 - MTBF)^3 + \dots)}{\sqrt{\left(\frac{1}{50} ((TBF1 - MTBF)^2 + (TBF2 - MTBF)^2 + (TBF3 - MTBF)^2 + \dots)\right)^3}}$$

$$S = 1,49$$

- 🚦 K étant supérieur à 3 donc la courbe de la distribution des pannes est très pointue.
- 🚦 Donc la maintenance conditionnelle est fortement déconseillée, On fera alors appel à la maintenance systématique.
- 🚦 Le Skewness indique la dissymétrie de la courbe. Comme S est positif alors la périodicité d'une intervention systématique qui initialement proposée à la date=MTBF sur recalée d'une périodicité calculé comme suit :

-Périodicité= $K * MTBF$ avec $K > 1$

-Nous prenons un $K=1,2$ donc : périodicité= $1,2 * 129 = 155 \text{ H}$

Chapitre IV :

Analyse des modes de défaillances, de leur effet et leur criticité d'une machine critique

IV.1. Introduction :

L'atelier de laminage LAT joue un rôle essentiel dans la chaîne de production des tubes sans soudure de l'unité TSS. Au sein de cet atelier, la machine HOLSET est l'un des équipements critiques. Elle intervient directement dans la réduction et la mise aux dimensions des tubes à chaud. Toute défaillance sur cette machine peut entraîner un arrêt de la production, des pertes importantes, voire des risques pour la sécurité.

Dans ce chapitre, une analyse AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité) est menée sur cette machine afin d'identifier les points faibles, évaluer les risques associés, et prioriser les actions de maintenance à mettre en œuvre.

Le but de l'analyse du mode de défaillance du HOLSET 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.

Mode de défaillance potentielle :

- ✓ Usure
- ✓ Cisaillement vis
- ✓ Cisaillement goupilles
- ✓ Déformation
- ✓ Manque graissage

Effets de la défaillance potentielle :

- ✓ Casse des goupilles
- ✓ Arrêt de production
- ✓ Casse fréquent des goupilles
- ✓ Usure éléments de guidage

Causes possibles de la défaillance :

- ✓ Manque graissage
- ✓ Desserrage vis

- ✓ Effort de laminage
- ✓ Coincement chute des goupilles
- ✓ Durée de vie
- ✓ Pas de trous de graissage

