

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE

**DEPARTEMENT : GENIE
ELECTRIQUE**

N° :



DOMAINE : Science Technologie

FILIERE : GENIE ELECTRIQUE

**OPTION : Maintenance des équipements
Industriels**

**Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Professionnel**

Par :

Yehya BEZZAF

Ala HAMACHE

Intitulé

**Amélioration de la production d'un système
Électromécanique par l'application d'une
politique de maintenance efficace**

Soutenu devant le jury composé de :

- | | | |
|----------------------------------|-------------------|------------|
| - Dr. Defdaf Mabrouk | Université M'sila | Président |
| - Pr. Ghemari Zine | Université M'sila | Rapporteur |
| - Dr. Cherif Bilal Djamal Eddine | Université M'sila | Examineur |

Année universitaires: 2022 /2023

Dédicaces:

À nos proches, en particulier nos parents, notre famille et nos chers amis, chacun avec un nom,

C'est avec fierté et gratitude que nous vous dédions ce billet de fin d'études, car vous avez été le pilier sur lequel nous nous sommes appuyés et le soutien incomparable tout au long de notre cheminement vers l'obtention d'une maîtrise. Je ne peux pas décrire à quel point nous vous sommes reconnaissants et le grand rôle que vous avez joué en nous encourageant et en nous soutenant pendant cette période importante de notre vie.

Nous tenons également à exprimer nos profonds remerciements à notre honorable professeur. Zine GHEMARJ, qui a partagé avec nous les connaissances et l'expérience qu'il apporte et a contribué à la croissance et au développement de notre domaine d'études. Ses conseils et ses précieux conseils ont été la raison pour laquelle nous avons avancé et réalisé ce projet

Nous tenons également à remercier l'équipe du Collège de technologie, et plus particulièrement le département génie électrique.

Nous tenons également à remercier les membres estimés du jury de nous avoir gentiment accordé leur temps précieux pour commenter

Et discutez et jugez notre travail.

Nous remercions tous nos collègues spéciaux qui ont partagé ce voyage, ces défis et ces discussions passionnantes avec nous. Vous avez été des partenaires inspirants et nous avez soutenus à chaque étape et au cours des dernières années.

Enfin, je tiens à exprimer notre profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué de quelque manière que ce soit au succès de ce mémorandum. Vous nous avez tous été un soutien et une inspiration inestimables, et nous n'oublierons jamais votre contribution et votre collaboration dans la réalisation de cette réalisation remarquable.

Nous envisageons l'avenir avec optimisme et enthousiasme, et nous vous promettons que nous utiliserons les connaissances et les compétences que nous avons acquises pour servir la communauté et atteindre un succès durable. Cette note restera un rappel constant des défis que nous avons surmontés et des succès que nous avons obtenus grâce à votre soutien et à votre confiance en nous.

لأحبائنا، ولا سيما والدينا وعائلتنا وأصدقائنا الأعزاء، ولكل منهم اسم،

بكل فخر وامتنان نكرس لك وظيفة التخرج هذه، لأنك كنت الركيزة التي اعتمدنا عليها والدعم الذي لا يضاهى طوال رحلتنا نحو الحصول على درجة الماجستير. لا يمكنني وصف مدى امتناننا لك والدور الكبير الذي لعبته في تشجيعنا ودعمنا خلال هذا الوقت المهم في حياتنا

كما نود أن نعرب عن عميق شكرنا لأستاذنا الكريم. زين غماري، الذي شاركنا المعرفة والخبرة التي يجلبها وساهم في نمو وتطوير مجال دراستنا. كان توجيهه وإرشاداته التي لا تقدر بثمن سبب تقدمنا وإكمال هذا المشروع.

كما نود أن نشكر فريق الكلية التقنية وبشكل خاص قسم الهندسة الكهربائية

. كما نود أن نشكر أعضاء لجنة التحكيم الموقرين على التكرم بإعطائنا وقتهم الثمين للتعليق

.وتناقش وتحكم على عملنا

نشكر جميع زملائنا المميزين الذين شاركوا معنا هذه الرحلة وهذه التحديات وهذه المناقشات المثيرة. لقد كنتم شركاء ملهمين وقد دعمتمونا في كل خطوة على الطريق وعلى مدى السنوات القليلة الماضية

أخيرًا، أود أن أعبر عن عميق امتناننا لجميع الذين ساهموا بأي شكل من الأشكال في نجاح هذه المذكرة. لقد كنتم جميعًا دعمًا وإلهامًا لا يقدر بثمن لنا، ولن ننسى أبدًا مساهمتك وتعاونك في تحقيق هذا الإنجاز الرائع

نتطلع إلى المستقبل بتفاؤل وإثارة، ونعدك بأننا سنستخدم المعرفة والمهارات التي اكتسبناها لخدمة المجتمع وتحقيق النجاح الدائم. ستبقى هذه المذكرة تذكيرًا دائمًا بالتحديات التي تغلبنا عليها والنجاحات التي حققناها بفضل دعمكم وثقتكم بنا

Sommaire

Contents

Liste des abréviations	i
Liste des figures	ii
Liste des tableaux	v
Introduction générale	1
Chapitre I. Généralité sur la maintenance	1
I.1. Introduction :	2
I.2. Définition de La maintenance :	2
I.3. Rôle de la maintenance :	2
I.3.1. Prévisions à long terme :	2
I.3.2. Prévision à moyen terme :	2
I.3.3. Les prévisions à court terme :	2
I.4. Les types de maintenance :	3
I.4.1. Maintenance préventive :	3
I.4.2. La maintenance corrective :	6
I.4.3. La maintenance prédictive ou prévisionnelle :	7
I.5. But de la maintenance :	7
I.6. Les objectifs de maintenance :	8
I.7. Intérêt de maintenance :	8
I.8. Evolution de la maintenance :	9
I.9. Importance de la maintenance :	9
I.10. La mise en place de la maintenance :	10
I.11. Environnement de la maintenance :	10

I.12.	Stratégie de maintenance : (-FD X 60-000 Mai 2002)	10
I.13.	Les niveaux de maintenance :	11
I.13.1.	1 ^{er} niveau de maintenance :	11
I.13.2.	2 ^{ème} niveau de maintenance :	12
I.13.3.	3 ^{ème} niveau de maintenance :	12
I.13.4.	4 ^{ème} niveau de maintenance :	12
I.13.5.	5 ^{ème} niveau de maintenance :	12
I.14.	Conclusion :	13
Chapitre II.	Politique de la maintenance industrielle et lois calcul de FDM	2
II.1.	Introduction :	14
II.2.	Politique de la maintenance :	14
II.3.	La Maintenance comme politique:	14
II.4.	Les méthodes d'analyse de défaillance :	15
II.4.1.	Méthode ABC (Diagramme de Pareto) :	15
II.4.2.	Le diagramme d'Ishikawa :	17
II.4.3.	La méthode AMDEC :	19
II.4.4.	La méthode GANTT :	22
II.5.	Lois calcul de FDM :	25
II.5.1.	Etude de fiabilité :	25
II.6.	Conclusion:	34
Chapitre III.	Présentation de la société ALGAL PLUS	26
III.1.	Introduction :	35
III.2.	Présentation de la société ALGAL PLUS :	35
III.3.	Les activités de cette société :	36
III.4.	Cartographies des processus ALGAL PLUS.....	36

III.5. Cartographies des processus ALGAL PLUS :	37
III.6. Les étapes de fabrication :	38
III.6.1. Unité de recyclage et valorisation :	38
III.6.2. Le four de fusion :	38
III.6.3. Le four d'homogénéisation :	40
III.6.4. La chambre de refroidissement :	40
III.6.5. Sciage et stockage des billettes :	41
III.6.6. Unité d'extrusion :	41
III.6.7. L'unité de l'anodisation et laquage :	42
III.7. Experience pratique :	43
.III.8 Conclusion:	44
.Chapitre IV Application de l'analyse FMD sur la presse 1600T	52
IV.1. Introduction :	45
IV.2. Les pannes de la presse 1600T :	45
IV.3. Etude de FMD (Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité)	48
IV.3.1. Fiabilité	48
IV.3.2. Calcule la maintenabilité :	66
IV.3.3. Calcul de la disponibilité :	70
IV.4. La courbe ABC et l'histogramme Pareto	75
IV.5. Etude AMDEC:	80
IV.6. Conclusion :	90
Conclusion générale.....	45
Conclusion Générale.....	91
Références bibliographiques.....	92

Liste des abréviations

MBF	Maintenance basé sur la fiabilité
TBF	Temps de bon fonctionnement entre deux défaillances
MTBF	La durée moyenne entre deux défaillances consécutives
MTTR	Le temps moyen mis pour réparer le système
FMD	Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité
$\lambda(t)$	Taux de défaillance
$\mu(t)$	Taux de réparation
$f(t)$	Densité de probabilité
$F(t)$	La fonction de répartition
$R(t)$	La fonction de fiabilité
$M(t)$	Fonction maintenabilité
$D(t)$	Fonction de disponibilité
Di	Disponibilité intrinsèque
Dn	La différence de test de Kolmogorov Smirnov
Γ	Paramètre de position
β	Paramètre de forme
γ	Paramètre de position
η	Paramètre d'échelle
a et b	Nombre réel

Liste des figures

Figure 1.Les types de maintenance.....	3
Figure 2.Maintenance préventive.	4
Figure 3.La maintenance préventive systématique.....	4
Figure 4.la maintenance conditionnelle.....	5
Figure 5.Maintenance palliative ou dépannage.	6
Figure 6.Maintenance curative ou réparation.	7
Figure 7.Schématisation des objectifs de la maintenance.	8
Figure 8.Evolution de la maintenance depuis 1940.....	9
Figure 9.L'assurance produit.....	10
Figure 10.Diagramme de la méthode ABC.	15
Figure 11.Diagramme d'Ishikawa 5M.....	18
Figure 12.Méthode AMDEC.[24]	19
Figure 13.Exemple diagramme de GANTT.[29].....	24
Figure 14.Optimisation par l'utilisation du diagramme de GANTT.[29]	24
Figure 15. Courbe de fiabilité et fonction de répartition.	27
Figure 16:Indicateurs de temps de la sureté de fonctionnement.....	29
Figure 17.Courbe en baignoire.	30
Figure 18:Les courbes de $f(t)$	31
Figure 19.Cartographie de la chaine de valeurs ALGAL PLUS.	35
Figure 20.Cartographie des processus ALGAL PLUS.....	37
Figure 21.Représentation la situation du service de maintenance dans l'entreprise.	37
Figure 22.Four de fusion.....	39
Figure 23.Moules des billettes.....	39