✚ **Contrôles actuels du processus :**

- ✓ Visuel

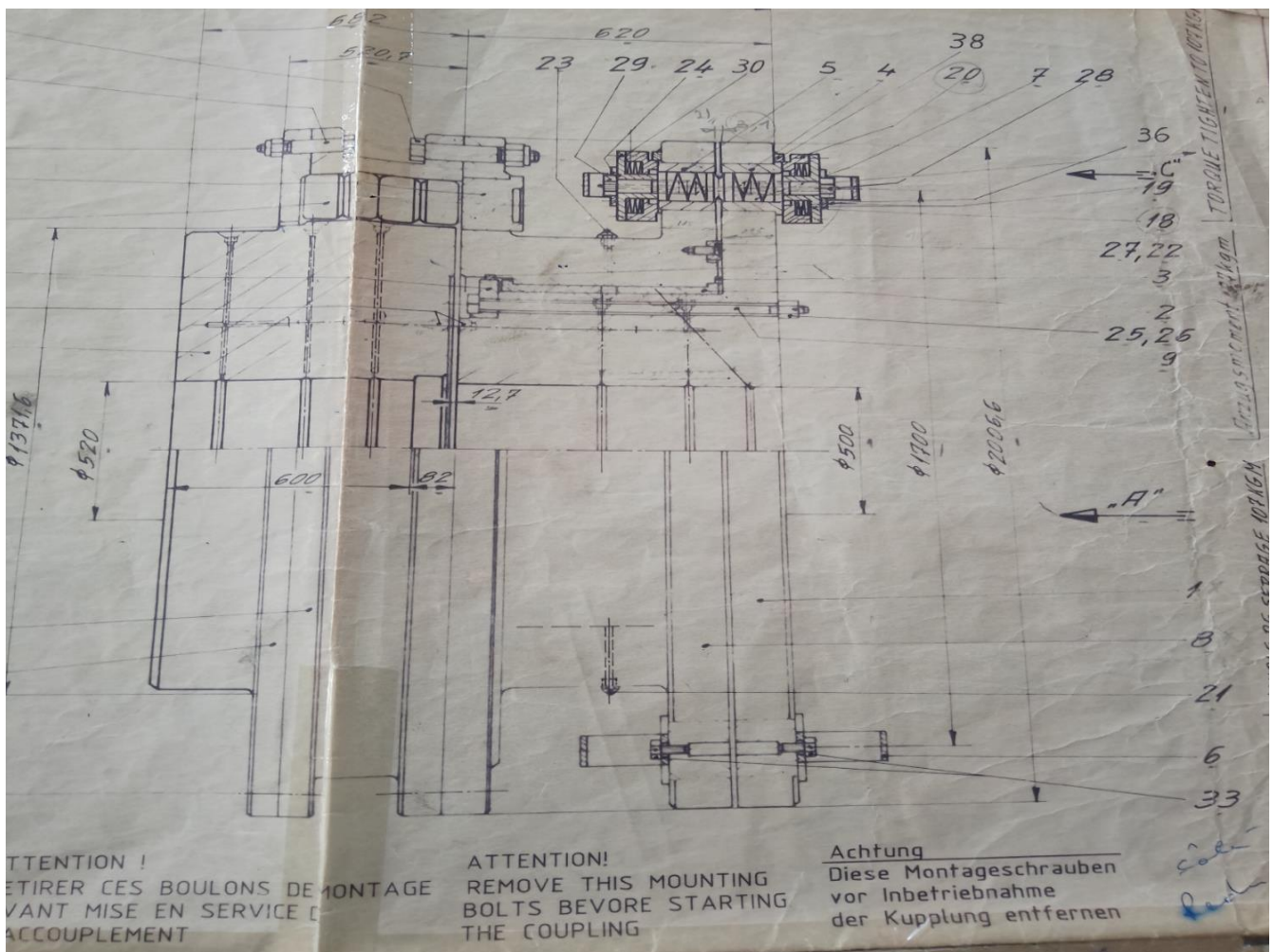


Figure IV.1 : Schéma accouplement HOLSET [1]

1/Éléments d'analyse	
1: Douille N°2	
2: Vis de fixation étrier N°6	
3: Goupilles N°7	
4: Bride de commande N°8	
5: Élément caoutchouc N°14	
6: Ressort N°18	
7: Graissage	

IV.1.1. Tableau de l'analyse AMDEC :

Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité (AMDEC)								
Analyse des modes de défaillances actuelles (1-8)								
Eléments d'analyse	Mode de défaillance potentielle	Effets de la défaillance potentielle	Gravité	Causes possibles de la défaillance	Occurrence	Contrôles actuels du processus	Détection	Risque
Douille	Usure	Casse des goupilles	3	Manque graissage	4	Visuel	2	24
Vis de fixation étrier	Cisaillement vis	Arrêt de production	3	Desserrage vis	4	Visuel	2	24
Goupilles	Cisaillement goupilles	Arrêt de production	3	Effort de laminage	8	Visuel	2	48
Bride de commande	Déformation	Casse fréquent des goupilles	8	Coincement chute des goupilles	7	Visuel	2	112
Élément caoutchouc	Usure	Casse fréquent des goupilles	4	Durée de vie	3	Visuel	7	84
Ressort	Usure	Casse fréquent des goupilles	3	Durée de vie	3	Visuel	2	18
Graissage	Manque graissage	Usure éléments de guidage	7	Pas de trous de graissage	2	Visuel	2	28

Tableau IV.1 : Tableau de l'analyse AMDEC

Le calcul de la criticité se fait en multipliant les trois critères (Occurrence, Gravité, Détection).
La grille étant de 10, donc la note globale sera entre 1 et 1000.

IV.1.2. Classification des éléments :

Eléments d'analyse	Risque
Bride de commande	112
Élément caoutchouc	84
Goupilles	48
Graissage	28
Douille	24
Vis de fixation étrier	24
Ressort	18

Tableau IV.2 : Classification des éléments

IV.1.3. Diagramme des éléments :