Figure 24.Four d'homogénéisation.....	40
Figure 25.Chambre de refroidissement.....	40
Figure 26.Scie à billettes.....	41
Figure 27.Principe d'extrusion.....	42
Figure 28.Principe de l'anodisation.....	42
Figure 29.Principe de laquage.....	43
Figure 30.Détermination des parametres de la loi de Wiebull par l'utilisation du logiciel MINITAB. (presse)	49
Figure 31.Détermination des parametres de la loi de Wiebull par l'utilisation du logiciel MINITAB (four a billettes).	49
Figure 32.Détermination des parametres de la loi de Wiebull par l'utilisation du logiciel MINITAB (table de refroidissement).....	50
Figure 33. La fonction de répartition en fonction de TBF de la presse.	60
Figure 34.. La fonction de fiabilité en fonction de TBF de la presse.	60
Figure 35. La fonction de la densité de probabilité en fonction de TBF de la presse	61
Figure 36.. La fonction du taux de défaillance en fonction de TBF de la presse.	61
Figure 37La fonction de répartition en fonction de TBF du Four a billettes.....	62
Figure 38.La fonction de fiabilité en fonction de TBF du four a billettes.....	62
Figure 39. La fonction de la densité de probabilité en fonction de TBF du four a billettes.....	63
Figure 40. La fonction du taux de défaillance en fonction de TBF du Four a billettes.....	63
Figure 41.La fonction de répartition en fonction de TBF de la table de refroidissement.....	64
Figure 42.La fonction de fiabilité en fonction de TBF de la table de refroidissement.....	64
Figure 43. La fonction de la densité de probabilité en fonction de TBF de la table de refroidissement	65
Figure 44.. La fonction du taux de défaillance en fonction de TBF de la table de refroidissement	65

Figure 45.La maintenabilité en fonction du temps de réparation pour la presse.....	68
Figure 46.La maintenabilité en fonction du temps de réparation pour la table de refroidissement.	69
Figure 47.La maintenabilité en fonction du temps de réparation pour le four à billettes.....	69
Figure 48.La disponibilité instantanée en fonction du temps de réparation de la presse.	72
Figure 49.. La disponibilité instantanée en fonction du temps de réparation de la table de refroidissement	73
Figure 50.. La disponibilité instantanée en fonction du temps de réparation du four à billettes	73
Figure 51.La courbe ABC de la presse.....	76
Figure 52.L'histogramme de Pareto de la presse.....	77
Figure 53.la courbe (ABC) de refroidissement.....	77
Figure 54.L'histogramme de Pareto de la table de refroidissement.	78
Figure 55.La courbe ABC du four à billettes.	79
Figure 56.L'histogramme de Pareto du four à billettes.	80

Liste des tableaux

Tableau 1.Les ressources nécessaires pour chaque niveau de maintenance. [15].....	13
Tableau 2.Caractéristique des classes A, B et C. [20].....	16
tableau 3.la loi de weibull et la loi exponentielle.	31
Tableau 4.Historique des pannes de la presse.	46
Tableau 5.Historique des pannes du four a billettes.....	46
Tableau 6.Historique des pannes de la table de refroidissement.	47
Tableau 7.Test de Kolmogorov Smirnov de la presse.....	51
Tableau 8.Test de Kolmogorov Smirnov du four à billettes.	52
Tableau 9.Test de Kolmogorov Smirnov de la table de refroidissement.	53
Tableau 10.Calcul de $F(t)$, $R(t)$, $f(t)$, $\lambda(t)$ de la presse.	54
Tableau 11.Calcul de $F(t)$, $R(t)$, $f(t)$, $\lambda(t)$ du four à billettes.....	55
Tableau 12.Calcul de $F(t)$, $R(t)$, $f(t)$, $\lambda(t)$ de la table de refroidissement).	55
Tableau 13.Calculs de la maintenabilité.....	68
Tableau 14.Calcul de disponibilité instantanée.	72
Tableau 15.Calculs des pourcentages du cumul des temps d'arrêt et de pannes pour la presse	75
Tableau 16. Calculs des pourcentages du cumul des temps d'arrêt et de pannes pour la table de refroidissement.....	75
Tableau 17.Calculs des pourcentages du cumul des temps d'arrêt et de pannes pour le four à billettes	76
Tableau 18. AMDEC de la presse, du four à billettes et la table de refroidissement.	82
Tableau 19.Classification des éléments de la presse, du four à billettes et de la table de refroidissement selon leurs criticités.....	84

Introduction

Générale

Introduction générale

L'entreprise industrielle interagit avec son environnement : marché de vente de produits manufacturés, fournisseurs, marché du travail, concurrence, législation en vigueur, situation géographique, etc. A mesure que cet environnement se développe, les entreprises sont condamnées à s'adapter ou à disparaître. En particulier, l'entreprise est tenue de s'adapter aux développements technologiques et d'acquérir de nouvelles technologies afin de maintenir sa compétitivité sur le marché.

L'acquisition de ces technologies nécessite de nouveaux équipements et des investissements importants qui doivent être consommés. Ainsi, toute interruption de production due à des pannes imprévues d'équipements et de machines est très coûteuse pour l'entreprise : les clients ne sont pas satisfaits des délais prévus et risquent donc de perdre le marché, la qualité des produits diminue, etc.

Par conséquent, la maintenance industrielle des entreprises doit avoir une bonne gestion de la maintenance des équipements et le respect des aspects techniques et économiques, et différentes façons de maximiser le développement et l'optimisation avec une production et une amélioration accrue, une meilleure prestation des services prévus et une grande fiabilité des entreprises industrielles.

Dans notre travail, nous étudierons et analyserons les améliorations dans la production de systèmes électromécaniques en appliquant des politiques industrielles efficace

Le chapitre 1 présentera les concepts de base de la maintenance, y compris les définitions et les différentes classifications des types de maintenance.

Le deuxième chapitre présentera la stratégie de maintenance, les règles de calcul de la fiabilité, de la disponibilité et de la maintenance des systèmes.

Le troisième chapitre sera consacré à la présentation de l'entreprise ALGAL+ située à M'sila, où nous avons effectué notre formation pratique.

Le chapitre quatre sera notre principale contribution à cette thèse, où nous appliquerons les différentes lois de maintenance au système électromécanique donné.

Enfin, la conclusion résumera l'ensemble de nos travaux dans cette thèse et mettra en évidence les résultats auxquels nous sommes parvenus

Chapitre I. Généralité sur la maintenance

I.1. Introduction :

La maintenance des équipements de production est un enjeu clé de la productivité des usines et la qualité du produit. Parce qu'il représente le défi industriel d'appliquer les méthodes de maintenance et de les entretenir et de s'adapter aux caractéristiques des équipements anciens et nouveaux.

I.2. Définition de La maintenance :

D'après la norme AFNOR X60-010, la maintenance est définie comme (l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé) [1].

C'est-à-dire, l'entretien travaille à prendre en compte tous les outils et processus disponibles pour les couches et les machines et d'accroître la fiabilité.

I.3. Rôle de la maintenance :

Le service de maintenance doit mettre en œuvre la stratégie de maintenance spécifique à travers la gestion de l'entreprise, cette politique doit permettre de réaliser productivité maximale des systèmes de production. Cependant, tous les équipements n'ont pas le même degré d'importance du point de vue de la maintenance, Le service doit donc faire partie de la politique publique, en identifiant les stratégies les mieux adaptées aux différentes situations. La maintenance sera alors nécessaire pour établir les attentes cibles : [2]

I.3.1. Prévisions à long terme :

Elles concernent les investissements lourds ou les travaux durables. Ce sont des prévisions qui sont le plus souvent dictées par la politique globale de l'entreprise.

I.3.2. Prévision à moyen terme :

L'entretien doit être effectué le plus discrètement possible dans le calendrier de charge de production. Il est donc nécessaire d'anticiper autant que possible leurs interventions en fonction des calendriers de production. La production devrait également tenir compte des exigences de surveillance de l'équipement.

I.3.3. Les prévisions à court terme :

Elles peuvent être de l'ordre de la semaine, de la journée, voire de quelques heures. Même dans ce cas, avec le souci de perturber le moins possible la production, les interventions devront elles aussi

avoir subi un minimum de préparation. Nous nous intéressons dans la démarche de cette thèse de la maintenance en moyens et long terme.

I.4. Les types de maintenance :

Il existe deux principales familles de maintenance que l'on peut repérer sur la figure 1 : la maintenance corrective et la maintenance préventive. La maintenance corrective est celle que le système subit lorsque la panne est déjà présente et qu'il faut réparer. La maintenance préventive est celle qui permet d'anticiper et de prévenir les défaillances.[16]

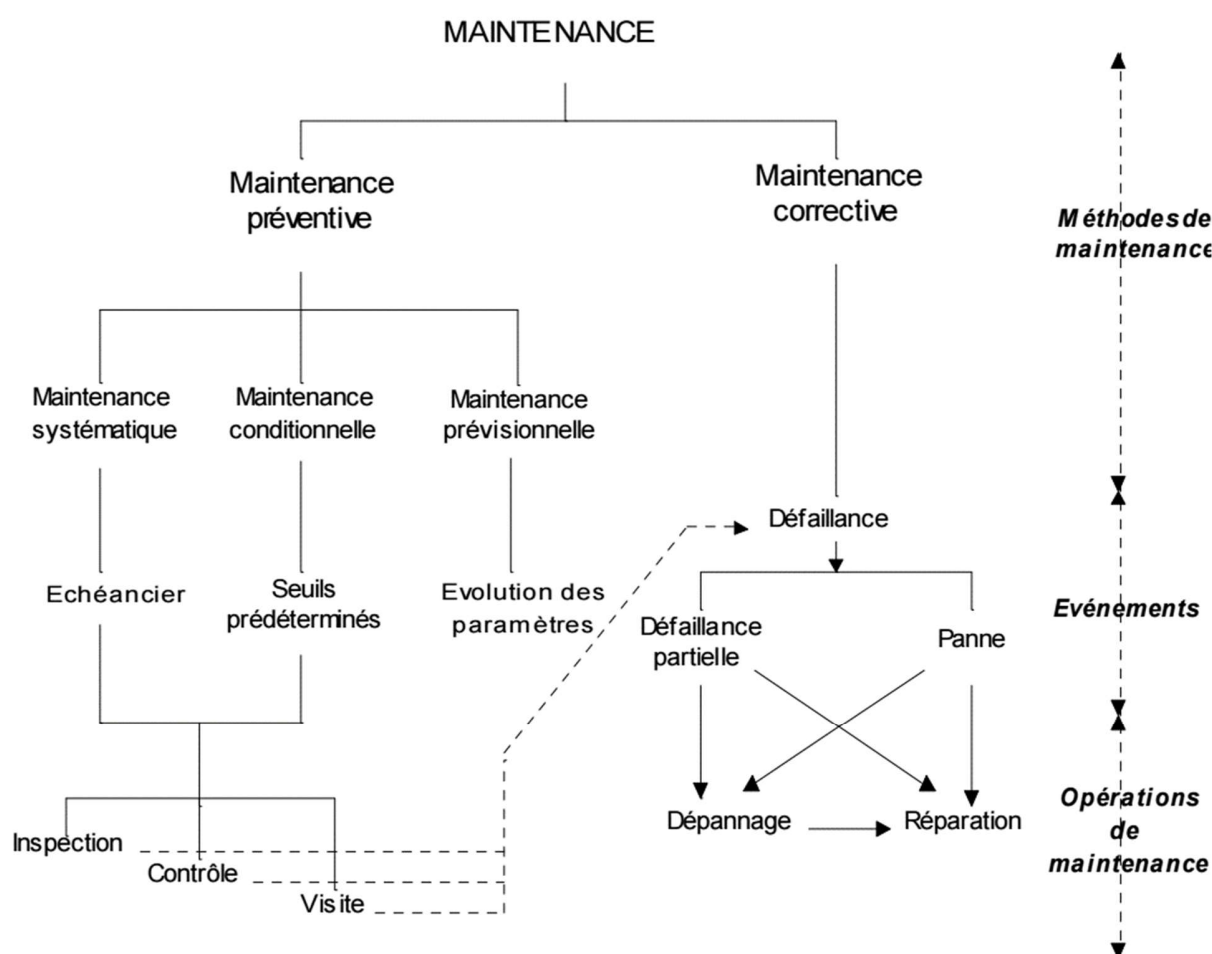


Figure 1. Les types de maintenance.

I.4.1. Maintenance préventive :

Selon la norme AFNOR (X-60-010), la maintenance préventive peut être définie comme une maintenance visant à réduire la probabilité de défaillance d'un bien ou de dégradation du service rendu. Il existe deux méthodes pour cet entretien :

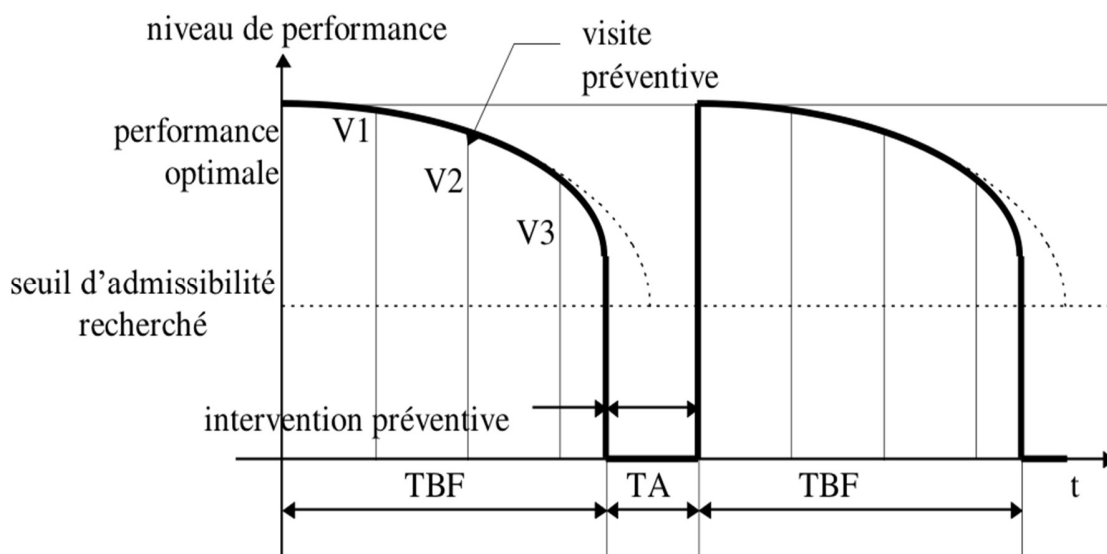


Figure 2.Maintenance préventive.

I.4.1.1. La maintenance préventive systématique :

Selon la norme AFNOR X-60-010, la maintenance systématique est définie comme une maintenance préventive effectuée selon un plan établi, en fonction du temps ou du nombre d'unités utilisées.

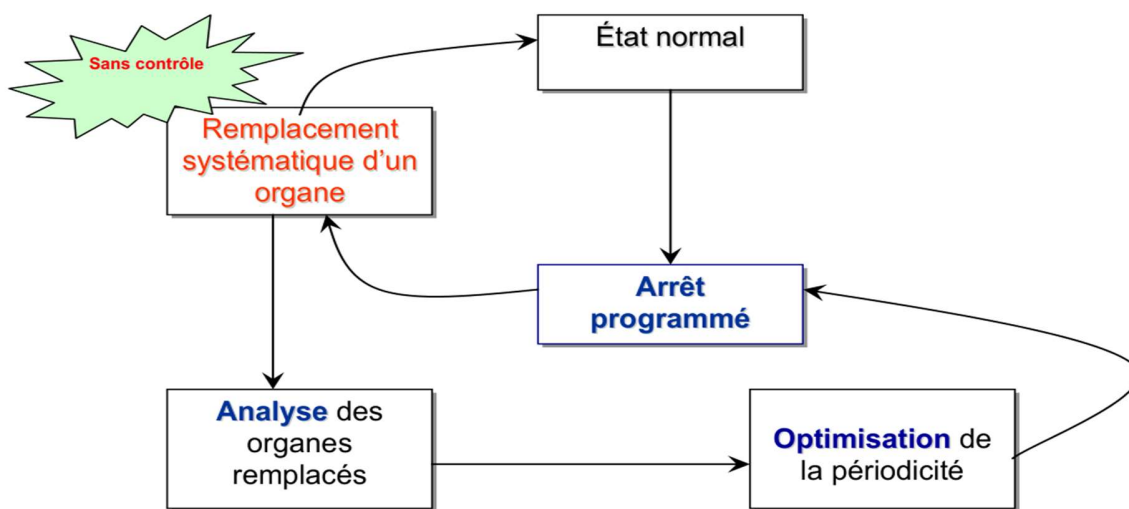


Figure 3.La maintenance préventive systématique.

I.4.1.2. La maintenance préventive conditionnelle :

Selon la norme AFNOR X-60-010, la maintenance conditionnelle est définie comme une maintenance préventive faisant l'objet d'une classe d'événements programmés révélant l'état du bien.

La maintenance préventive conditionnelle se caractérise par la mise en évidence des points faibles des équipements :[4]

- Mesure des vibrations sonores.
- Mesure de la température.
- Mesure la pression dans divers organes.
- Analyse vibratoire : généralement effectuée dans un atelier de réparation sur une base industrielle.
- Analyse d'huile.[5]

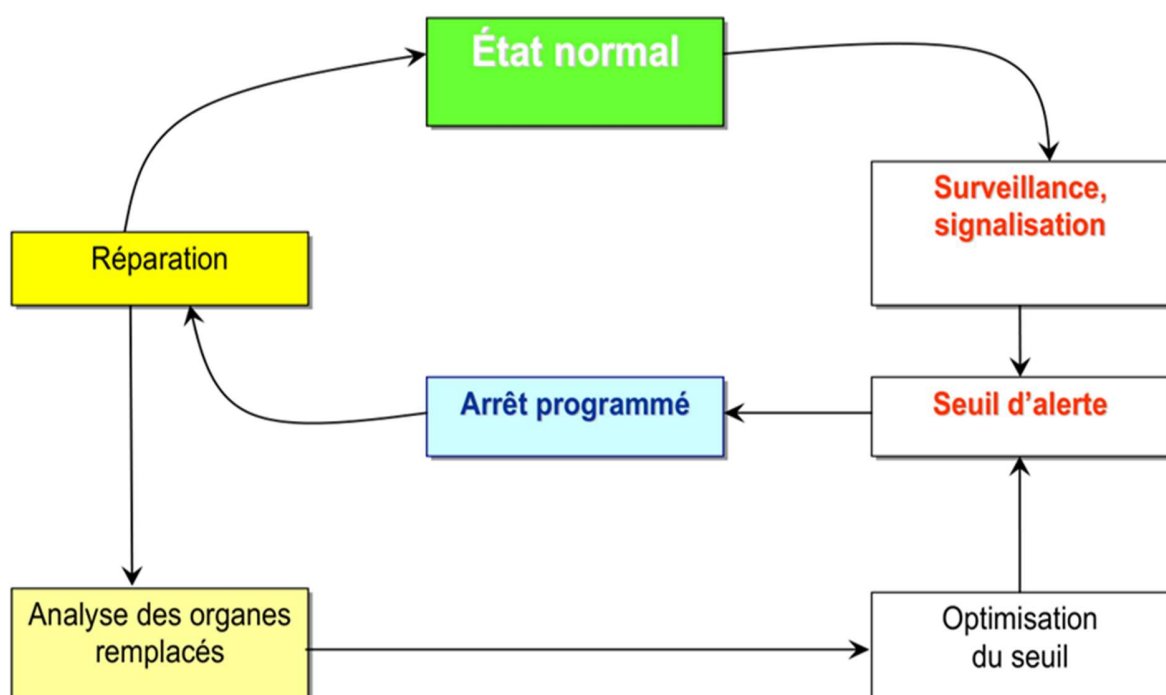


Figure 4.la maintenance conditionnelle.

I.4.1.3. Les opérations de maintenance préventive :

- **Les inspections** : Il s'agit d'activités visant à surveiller et à identifier les anomalies et à exécuter périodiquement l'équipement, y compris les modifications mineures qui ne nécessitent pas d'outils particuliers ou qui n'interrompent pas l'outil ou l'équipement de production.
- **Les visites** : Opération de surveillance effectuée selon un cycle défini dans le cadre de la maintenance préventive du système. Ces interventions correspondent à une liste prédéfinie d'actions pouvant conduire au démontage de composants et à la fixation d'équipements. L'accès peut entraîner des actions de maintenance correctives.

- **Contrôles** : Vérifications de conformité basées sur des données préétablies suivies de jugement.

Les contrôles peuvent :

- Inclure des activités d'information.
- Inclure les décisions : accepter, rejeter, ajourner.
- Actions de maintenance correctives dues à l'accès.

Des opérations de surveillance (inspection, accès, contrôle) sont nécessaires pour contrôler évolution de l'état physique de l'actif, de façon continue ou intermittente réservé ou non, calculé en fonction du temps ou du nombre d'unités utilisées.

- **Révision** : Vérifier toutes les actions et contrôler les interventions effectuées pour s'assurer résiste bien à toute défaillance majeure ou critique, que ce soit pour une période ou une période d'unités d'usage donné selon l'ampleur de cette opération, il est d'usage de distinguer les révisions partielles, révisions générales. Dans les deux cas, cette opération implique la dépose de différents sous-ensembles.[6]

I.4.2. La maintenance corrective :

La norme AFNOR NF X 60 010 définit la maintenance corrective comme maintenance après panne, où l'on distingue deux types d'intervention [3] :

I.4.2.1. Palliative (dépannage) :

Est basé sur des actions de dépannage, parce que la défaillance est partielle.

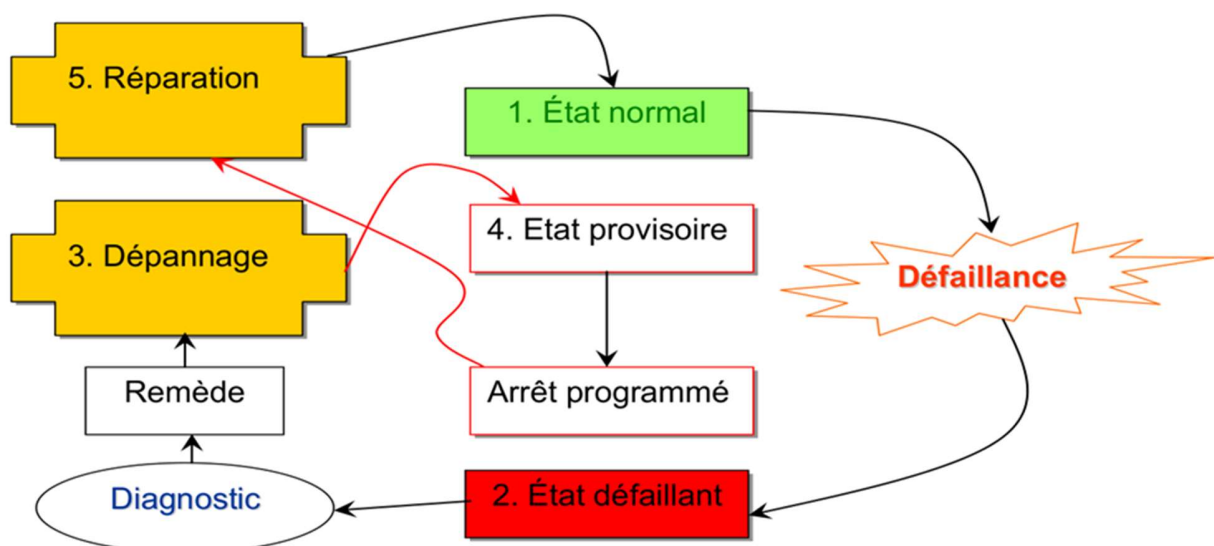


Figure 5.Maintenance palliative ou dépannage.