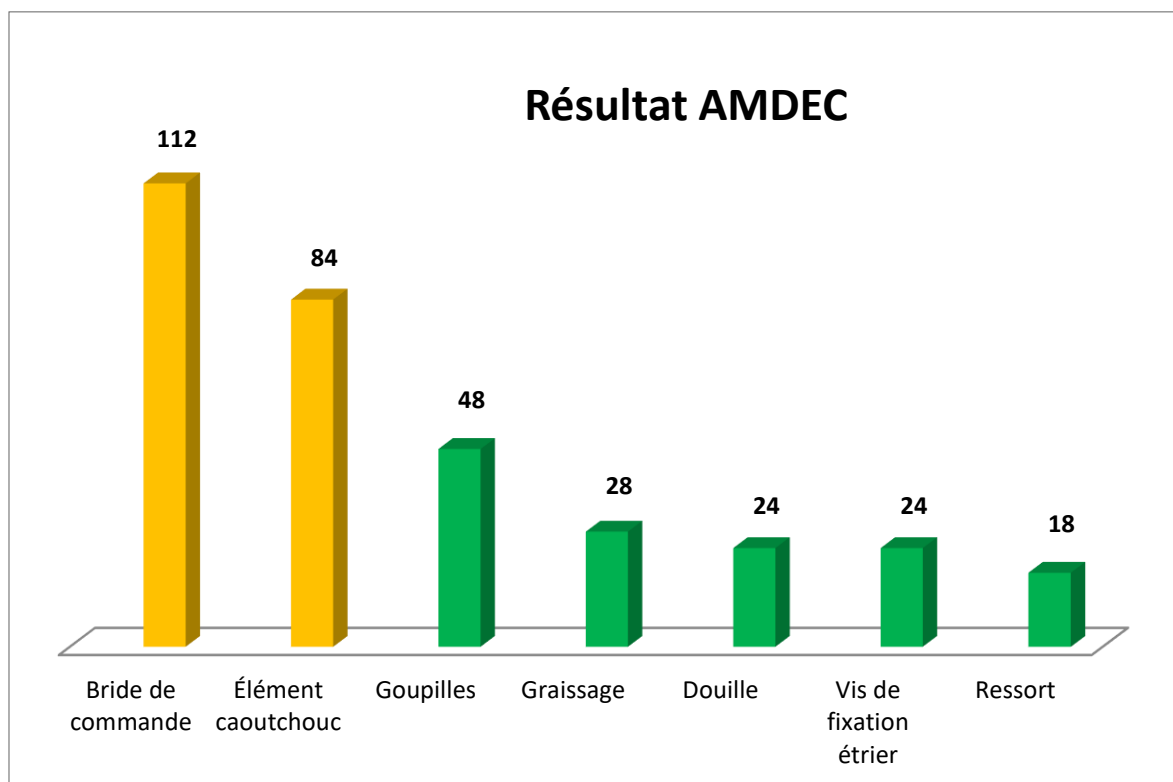


Figure IV.2 : Diagramme des éléments

IV.1.4. Tableau et diagramme des risques :