I.4.2.2. Curative (réparation) :

repose sur une opération de réparation parce que la défaillance est totale.

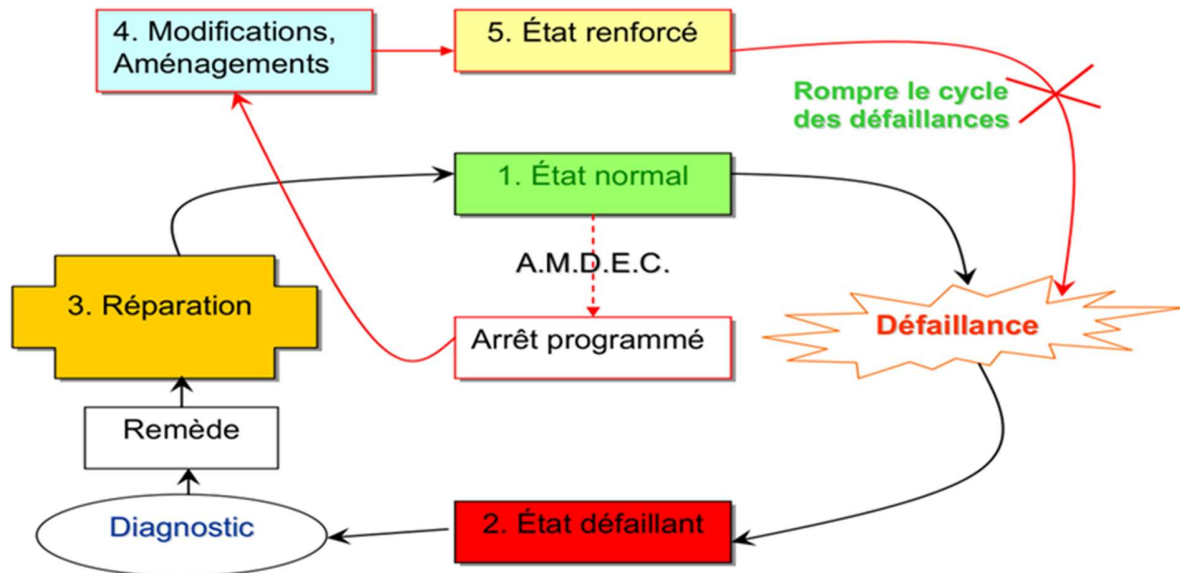


Figure 6. Maintenance curative ou réparation.

I.4.2.3. Les opérations de maintenance corrective :

- **Le dépannage** : Il s'agit d'une action de maintenance corrective ou d'une opération sur un équipement endommagé en pour le remettre dans son état de fonctionnement.
- **La réparation** : Intervention définitive et limitée de maintenance corrective après panne ou défaillance. L'application de la réparation peut être décidée soit immédiatement à la suite d'un incident ou d'une défaillance, soit après un dépannage, soit après une visite de maintenance préventive conditionnelle ou systématique.

I.4.3. La maintenance prédictive ou prévisionnelle :

Il s'agit d'une maintenance conditionnelle qui permet de redimensionner la prévision opérations de maintenance effectuées, en estimant la tendance d'évolution des défaillances possibles détectées sur l'appareil et quand elles se sont produites continuer à utiliser jusqu'à l'échec, ces estimations sont obtenues en analysant périodiquement l'état de chaque équipement obtenu par les méthodes de maintenance, état et modèles d'usure utilisés.[7]

I.5. But de la maintenance :

- Rétablit les qualités nécessaires à la perte de fonctionnement de l'appareil.

- Prendre les mesures nécessaires pour assurer le bon fonctionnement des actifs, réduisant ainsi échec et augmentation du MTBF, si ce bien subit une défaillance, on doit utiliser tous les moyens qu'il dispose.
- Pour le ramener le plus vite possible en état de fonctionnement et par la suit diminuer MTTR.

I.6. Les objectifs de maintenance :

Les objectifs de la maintenance, schématisés dans la figure 7, sont nombreux :

- Assurer la qualité et la quantité des produits fabriqués tout en respectant les délais.
- Opérations de maintenance optimisées (ex : fréquence de panne réduite).
- Promouvoir la création et le maintien de la sécurité au travail.
- Renforcer la compétitivité de l'entreprise (par exemple augmenter la productivité). [8]

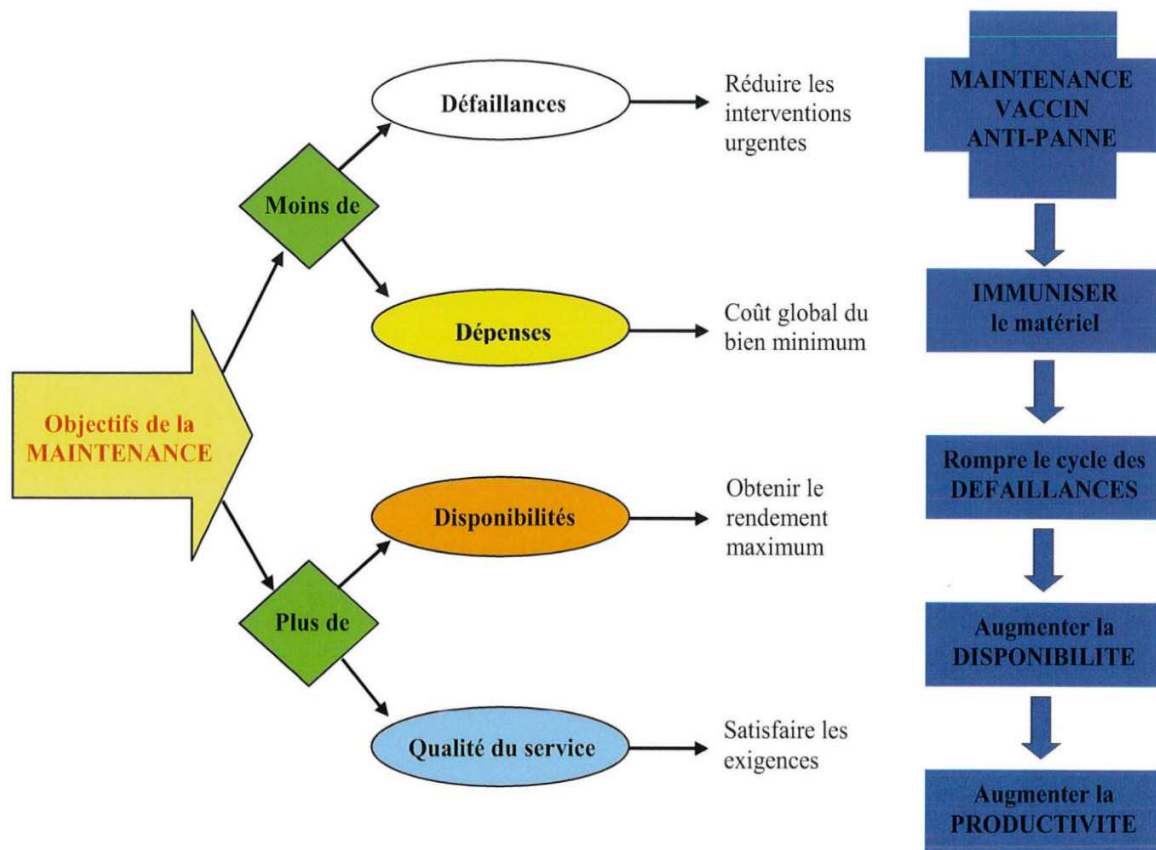


Figure 7. Schématisation des objectifs de la maintenance.

I.7. Intérêt de maintenance :

Les intérêts de la maintenance sont :

- Diminuer les travaux urgents.
- Faciliter la gestion de la maintenance.
- Favoriser la planification des travaux.
- Rendre possible la préparation, l'ordonnancement et la gestion des stocks.
- Eviter les périodes de dysfonctionnement avant panne, ainsi que les dégâts éventuels provoqués par une panne intempestive.
- Augmenter la sécurité. [9]

I.8. Evolution de la maintenance :

Dans un contexte de concurrence économique mondiale, la gestion de la maintenance est loin d'être stabilisée dans un environnement où les processus d'automatisation et de fabrication deviennent de plus en plus complexes. Depuis les années 1940, l'évolution de la maintenance peut être retracée sur trois générations (figure 8.). [10]

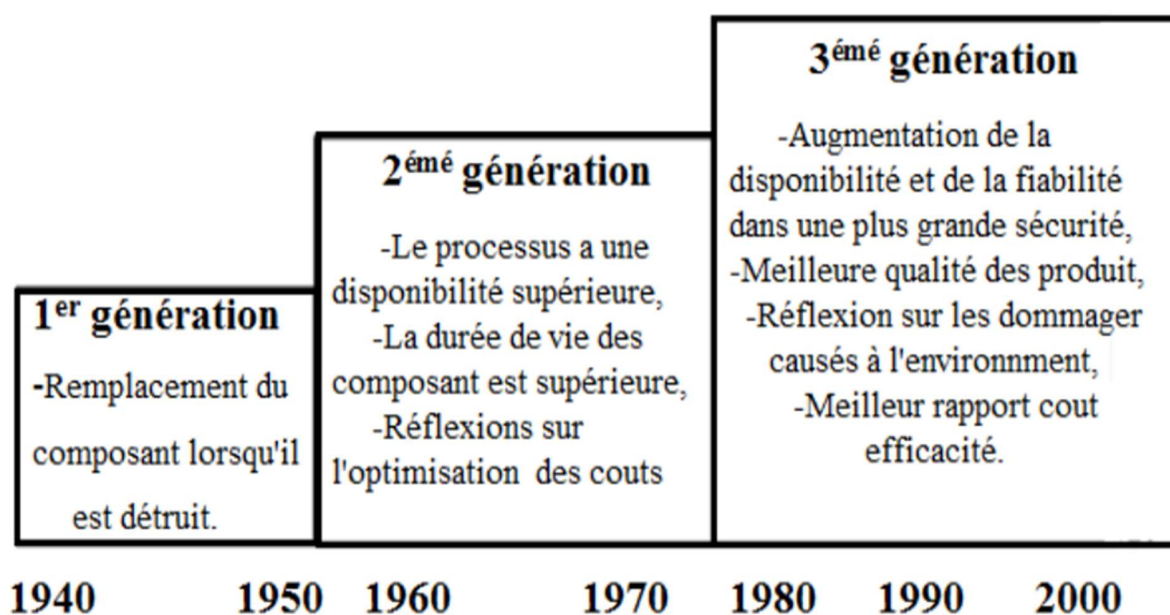


Figure 8. Evolution de la maintenance depuis 1940.

I.9. Importance de la maintenance :

La maintenance est importante pour l'industrie, et cela est évident lorsque les pannes entraînent des temps d'arrêt imprévus. Par conséquent, toute interruption pendant le fonctionnement entraîne :

- Augmentation du coût de productions.

- Diminution de la marge du profit.
- Rupture du stock.
- Retard des livraisons.
- Ajout des heures supplémentaires.
- Absence des sécurités des opérateurs. [11]

I.10. La mise en place de la maintenance :

- Etude initiale pour déterminer les coûts possibles.
- Sélectionnez une fréquence d'intervention fixe (en rapport avec la MTBF).
- Planification de la mission et mesures de sécurité.
- Préparation des documents.
- Exécuter et accéder aux rapports.
- Exploitation des résultats : pour l'historique et le réajustement des fréquences.

I.11. Environnement de la maintenance :

La maintenance fait partie du concept global de sécurité de fonctionnement, qui fait lui-même partie de l'assurance produit. [12]

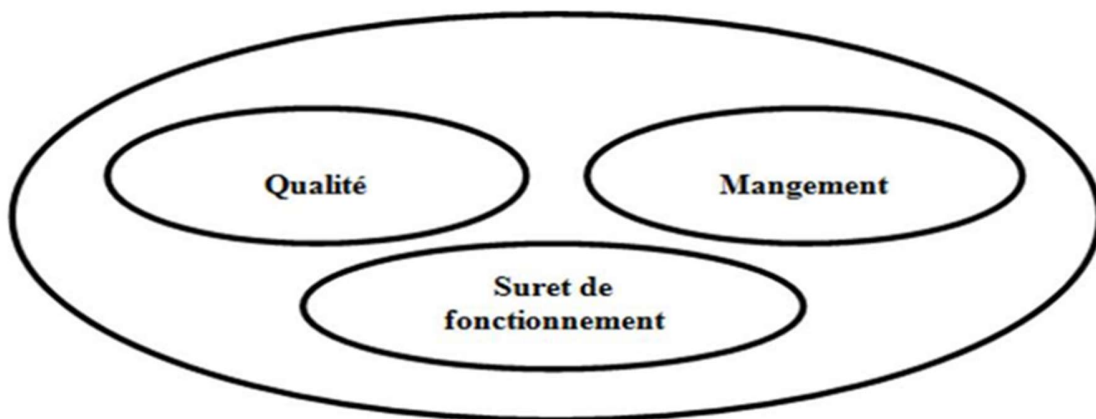


Figure 9.L'assurance produit.

I.12. Stratégie de maintenance : (-FD X 60-000 Mai 2002)

La stratégie de maintenance, qui résulte de la politique de maintenance, impose des choix pour atteindre, voire dépasser, les objectifs fixés.

Ces choix sont à faire pour :

- Développer, ajuster ou implanter des méthodes de maintenance.
- Élaborer et optimiser la portée de la maintenance.
- Organiser l'équipe de maintenance.
- Internalisation et/ou externalisation partielle ou totalement les Tâches de maintenance.
- Définir, gérer et optimiser les stocks de pièces de rechange et de consommables.
- Étudier l'impact économique (temps de retour sur investissement) de la modernisation ou de l'amélioration de l'outil de production en matière de productivité et de maintenabilité

La stratégie de maintenance implique la mise en oeuvre d'un plan de maintenance avec des objectifs chiffrés et des indicateurs mesurables, les résultats mesurés sont comparés aux objectifs et font l'objet d'analyses, une partie importante de la stratégie de maintenance concerne les ressources humaines aussi bien chez les intervenants extérieurs à l'entreprise que dans le personnel de l'entreprise elle-même :

- Sélection, recrutement.
- Formation du personnel.
- Gestion des compétences et des habilitations.
- Communication.
- Etc. [13]

I.13. Les niveaux de maintenance :

Les niveaux de maintenance sont définis par rapport à :

- La nature de l'intervention.
- Les qualifications des intervenants.
- Moyens de mise en œuvre.

La norme (NF X 60-010) donne cinq niveaux de maintenance pour référence, en précisant responsable de son service, de sa production ou de sa maintenance :

I.13.1. 1^{er} niveau de maintenance :

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

I.13.2. 2^{ème} niveau de maintenance :

Opérations nécessitant des procédures simples et/ou des équipements de soutien (intégrés à la propriété ou externes) Facilité d'utilisation ou de mise en œuvre, ces opérations de maintenance sont effectuées par du personnel qualifié suivant des procédures détaillées et des équipements de support tels que définis dans les instructions de maintenance, un personnel est qualifié lorsqu'il a reçu une formation lui permettant de travailler en sécurité sur un bien présentant certains risques potentiels, et est reconnu apte pour l'exécution des travaux qui lui sont confiés, compte tenu ses connaissances et ses compétences.

I.13.3. 3^{ème} niveau de maintenance :

Opérations nécessitant des procédures complexes et/ou des équipements de support portables, utilisant ou mise en œuvre compliquée, ces opérations de maintenance peuvent être effectuées par des techniciens qualifiés suivant des procédures détaillées et équipement de soutien fourni dans les instructions de maintenance.

I.13.4. 4^{ème} niveau de maintenance :

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

I.13.5. 5^{ème} niveau de maintenance :

Opérations dont les procédures impliquent un savoir-faire, faisant appel à des techniques ou technologies particulières, des processus et/ou des équipements de soutien industriels, par définition, ce type d'opérations de maintenance (rénovation, reconstruction, etc.) est effectué par le constructeur ou par un service ou société spécialisée avec des équipements de soutien définis par le constructeur et donc proches de la fabrication du bien concerné.[13]

Ces niveaux de maintenance font référence à la complexité des tâches à effectuer et aux ressources humaines et matérielles nécessaires pour effectuer chaque tâche. Les spécifications sont détaillées dans le tableau 1. Un système de maintenance ainsi positionné permet de spécifier, de limiter et de libérer les responsabilités et les attentes vis-à-vis de ce système. Or, cela constitue une condition nécessaire mais malheureusement pas suffisante pour la réussite de la mise en place des systèmes de maintenance, une entreprise. [14]

Niveaux	Personnel d'intervention	Moyens
I	Exploitant sur place.	Outillage léger défini dans les instructions d'utilisation.
II	Technicien habilité sur place.	Outillage léger défini dans les instructions d'utilisation, plus pièces de rechange trouvées à proximité sans délai.
III	Technicien spécialisé, sur place ou en local de maintenance.	Outillage prévu plus appareils de mesure, banc d'essai, de contrôle, etc.
IV	Equipe complète, polyvalentes atelier central.	Moyens proches de la fabrication par le constructeur.
V	Equipe complète, polyvalente en atelier central.	Moyens proches de la fabrication par le constructeur.

Tableau 1. Les ressources nécessaires pour chaque niveau de maintenance. [15]

I.14. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons exploré les différents types de maintenance, tels que la maintenance préventive, la maintenance corrective, la maintenance prédictive et la maintenance conditionnelle. Les avantages et les inconvénients de chaque type de maintenance sont expliqués, ainsi que les situations dans lesquelles ils sont le plus appropriés.

Nous avons aussi abordé les aspects clés de la planification de la maintenance, tels que l'identification des opérations de maintenance et leurs cinq niveaux. Dans le prochain chapitre, nous allons étudier la politique de maintenance.

Chapitre II. Politique de la maintenance industrielle et lois calcul de FDM

II.1. Introduction :

La politique de maintenance comprend l'élaboration de lignes directrices dans le cadre (méthodes, procédures, budget, etc.) buts et objectifs fixés par la direction. Dans le cadre de l'optimisation des coûts de production, selon la politique adoptée, les orientations privilégient :

- La disponibilité et la durée de vie de l'actif.
- La sécurité du personnel et des biens.
- La qualité des produits.
- Protection environnementale.
- Optimisation des coûts de maintenance.
- Etc.

II.2. Politique de la maintenance :

Elle consiste à fixer les orientations (méthodes, programme, budget...) en matière de maintenance. Dans le cadre des objectifs fixés par la direction de l'entreprise. Compte tenu de la politique globale de l'entreprise, ces orientations peuvent privilégier certains objectifs par rapport à d'autres. Il doit prendre en compte :

- Maintenance préventive et corrective, systématique ou conditionnelle.
- Maintenance internalisée externalisée.

En tenant compte du:

- Type de contractualization.
- Degré de risque accepté.
- Etc. [17]

II.3. La Maintenance comme politique:

La maintenance est une politique qui prend en compte :

- La maintenance est une politique qui prend en compte.
- Choix de la méthode de maintenance (différentes méthodes de maintenance).
- Améliorations.
- L'emplacement de l'équipement dans le processus de fabrication (hiérarchie).
- Formation du personnel de maintenance et de production.[18]

II.4. Les méthodes d'analyse de défaillance :

Le plan de maintenance est l'une des colonnes vertébrales du service maintenance. Cette dernière est plus ou moins bien formalisée selon les services de maintenance. Peut-être grâce à ces différentes méthodes, documentées sur tout type de support.

II.4.1. Méthode ABC (Diagramme de Pareto) :

La méthode ABC apporte une réponse. Elle permet l'investigation qui met en évidence les éléments les plus importants d'un problème afin de faciliter les choix et les priorités. On classe les événements (pannes par exemple) par ordre décroissant de coûts (temps d'arrêts, coût financier, nombre, etc..), chaque événement se rapportant à une entité. On établit ensuite un graphique faisant correspondre les pourcentages de coûts cumulés aux pourcentages de types de pannes ou de défaillances cumulés. Sur le schéma figure 10, on observe trois zones.[19]

- Zone A : 20% des pannes occasionnent 80% des coûts.
- Zone B : les 30% de pannes supplémentaires ne coûtent que 15% supplémentaires.
- Zone C : les 50% de pannes restantes ne concernent que 5% du coût global.

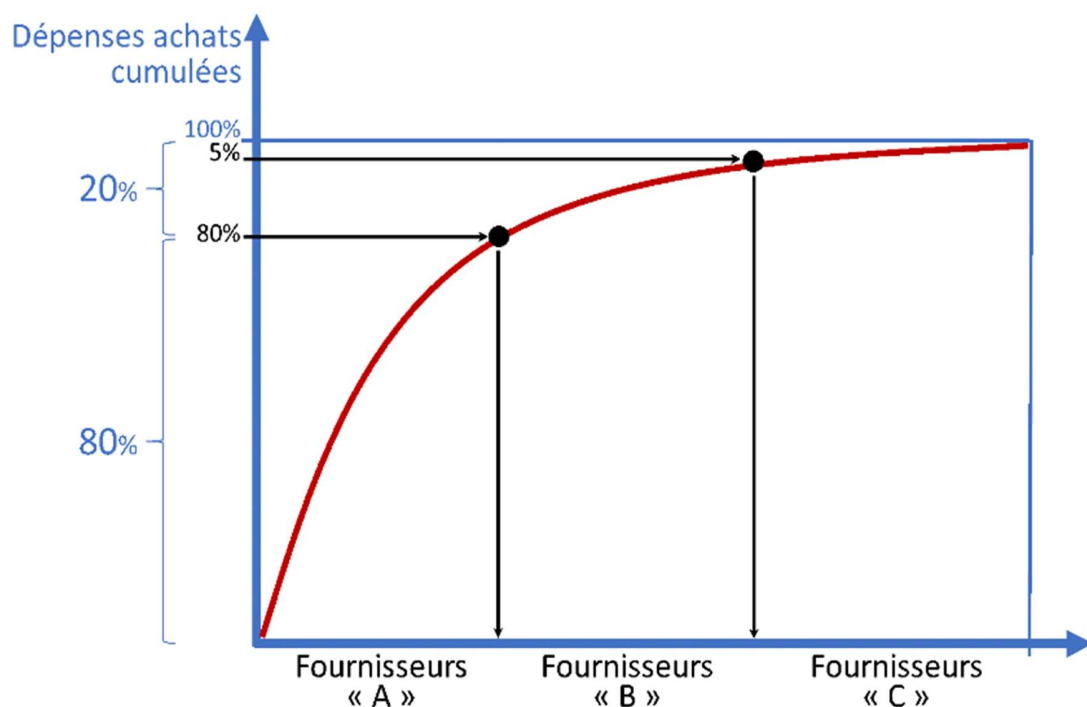


Figure 10. Diagramme de la méthode ABC.