	Risque majeur	Risque important	Risque faible	Cumul risque
Nbre	0	2	5	7

Tableau IV.3 : Tableau des risques

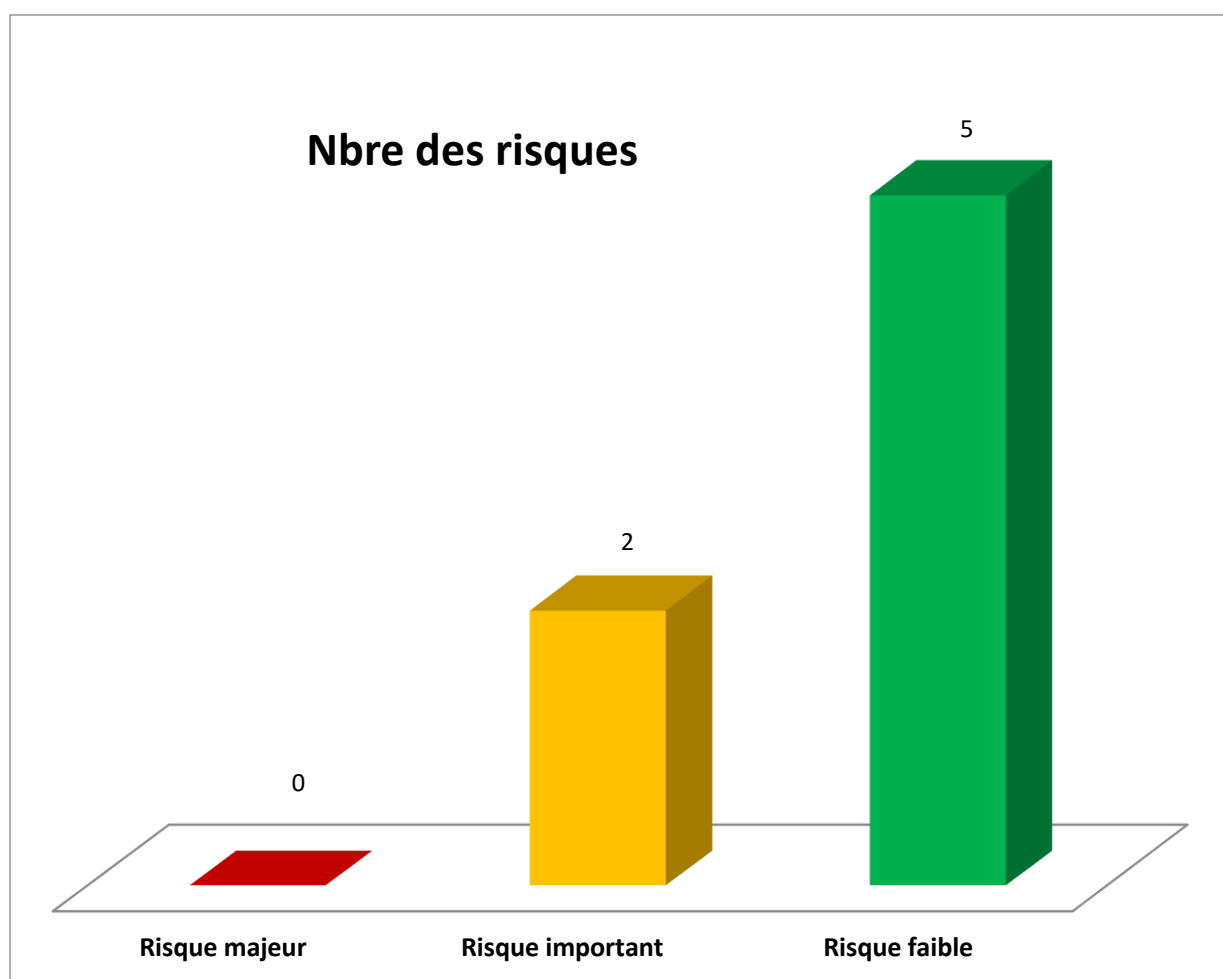


Figure IV.3 : Diagramme des risques

Chapitre V :

**Proposition d'une démarche
organisationnelle pour la mise en
place de la MBF/RCM dans
l'entreprise**

V.1. Proposition d'une feuille de route pour la mise en place de la MBF/RCM dans l'entreprise TSS, en tenant compte des spécificités de l'entreprise et des résultats de l'analyse AMDEC :

La TSS pourra envisager de mettre une stratégie de maintenance intégrant la MBF. Pour rendre la feuille de route proposée opérationnelle, nous pouvons détailler les activités spécifiques au sein de chaque phase:

❖ Phase 1: Préparation et Sensibilisation (Durée estimée : 1-2 mois)

▪ Activité 1.1 : Présentation et validation par la direction :

-Élaboration d'un dossier de présentation de la MBF/RCM, mettant en avant les bénéfices potentiels pour l'unité TSS (réduction des coûts, amélioration de la disponibilité, etc.) et s'appuyant sur les conclusions préliminaires de l'AMDEC.

-Organisation de réunions avec la direction générale et les responsables des services clés (production, maintenance, sécurité, finances) pour obtenir leur adhésion et leur engagement.

-Définition des indicateurs clés de succès (ICS) pour le projet de mise en place de la MBF/RCM.

▪ Activité 1.2 : Constitution de l'équipe projet MBF/RCM :

-Identification des personnes clés issues des différents départements (maintenance, production, ingénierie, etc.) possédant l'expertise et la motivation nécessaires.

-Définition des rôles et responsabilités au sein de l'équipe projet (chef de projet, experts techniques, coordinateurs, etc.).

-Mise en place de réunions régulières de l'équipe projet pour le suivi et la coordination des activités.

▪ Activité 1.3 : Définition des objectifs (SMART) :

-Traduction des objectifs généraux (réduction des pannes, optimisation des coûts) en objectifs spécifiques, mesurables, atteignables, réalistes et temporellement définis (par exemple, réduire les arrêts non planifiés de la ligne de production X de 15% d'ici 12 mois).

▪ **Activité 1.4 :** Communication initiale à l'ensemble du personnel :

- Organisation de séances d'information générales pour présenter les concepts de la MBF/RCM, les raisons de sa mise en place et les bénéfices attendus pour l'entreprise et les employés.
- Création de supports de communication (notes d'information, affiches, intranet) pour diffuser l'information de manière claire et accessible.
- Mise en place d'une boîte à questions/suggestions pour recueillir les réactions et répondre aux interrogations (elle peut être appelée boîte à idée).