En maintenance, cette approche est utile pour identifier les urgences ou les tâches les plus importantes. Plus rentable, par exemple : [20]

- Une attention particulière à la préparation des interventions pour les pannes les plus fréquentes et les plus coûteuses (documentation, gammes opératoires, contrats, ordonnancement, etc..).
- Trouver la cause et les mesures d'amélioration possibles pour ces mêmes pannes.
- Organiser le magasin en fonction de la fréquence de sortie des pièces (nombre et emplacement des pièces).
- Déterminer la politique de maintenance applicable à des équipements spécifiques selon le temps et le coût de l'entretien.

Attention toutefois : cette méthode ne résout pas les problèmes, mais elle attire l'attention du technicien sur les groupes d'éléments à étudier en priorité.

La table suivante récapitule les principales caractéristiques des trois classes :

Classes	A	B	C
% des références	5% à 20%	20% à 40%	40% à 50%
% de consommation totale	55% à 75%	15% à 20%	5% à 10%
Niveau de contrôle	Rigoureux	Normal	Simple
Stock de sécurité	Bas	Modéré	Important
Fréquence des inventaires	Elevée	Modérée	Faible
Inventaire du stock	Soigneuse et précise (Révisions fréquentes)	Normale	Périodique (1 à 2 fois par an)
Modèles du stock	(Q,r) et (R,T)	Wilson et ces variantes	Fiches de stock

Tableau 2.Caractéristique des classes A, B et C. [20]

II.4.1.1. But Le diagramme A.B.C(PARETO) :

Le diagramme A.B.C(PARETO) permet de visualiser l'importance relative des différentes parties ou catégories d'un ensemble précédemment analysé et chiffré sous la forme d'un classement et d'une hiérarchisation.

II.4.2. Le diagramme d'Ishikawa :**II.4.2.1. Définition :**

Cette représentation visuelle basée sur des flèches, également connue sous le nom de diagramme de cause à effet, diagramme en arête de poisson ou diagramme 5M, a été développée par Kaoru Ishikawa en 1952. L'ingénieur japonais travaillant chez Nissan avait pour objectif de développer un outil de gestion d'entreprise dédié à l'optimisation de la qualité. A cet effet, il a développé le diagramme d'Ishikawa : un diagramme composé d'une flèche principale pointant vers le problème principal et de flèches secondaires représentant différentes causes à l'origine du problème, réparties en 5 catégories : les 5 M. [21]

II.4.2.2. Les 5 M :

Le diagramme d'Ishikawa, également connu sous le nom de méthode 5M, diagramme de cause à effet ou diagramme de colonne vertébrale empoisonnée, est une méthode par laquelle les causes possibles de problèmes ou de défauts (impacts) peuvent être identifiées. Il faut alors agir sur ces causes pour corriger l'erreur en mettant en place des actions correctives appropriées. Par conséquent, pour essayer de réduire ou d'éliminer un problème de qualité, vous devez comprendre toutes les causes possibles du problème. Ensuite, en examinant leurs poids relatifs, nous pouvons déterminer pourquoi les actions sont prioritaires.

Cela ne garantit pas les résultats, mais cela aide (beaucoup) à cadrer les idées et les réflexions, par exemple lors de l'utilisation de cette méthode dans un groupe de travail. Il peut être utilisé comme moyen de communication, de formation. Il peut être considéré comme une base de connaissances. Un diagramme de cause à effet ne fournit pas directement des solutions, mais il permet de poser des questions. Le diagramme d'Ishikawa se présente sous la forme d'un graphe en arêtes de poisson. Dans ce dernier, sont classées par catégorie les causes selon la loi des 5 M. La méthode des 5 M permet d'orienter la réflexion vers les 5 domaines, desquels sont généralement issues les causes : [22]

M1 - Matières : matières premières, pièces, ensembles, fournitures, identification, stockage, qualité, manutention.

M2 - Matériel : Recense les causes probables ayant pour origine les supports techniques et les produits utilisés. Machines, outils, équipements, capacité, âge, nombre, maintenance.

M3-Main d'œuvre : directe, indirecte, motivation, formation, absentéisme, expérience, problème de compétence, d'organisation, de management.

M4 - Milieu : environnement physique, éclairage, bruit, aménagement, relations, température, climat, marché, législation.

M5 – Méthodes : instructions, manuels, procédures, modes opératoires. [22]

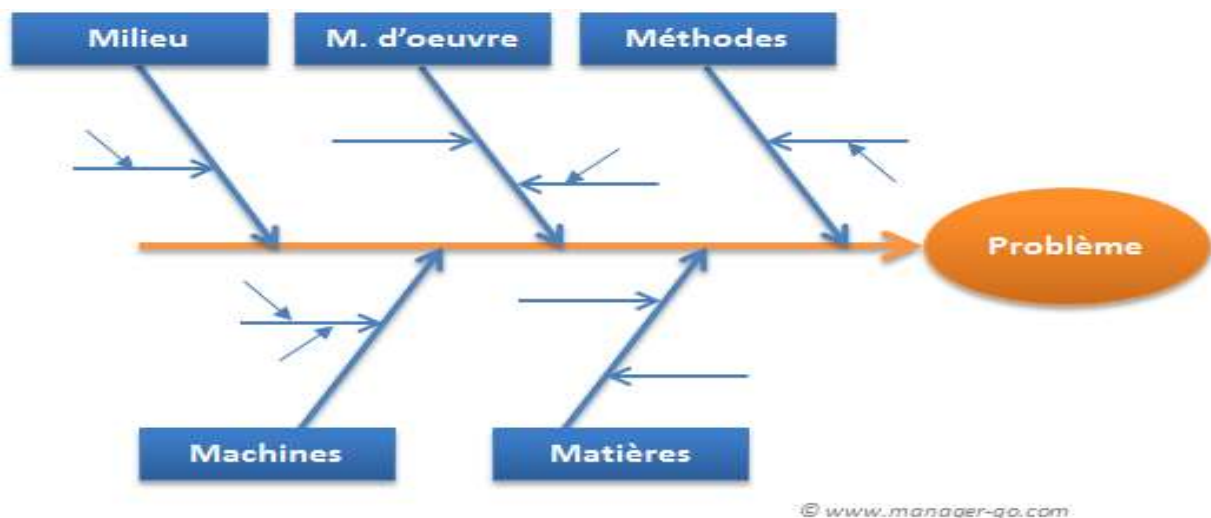


Figure 11. Diagramme d'Ishikawa 5M.

II.4.2.3. Etapes de construction d'un diagramme d'Ishikawa :

La construction du diagramme d'Ishikawa est basée sur un travail de groupe. Il est élaboré en plusieurs étapes :

1. Définir le problème : Tout d'abord, il est important de définir le problème de manière claire et concise. Ceci permettra de se concentrer sur les causes possibles du problème.
2. Identifier les catégories de causes : Une fois que le problème a été défini, il est important de déterminer les catégories de causes possibles. Les catégories communes incluent les personnes, les processus, les politiques, les machines et les environnements.
3. Dessiner la colonne principale : Dessinez une ligne horizontale qui représente le problème et ajoutez une flèche qui pointe vers la droite.
4. Ajouter les branches : Pour chaque catégorie de causes identifiée, dessinez une ligne oblique qui part de la colonne principale et ajoutez un libellé pour la catégorie.

5. Identifier les causes possibles : Pour chaque catégorie, identifiez les causes possibles du problème. Ajoutez ces causes sur la branche correspondante.
6. Ajouter des sous-causes : Si une cause peut être subdivisée en sous-causes, dessinez des branches supplémentaires pour chaque sous-cause et ajoutez des libellés.
7. Vérifier la complétude : Assurez-vous que toutes les causes possibles ont été identifiées et ajoutées au diagramme. [23]

II.4.3. La méthode AMDEC :

II.4.3.1. Définition :

Dans les années 1940 est née la méthode AMDEC créée par l'armée américaine et exploitée par l'industrie de l'aéronautique et de l'automobile. Entrant dans une démarche de prévention, cette méthode est un allié primordial au bon fonctionnement de votre entreprise.

D'après AFNOR, l'analyse des modes de défaillance de leurs effets et de leur criticités (AMDEC) est une méthode inductive permettant pour chaque composant d'un système, de recenser son mode de défaillance et son effet sur le fonctionnement ou sur la sécurité du système.

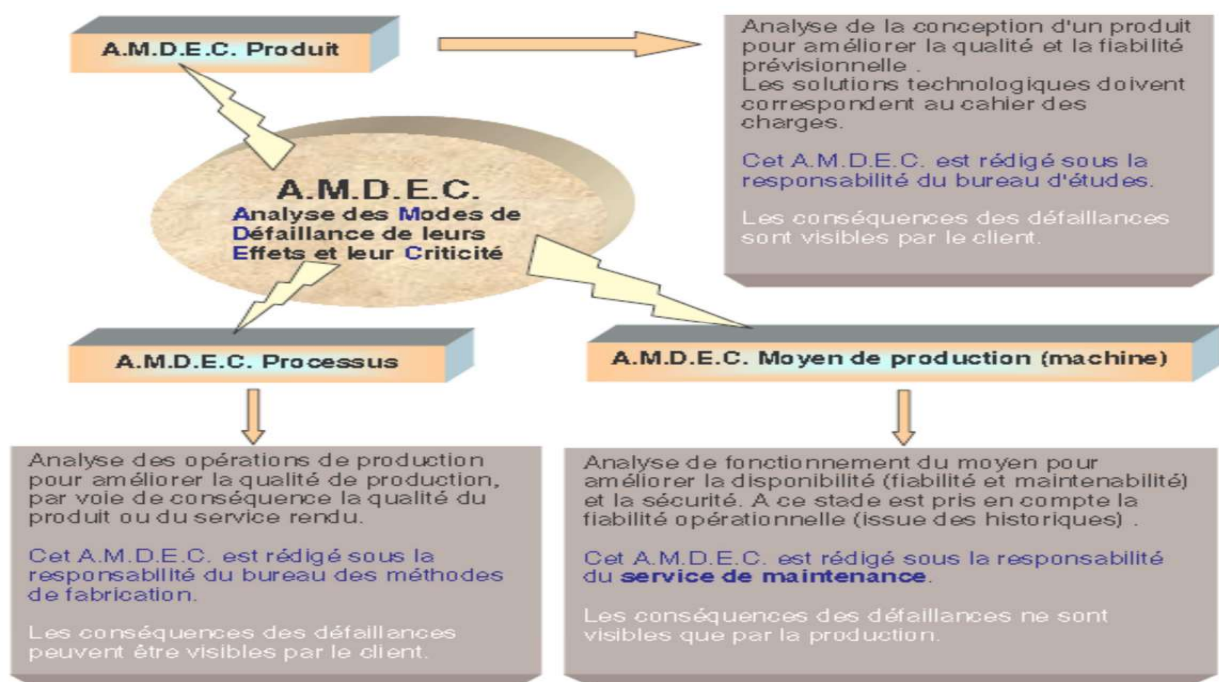


Figure 12.Méthode AMDEC.[24]

II.4.3.2. Objectifs de l'AMDEC :

L'AMDEC est une technique d'analyse prédictive qui estime le risque de défaillance et l'impact sur le fonctionnement normal de la méthode de production et initie les actions correctives nécessaires.