❖ **Phase 2 :** Analyse et Planification Détaillée (Durée estimée : 3-6 mois)

▪ **Activité 2.1 :** Analyse approfondie des résultats de l'AMDEC :

- Identification des équipements critiques ayant un impact majeur sur la production, la sécurité ou les coûts.
- Priorisation des modes de défaillance en fonction de leur criticité (fréquence, gravité, détectabilité).
- Analyse des causes racines des défaillances les plus critiques.

▪ **Activité 2.2 :** Définition des tâches de maintenance basées sur la RCM :

- Pour chaque équipement critique et mode de défaillance prioritaire, application de la logique RCM pour déterminer les tâches de maintenance appropriées (préventive à intervalle fixe, conditionnelle, détection des défaillances potentielles, maintenance corrective).
- Spécification détaillée des procédures de maintenance, des gammes de maintenance (instructions pas à pas), des outillages nécessaires et des compétences requises.

▪ **Activité 2.3 :** Planification des ressources :

- Évaluation des besoins en personnel (formation, recrutement).
- Identification des besoins en équipements de maintenance et en technologies de surveillance conditionnelle.
- Élaboration d'un budget détaillé pour la mise en place de la MBF/RCM.

▪ **Activité 2.4 :** Choix des outils et technologies :

-Sélection et implémentation d'un logiciel de Gestion de la Maintenance Assistée par Ordinateur (GMAO) pour la planification, l'ordonnancement, le suivi des interventions et l'analyse des données de maintenance.

-Évaluation et acquisition éventuelle de capteurs de vibrations, de thermographie infrarouge, d'analyse d'huile ou d'autres technologies de maintenance prédictive.

-Mise en place d'un système de gestion documentaire pour les procédures et les gammes de maintenance.

❖ **Phase 3 :** Mise en Œuvre et Formation (Durée estimée : 6-12 mois)

▪ **Activité 3.1 :** Déploiement progressif des tâches de maintenance :

-Démarrage de la mise en œuvre sur un ou deux équipements pilotes avant un déploiement à plus grande échelle.

-Suivi rigoureux des premières interventions et ajustements des procédures si nécessaire.

-Intégration progressive des nouvelles tâches de maintenance dans le planning global.

▪ **Activité 3.2 :** Formation du personnel (voir point 3 détaillé ci-dessous).

▪ **Activité 3.3 :** Mise en place du système de collecte et d'enregistrement des données :

-Formation du personnel à l'utilisation de la GMAO pour l'enregistrement précis des données (temps d'intervention, pièces remplacées, causes de défaillance, etc.).

-Mise en place de procédures pour la collecte des données issues des technologies de surveillance conditionnelle.

-Assurance de la qualité et de la fiabilité des données collectées.

❖ **Phase 4 : Suivi, Évaluation et Amélioration Continue (Phase continue)**

- **Activité 4.1 :** Collecte et analyse des indicateurs de performance (voir point 5 détaillé ci-dessous).

- **Activité 4.2 :** Réalisation d'audits réguliers :

-Organisation d'audits internes pour vérifier la conformité aux procédures MBF/RCM et identifier les points faibles.

-Envisager des audits externes pour obtenir une perspective indépendante et des recommandations d'amélioration. Cet audit pourrait être fait dans le cadre du système de management de la qualité selon le référentiel ISO9001.

- **Activité 4.3 :** Identification et mise en œuvre des actions d'amélioration :

-Analyse des causes profondes des problèmes récurrents.

-Mise en place d'actions correctives et préventives.

-Révision et mise à jour des plans de maintenance en fonction des retours d'expérience et des nouvelles informations.

- **Activité 4.4 :** Partage des succès et des leçons apprises :

-Communication régulière des résultats positifs et des améliorations obtenues.

-Organisation de réunions de partage d'expérience entre les équipes.

-Documentation des meilleures pratiques et des leçons apprises pour capitaliser sur l'expérience acquise.

V.2.1. Définition détaillée des rôles et des responsabilités

Pour chaque rôle identifié, on doit préciser les responsabilités clés et les interactions avec les autres acteurs :

- **Responsable Maintenance :**
 - a. **Responsabilités :** Définition de la politique de maintenance MBF/RCM, allocation du budget, gestion de la performance de l'équipe, communication avec la direction, supervision de la mise en œuvre, suivi des indicateurs clés.
 - b. **Interactions :** Il rapporte à la direction, collabore étroitement avec les responsables de production, qualité, sécurité et achats, supervise les techniciens et les prestataires externes.