Les objectifs intermédiaires sont les suivants :

- Identification du produit ou du processus à analyser.
- Constitution de l'équipe AMDEC, comprenant des experts techniques, des représentants de la production, de la qualité, de la sécurité, etc.
- Identification des modes de défaillance potentiels.
- Évaluation des effets et des conséquences de chaque mode de défaillance.
- Détermination de la criticité de chaque mode de défaillance, en tenant compte de facteurs tels que la probabilité de survenue, la gravité des conséquences et la détection potentielle.
- Développement d'un plan d'action pour éliminer ou réduire les risques associés à chaque mode de défaillance. [24]

II.4.3.3. Types d'AMDEC :

Selon les objectifs, plusieurs types d'AMDEC sont utilisés dans les étapes successives du développement du produit :

- a. **AMDEC Produit :** L'AMDEC produits sont utilisées pour faciliter les études de validation, qui sont des définitions de nouveaux produits fabriqués par l'entreprise. Il est mis en œuvre pour évaluer les nouveaux produits pour les défauts potentiels et leurs causes. Cette évaluation de toutes les lacunes possibles permettra, après hiérarchisation, d'y remédier en mettant en place des mesures correctives pour la conception et des mesures préventives pour l'industrialisation.
- b. **AMDEC Processus :** c'est l'analyse des défaillances sur les méthodes de production d'un produit ainsi que les procédures mises en œuvre pour accomplir une tâche.
- c. **AMDEC Moyen de production :** Il permet d'étudier les moyens de production lors de leur phase de conception ou d'exploitation. Pour les équipements de production en fonctionnement, la réalisation d'une l'AMDE permet l'analyse de la cause réelle de défaillance ayant pour conséquence l'altération de la performance du dispositif de production. [25]

II.4.3.4. Démarche pratique de l'AMDEC :

L'utilisation de l'AMDEC crée un cadre qui doit être complété et équipé. Pour cela, une analyse plus fine de la pertinence des informations est nécessaire. Le groupe AMDEC doit maîtriser la

machine et mettre à jour et s'assurer de la validité de toutes les informations utiles à l'étude. Il appartient à ce groupe de s'appuyer sur le retour d'expérience de tous les opérateurs de tous les services de cycle de fabrication de produit, qui peuvent apporter une valeur ajoutée à l'analyse. [26]

II.4.3.5. La méthode AMDEC en quatre étapes :

- a. Etape 1 :** initialisation de l'étude qui consiste : [27]
 - La définition de la machine à analyser.
 - La définition de la phase de fonctionnement.
 - La définition des objectifs à atteindre.
 - Constitution de groupe de travail.
 - La définition de planning des réunions.
 - La mise au point des supports de travail.
- b. Etape 2 :** description fonctionnelle de la machine qui consiste :
 - Découpage de la machine.
 - Inventaire des fonctions de service.
 - Inventaire des fonctions techniques.
- c. Etape 3 :** analyse AMDEC qui consiste :
 - Analyse des mécanismes de défaillances,
 - Évaluation de la criticité à travers :
 - La probabilité d'occurrence F.
 - La gravité des conséquences G.
 - La probabilité de non-détection D.
 - Propositions d'actions correctives.
- d. Etape 4 :** synthèse de l'étude/décisions qui consiste :
 - Bilan des travaux.
 - Décision des actions à engager. [27]

II.4.3.6. But de l'AMDEC :

L'AMDEC est une technique qui se traduit par un examen rigoureux de la conception dans le but d'évaluer et d'assurer la sûreté de fonctionnement (sécurité, fiabilité, maintenabilité et disponibilité) des moyens de production. [28]

L'AMDEC atteindra ces objectifs en traitant systématiquement les paramètres suivants :

a. Recensement et définition des fonctions :

- Du moyen de production.
- Des sous-systèmes.
- Des composants.

b. Analyse des défaillances par :

- Le recensement des modes de défaillance.
- L'identification des causes de défaillance.
- L'évaluation des risques.
- La recherche des modes de détection.

c. Hiérarchisation des défaillances avec la cotation de la criticité :

Qui va permettre d'estimer, pour chaque défaillance, trois critères de définition :

- La fréquence d'apparition de la défaillance (indice F).
- La gravité des conséquences que la défaillance génère (indice G).
- Ne produise les conséquences non désirées (indice D). [28]

II.4.4. La méthode GANTT :**II.4.4.1. Définition :**

C'est une méthode de type diagramme créée vers 1918 et encore très courante aujourd'hui. nous pouvons utiliser la technique sans pour autant présenter le diagramme. Elle consiste à déterminer la meilleure manière possible de positionner les différentes tâches d'un projet à exécuter sur une période déterminée en fonction :

- Des durées de chacune des tâches.
- Des contraintes d'antériorité entre les différentes tâches
- Des délais à respecter
- Des capacités de traitement (qui peuvent évoluer en fonction des heures supplémentaires accordées, des investissements réalisés).[29]

II.4.4.2. Présentation de la méthode :

Vous avez d'abord besoin de :

- Définir les éléments à exécuter.
 - Définir les différentes actions à réaliser dans le cadre du projet.
 - Définir la durée de ces différentes opérations.
-

- Définir les liens entre ces différentes opérations.[29]

II.4.4.3. Critère de représentation classique du Gantt :

Il permet de visualiser l'évolution d'un projet afin de déterminer la durée de sa réalisation. On peut mettre en évidence des incohérences sur certaines tâches, (incohérences Correspond au temps de retard que peut avoir la tâche sans augmenter durée totale du projet). On peut représenter la progression du travail sur le diagramme et connaître à tout moment l'état d'avancement du projet.[30]

II.4.4.4. Le diagramme de GANTT classique utilise le critère de représentation suivant :

On démarre la tâche sans historique le plus tôt possible, puis on représente Une tâche est antérieure à une tâche déjà exprimée et ainsi de suite. Ce système se traduit par L'inventaire est créé et ne correspond pas à un système juste à temps. Cependant, nous pouvons Modifié en démarrant la tâche au plus tard.

Pour définir les liens entre les différentes tâches d'un projet, différentes possibilités existent:

- Priorité à la fabrication du produit ayant la date de livraison la plus rapprochée (pour respecter les délais).
- Première commande confirmée, première commande exécutée (ce qui n'est pas forcément une bonne solution, car elle peut conduire à augmenter les stocks).
- Priorité à la tâche dont la durée est la plus courte (méthode qui permet de diminuer le temps de changement de série).
- Priorité à la tâche ayant la plus petite marge.

Marge = temps restant à courir jusqu'à la livraison - le temps total d'achèvement.

- Priorité à la tâche ayant le ratio critique le plus faible.

$$r = \frac{\text{temps restant jusqu'à la livraison}}{\text{somme des temps des opérations restant à effectuer}}$$

Ces deux derniers critères ont pour objectif de tenir compte à la fois des délais et des temps de fabrication.

II.4.4.5. Utilisation du diagramme :

Il permet de visualiser l'évolution d'un projet afin de déterminer la durée de sa réalisation. On peut mettre en évidence le flotteur qui existe sur certaines tâches, (le flotteur correspond à combien de temps une tâche peut être retardée sans augmenter la durée globale du projet). Vous pouvez

représenter l'avancement des travaux sur un graphique (Figure 13) pour suivre l'avancement du projet.[31]

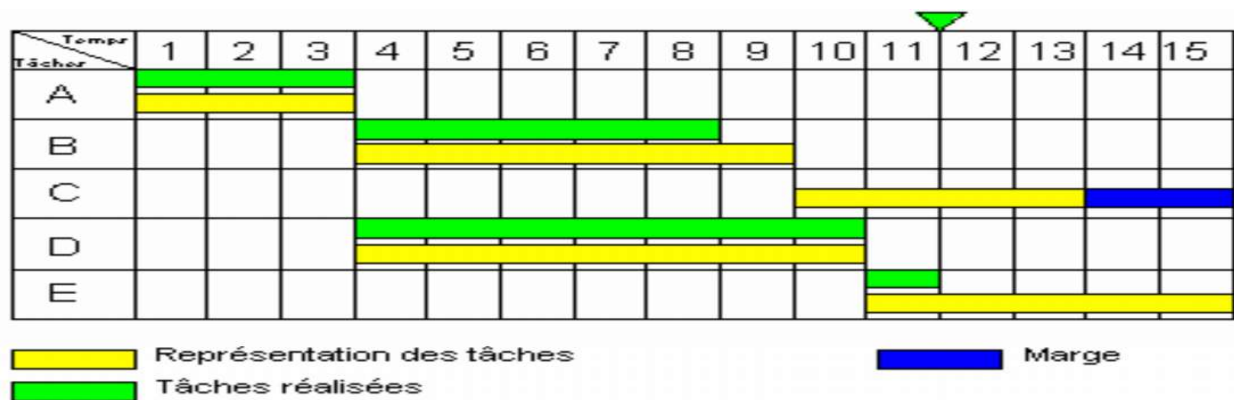


Figure 13.Exemple diagramme de GANTT.[29]

II.4.4.6. Optimisation :

Il est possible de raccourcir le délai total de fabrication quand il n'est pas nécessaire d'attendre qu'une tâche antérieure soit entièrement terminée pour démarrer la suivante. Le calcul du délai optimum est alors fonction du personnel compétent disponible, du matériel et des coûts engendrés. Dans l'exemple précédent, si l'on considère que on peut démarrer les tâches B et D alors que 20% de la tâche A est effectuée, et que les tâches B et E peuvent démarrer alors que 50% des tâches précédentes (B et D) sont effectuées, le diagramme de GANTT (Figure 14) sera alors le suivant :[29]

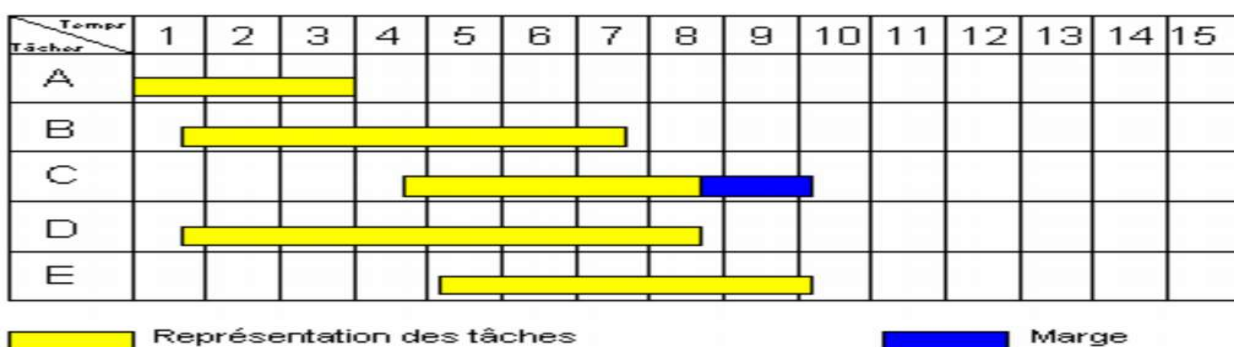


Figure 14.Optimisation par l'utilisation du diagramme de GANTT.[29]

On aura gagné près de 5 heures sur le délai précédent. Aujourd'hui, de nombreux logiciels de gestion de production utilisent la méthode GANTT. Le diagramme de GANTT est un outil très simple

à comprendre et à utiliser. Son utilisation est limitée aux problèmes simples ne comportant pas de nombreuses tâches. Le GANTT est avant tout une méthode de visualisation.[29]

II.4.4.7. Utilité de la méthode GANTT :

Elle permet de :

- Modéliser la planification de tâches nécessaires à la réalisation d'un projet.
- Visualiser l'évolution du projet, de déterminer sa durée de réalisation.
- Mettre en évidence les flottements existant sur certaines tâches.
- Le flottement correspond au temps de retard qu'on peut avoir sur une tâche particulière sans autant augmenter la durée globale de réalisation de projet.
- Représenter la progression du travail et de connaître à tout moment l'état d'avancement du projet, mais également un bon moyen de communication entre les différents acteurs d'un projet.