- **Techniciens de Maintenance (par spécialité) :**
 - a. **Responsabilités :** Exécution des tâches de maintenance (préventive, corrective, prédictive), diagnostic des pannes, participation à l'analyse des défaillances, proposition d'améliorations, utilisation des outils et technologies, enregistrement des données.
 - b. **Interactions :** Travaille en étroite collaboration avec les opérateurs, rapporte au superviseur de maintenance, interagit avec les fournisseurs de pièces de rechange et les experts techniques.

- **Opérateurs de Production :**
 - a. **Responsabilités :** Surveillance quotidienne des équipements, réalisation de la maintenance de premier niveau, signalement des anomalies, respect des procédures, participation aux interventions de maintenance, fourniture d'informations sur le comportement des équipements.
 - b. **Interactions :** Ils travaillent en collaboration directe avec les techniciens de maintenance, communiquent les problèmes au superviseur de production.

- **Ingénieur Fiabilité (si pertinent) :**

- a. **Responsabilités :** Analyse des données de fiabilité, identification des équipements critiques, animation des analyses RCM et AMDEC, développement des plans de maintenance, suivi des indicateurs de fiabilité, proposition d'améliorations de conception.
- b. **Interactions :** Il travaille en étroite collaboration avec les responsables et techniciens de maintenance, les ingénieurs de production et les équipes de conception.

- **Responsable Production :**

- a. **Responsabilités :** Intégration des plannings de maintenance dans le planning de production, communication des contraintes de production, participation à la définition des priorités de maintenance, suivi de l'impact de la maintenance sur la production.
- b. **Interactions :** Il collabore étroitement avec le responsable maintenance.

- **Responsable Qualité et Sécurité :**

- a. **Responsabilités :** Intégration des aspects qualité et sécurité dans les procédures de maintenance, participation aux analyses de risques, suivi des indicateurs de sécurité liés à la maintenance.
- b. **Interactions :** Il collabore avec le responsable maintenance et les équipes techniques.

- **Responsable Achats :**

- a. **Responsabilités :** Gestion des approvisionnements de pièces de rechange, sélection des fournisseurs, négociation des contrats, optimisation des stocks.
- b. **Interactions :** Il travaille en collaboration avec le responsable maintenance et les magasiniers.

V.2.2 Plan de formation détaillé :

Le plan de formation doit préciser le contenu, les objectifs, les méthodes pédagogiques et les responsables pour chaque type de formation :

➤ **Sensibilisation à la MBF/RCM (Public cible : Ensemble du personnel)**

-Objectifs : Comprendre les principes de base de la MBF/RCM, connaître les objectifs du projet, comprendre le rôle de chacun dans la démarche, être informé des prochaines étapes.

-Contenu : Introduction à la maintenance (évolutions, enjeux), présentation de la MBF et de la RCM (concepts clés, avantages), présentation du projet de mise en place à la TSS, questions/réponses.

-Méthodes pédagogiques : Présentations, discussions, supports visuels (vidéos, infographies).

-Responsables : Chef de projet MBF/RCM, responsable communication ou un formateur externe.

➤ **Formation de Base à la MBF/RCM (Public cible : Techniciens de maintenance, certains opérateurs)**

-Objectifs : Maîtriser les concepts fondamentaux de la MBF, comprendre la logique RCM, connaître les différentes techniques de maintenance (préventive, prédictive, corrective), savoir utiliser le GMAO pour les tâches de base.

-Contenu : Principes de la fiabilité, analyse des défaillances (modes, causes, effets), introduction à la RCM (fonctions, défaillances fonctionnelles, etc.), techniques de maintenance préventive (lubrification, inspections, etc.), introduction aux techniques de maintenance prédictive (vibrations, température, etc.), utilisation du GMAO (enregistrement des interventions, consultation des historiques).

-Méthodes pédagogiques : Cours théoriques, études de cas, exercices pratiques, démonstrations sur le GMAO.

-Responsables : Experts MBF/RCM (internes ou externes), formateurs GMAO.

➤ **Formation Spécifique (Public cible : Techniciens spécialisés, responsables de maintenance, ingénieur fiabilité) :**

- **Objectifs :** Maîtriser des techniques d'analyse avancées (AMDEC, arbre des causes), savoir planifier et ordonnancer la maintenance, interpréter les données de maintenance et les indicateurs de performance, gérer les stocks de pièces de rechange, mettre en œuvre des démarches d'amélioration continue.
- **Contenu :** Méthodologie AMDEC détaillée, planification et ordonnancement de la maintenance, analyse des données de fiabilité (MTBF, MTTF), gestion des stocks de maintenance, techniques de résolution de problèmes (5 Pourquoi, Ishikawa), introduction aux normes de maintenance (ISO 55000).
- **Méthodes pédagogiques :** Cours théoriques approfondis, ateliers pratiques, études de cas complexes, simulations, partage d'expérience.
- **Responsables :** Experts MBF/RCM (internes ou externes), consultants spécialisés.

➤ **Formation Continue et Accompagnement :**

- **Objectifs :** Mise en place de tutorat et d'accompagnement pour les nouveaux arrivants ou pour l'apprentissage de nouvelles techniques.
- **Contenu :** Organisation de sessions de recyclage et de mise à niveau des connaissances.
- **Méthodes pédagogiques :** Encouragement à la formation autodidacte (documentation, e-learning).

V.2.3 Plan de communication détaillé :

Le plan de communication au niveau de la TSS doit identifier les messages clés, les canaux de communication, la fréquence et les responsables :

➤ Messages Clés :

- Les avantages de la MBF/RCM pour l'entreprise (amélioration de la performance, réduction des coûts, sécurité accrue).
- L'importance de la contribution de chaque employé au succès de la démarche.
- Les étapes clés du projet et le calendrier prévisionnel.
- Les succès obtenus et les améliorations réalisées.

➤ Canaux de Communication :

- Communication Descendante** : Réunions d'information générales, notes de service, e-mails, intranet, affichage, journal d'entreprise.
- Communication Ascendante** : Boîte à suggestions, réunions d'équipe, entretiens individuels, enquêtes de satisfaction.
- Communication Horizontale** : Réunions inter-services, groupes de travail.

➤ Fréquence :

- Initiale** : Annonce officielle, réunions de lancement.
- Régulière** : Mises à jour mensuelles sur l'avancement, communications ponctuelles sur des événements spécifiques (formations, déploiement d'une nouvelle phase).
- Ponctuelle** : Communication des résultats clés, célébration des succès.

➤ Responsables de la Communication :

- Chef de projet MBF/RCM (contenu technique).
- Responsable communication (stratégie et mise en œuvre).
- Relais d'information dans chaque département.

V.3.1. Système de suivi et d'évaluation détaillé :

Le système de suivi doit préciser comment les données seront collectées, analysées et présentées :

V.3.1.1. Indicateurs de Performance Clés :

Quelques indicateurs sont proposés :

Disponibilité :

-Taux de disponibilité =

$$\frac{\text{Temps total de fonctionnement} - \text{Temps total d'arrêt non planifié}}{\text{Temps total de fonctionnement}} * 100$$

-Temps moyen entre les pannes (MTBF) = $\frac{\text{Temps total de fonctionnement}}{\text{Nombre total de pannes}}$

Fiabilité :

-Taux de défaillance = $\frac{\text{Nombre total de pannes}}{\text{Temps total de fonctionnement}}$

-Temps moyen jusqu'à la défaillance (MTTF) =

$$\frac{\text{Temps total de fonctionnement}}{\text{Nombre total de défaillances (pour les équipements non réparables)}}$$

Coûts :

-Coût total de maintenance par unité produite.

-Ratio maintenance préventive / maintenance corrective.

-Coût des pièces de rechange par équipement.

Temps d'arrêt :

-Durée moyenne des arrêts non planifiés.

-Nombre d'arrêts non planifiés par période.

Respect du planning :

-Pourcentage de tâches de maintenance préventive réalisées à temps.

Sécurité :

- Nombre d'accidents liés à la maintenance.
- Nombre d'incidents évités grâce à la maintenance prédictive.

V.3.1.2. Collecte des Données :

- Utilisation du GMAO pour enregistrer les interventions, les temps d'arrêt, les pièces remplacées, les causes de défaillance.
- Collecte des données issues des capteurs de surveillance conditionnelle.
- Rapports d'inspection des opérateurs.
- Suivi des coûts de maintenance via le système comptable.

V.3.1.3. Analyse des Données :

- Analyse des tendances des indicateurs dans le temps.
- Identification des équipements et des modes de défaillance les plus critiques.
- Analyse des causes racines des pannes récurrentes.
- Calcul des coûts de maintenance par équipement et par type de maintenance.

V.3.1.4. Tableaux de Bord :

- Création de tableaux de bord visuels et synthétiques présentant les KPIs clés.
- Personnalisation des tableaux de bord pour les différents niveaux de responsabilité.
- Mise à jour régulière des tableaux de bord.

V.3.1.5. Rapports et Revues :

- Production de rapports périodiques sur la performance de la maintenance.
- Organisation de revues régulières avec la direction et les équipes pour discuter des résultats et des actions à entreprendre.

Conclusion

Ce mémoire a permis de mettre en lumière l'importance stratégique de la maintenance dans le bon fonctionnement et la performance globale de l'unité TSS de SIDER El Hadjar. À travers une approche méthodique, basée sur les principes de la **Maintenance Basée sur la Fiabilité (MBF/RCM)**, nous avons démontré qu'il est possible de passer d'une logique réactive à une gestion proactive des équipements.

L'étude de l'accouplement **HOLSET**, composant critique du laminoir à pas de pèlerin, a servi de cas pratique pour appliquer les outils d'analyse comme l'**AMDEC**, l'analyse de criticité, le **calcul des indicateurs de fiabilité** (MTBF, taux de panne) et les méthodes d'amélioration continue. Ces outils ont permis d'identifier les causes majeures de dysfonctionnement, d'en évaluer les effets, et de prioriser les actions de maintenance à mettre en œuvre.

En s'appuyant sur les résultats obtenus, une **feuille de route organisationnelle claire et réaliste** a été proposée, comprenant la structuration des rôles, un plan de formation du personnel, des outils de suivi et de pilotage, ainsi que des indicateurs de performance adaptés aux objectifs de fiabilité, de sécurité et de rentabilité.

Ainsi, ce travail ouvre la voie à une **transformation durable** de la maintenance dans l'entreprise, fondée sur l'anticipation, la rigueur méthodologique et l'implication des acteurs. Il constitue une première étape vers l'intégration de la **maintenance 4.0**, où les technologies intelligentes et la gestion des données permettront de pousser encore plus loin les performances industrielles.

Sources bibliographiques :

1. Documentation de l'entreprise TSS : « historique de l'entreprise, dossier machine, dossier technique, historiques des pannes service maintenance, bureau des méthodes ... ».
2. Nowlan, F.S. & Heap, H.F. (1978). Reliability-Centered Maintenance. Department of Defense, USA.
3. Mobley, R. K. (2002). An Introduction to Predictive Maintenance. 2nd Edition, Elsevier.
4. Blanchard, B.S., Verma, D., & Peterson, E.L. (2011). Maintainability: A Key to Effective Serviceability and Maintenance Management. Wiley.
5. IEC 60300-3-11 : Application guide – Reliability centred maintenance. International Electrotechnical Commission
6. Smith, A.M., & Hinchcliffe, G.R. (2004). RCM – Gateway to World Class Maintenance. Elsevier.
7. AFNOR NF X 60-010 (2013). Management de la maintenance – Terminologie.
8. Pintelon, L., & Parodi-Herz, A. (2008). Maintenance: Concept and Definitions. In Springer Handbook of Maintenance Management. Springer.
9. DF – Rapport Développement Durable. Données sur la maintenance et la fiabilité dans les centrales.
10. SNCF Réseau – Maintenance des infrastructures ferroviaires. Publications techniques et bulletins internes.
11. Sonatrach – Rapport d'activités. Cas de gestion de maintenance dans le secteur pétrolier algérien.
12. Toyota Production System (TPS). Intégration de la TPM et du RCM dans les lignes de production.
13. Ishikawa, Kaoru, La gestion de la qualité. s.l. L'usine nouvelle, 2007.
14. Chauvel, A.M, Méthodes et outils pour résoudre un problème. 1996.
15. Document de l'entreprise, « Manuel de maintenance", NFTOGAZ, HMD, (2001).
16. Moubray, J. (1997). Reliability-Centered Maintenance. Industrial Press Inc.
17. Smith, R., & Hinchcliffe, G. (2004). RCM – Gateway to World Class Maintenance. Elsevier.
18. Chelbi, A., & Ait-Kadi, D. (2006). Maintenance industrielle – Stratégies, méthodes et organisations. Hermes Science Publications.
19. ISO 31000 :2018 – Management du risque – Lignes directrices.
20. Sidhom, H. (2019). Maintenance industrielle : Outils et méthodes pour l'optimisation. Dunod.