Ainsi, les diagrammes de GANTT sont très utiles pour « visualiser » les projets ; cependant si ce dernier comporte un grand nombre de tâches, les relations de succession n'apparaissent pas de manière évidente. Actuellement, ce graphique est avant tout un outil complémentaire Contrôler l'avancement du projet.[32]

II.5. Lois calcul de FDM :

II.5.1. Etude de fiabilité :

La fiabilité d'un ensemble d'éléments à l'instant t est la probabilité de fonctionnement sans panne pendant $[0, t]$, c'est donc la probabilité que la première panne à l'instant T soit supérieure à t . Bien entendu, cette définition en termes de temps de fonctionnement est également valable pour d'autres

$$R(t) = P(T > t) \quad \text{II-1}$$

unités, comme les Km ou les cycles d'utilisation.[33]

Cette fonction fiabilité, ou fonction de survie, se calcule aisément :

$$R(t) = \frac{\text{Nbre d'éléments en vie à l'instant } t}{\text{Nbre d'éléments au total}} \quad \text{II-2}$$

On peut également présenter la fonction cumulative de panne $F(t)$ comme la probabilité qu'il survienne une panne avant la date t . Il s'agit du complément de $R(t)$:[33]

$$F(t) = 1 - R(t) \quad \text{II-3}$$

Définition selon la NF X 06-501 : la fiabilité est la caractéristique d'un dispositif exprimée par la probabilité que ce dispositif accomplisse une fonction requise dans des conditions d'utilisation données et pour une période de temps déterminée.[35]

II.5.1.1. Objectif de la fiabilité :

La fiabilité a pour objectif de :

- Mesurer une garantie dans le temps.
- Evaluer rigoureusement un degré de confiance.
- Déchiffrer une durée de vie.
- Dévaluer une précision du temps de bon fonctionnement.
- Déterminer la stratégie de l'entretien.
- De choisir le stock magasin judicieux.

II.5.1.2. Méthodes mathématique :

II.5.1.2.1 Densité de probabilité f (t) :

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)} \quad \text{II-4}$$

Avec $t \geq \gamma$

β : est appelé paramètre de forme $\beta > 0$.

η : est appelé paramètre d'échelle $\eta > 0$.

γ : est appelé paramètre de position $-\infty < \gamma < +\infty$.

II.5.1.2.2 Fonction de répartition F (t) :

Un appareil allumé pour la première fois tombera inévitablement en panne à l'instant T, inconnu a priori.

$$F(t_i) = P_r(T > t_i) \quad \text{II-5}$$

T : est une variable aléatoire de fonction de répartition F (t).

$F(t_i)$: est la probabilité pour que le dispositif soit en panne à l'instant t_i .

$$R(t_i) = P_r(T > t_i) \quad \text{II-6}$$

$R(t_i)$: est la probabilité de bon fonctionnement à l'instant t_i .

Probabilité complémentaire

$$F(t_i) + R(t_i) = 1 \quad \text{II-7}$$

$$\int_0^t f(t) \cdot dt + \int_0^{\infty} f(t) \cdot dt = 1 \quad \text{II-8}$$

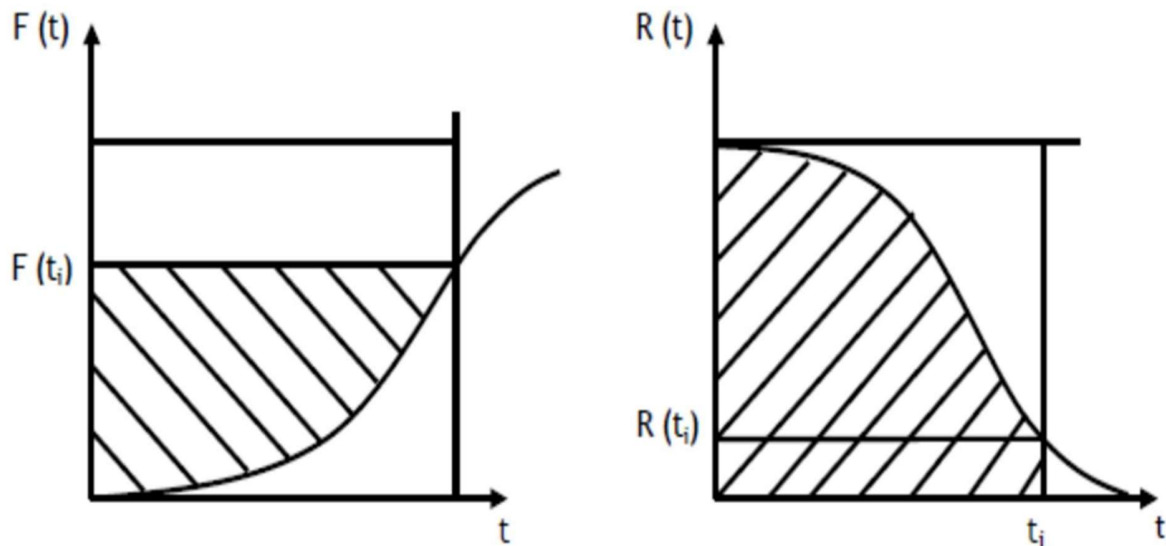


Figure 15. Courbe de fiabilité et fonction de répartition.

II.5.1.2.3 Taux de défaillance $\lambda(t)$:

Soit N_0 : le nombre de dispositifs fonctionnant à $t=0$,

$N(t)$: le nombre de dispositifs fonctionnant à l'instant t ,

$N(t+\Delta t)$: le nombre de dispositifs fonctionnant à l'instant $t+\Delta t$.

$\frac{N(t)}{N_0}$: est un estimateur de la fiabilité $R(t)$.

$$N(t) - N(t + \Delta t) = \Delta N > 0 \quad \text{II-9}$$

Signe car $N(t)$ décroît.

$$N(t + \Delta t) - N(t) = -\Delta N \quad \text{II-10}$$

Si Δt tend vers 0, l'estimateur tend vers une limite qui est le taux de défaillance instantané :

$$\lambda(t)dt = -\frac{dN}{N(t)} \quad \text{II-11}$$

Relation non démontrée : si $f(t)$ est la densité de probabilité, nous aurons :

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad \text{II-12}$$

II.5.1.2.4 Fiabilité $R(t)$:

On intègre cette expression entre 0 et t :

$$-\int_0^t \lambda(t)dt = \ln N(t) + K \quad \text{II 13}$$

Pour $t=0$, $N(t)=N_0$ d'où $K=\ln N_0$.

$$N(t) = N_0 \cdot e^{-\int_0^t \lambda(t)dt} \quad \text{II 14}$$

$$\frac{N(t)}{N_0} = e^{-\int_0^t \lambda(t) \cdot dt} \quad \text{II 15}$$

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) \cdot dt} \quad \text{II 16}$$

Cette relation est fondamentale, car, quelle que soit la loi de fiabilité, elle permet un tracé expérimental de la fiabilité en fonction du temps, l'évolution du taux de défaillances étant connue [33].

II.5.1.2.5 MTBF:

C'est la moyenne de temps de bon fonctionnement,[36]

$$\begin{aligned}
 \text{MTBF} &= \frac{\sum \text{Heures de défaillance}}{N^{\circ} \text{ d' équipements en essai}} \\
 &= \frac{\sum TBF}{N_c}
 \end{aligned}$$

Soit à partir de la densité de probabilité :

$$\text{MTBF} = E(t) = \int_0^{\infty} t f(t) dt = \int_0^{\infty} R(t) dt \quad \text{II 17}$$

II.5.1.2.6 MTTR (Moyenne Temps Technique Réparation)

La MTTR est la Moyenne des temps Technique de Réparation. Comme la MTBF, elle est calculée à partir des historiques de défaillances et plus précisément à partir des TTR (temps de défaillance)

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

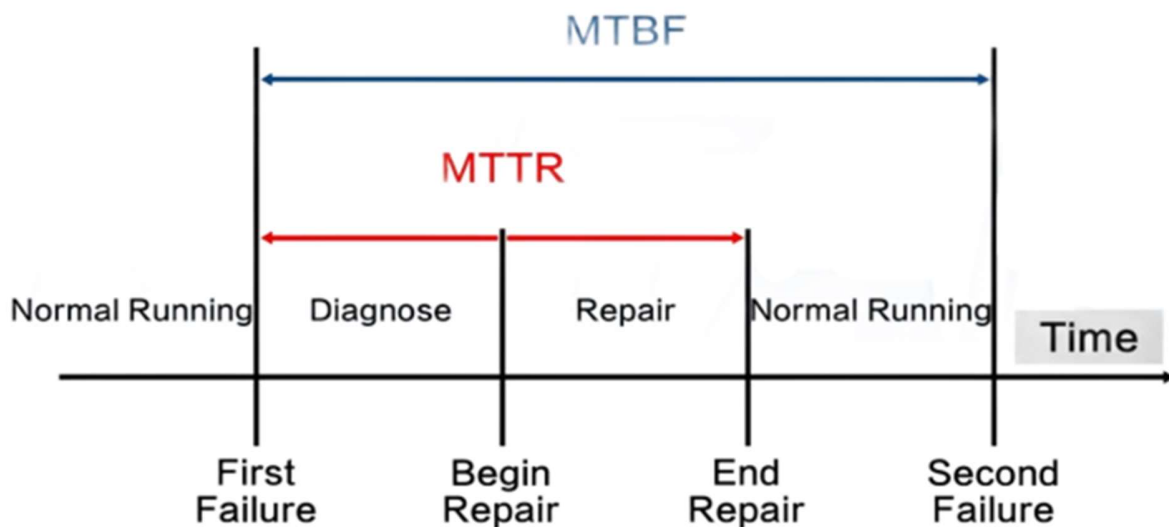


Figure 16: Indicateurs de temps de la sûreté de fonctionnement.

II.5.1.2.7 Le taux de défaillance $\lambda(t)$ en fonction du temps t :

En pratique, le taux de défaillance λ peut être constant, mais il peut aussi augmenter ou diminuer dans le temps, évoluant progressivement sans discontinuité. Pour la plupart des produits industriels, la "courbe dite de baignoire" (ci-dessous) de $\lambda(t)$ dans le temps présente trois régions typiques :

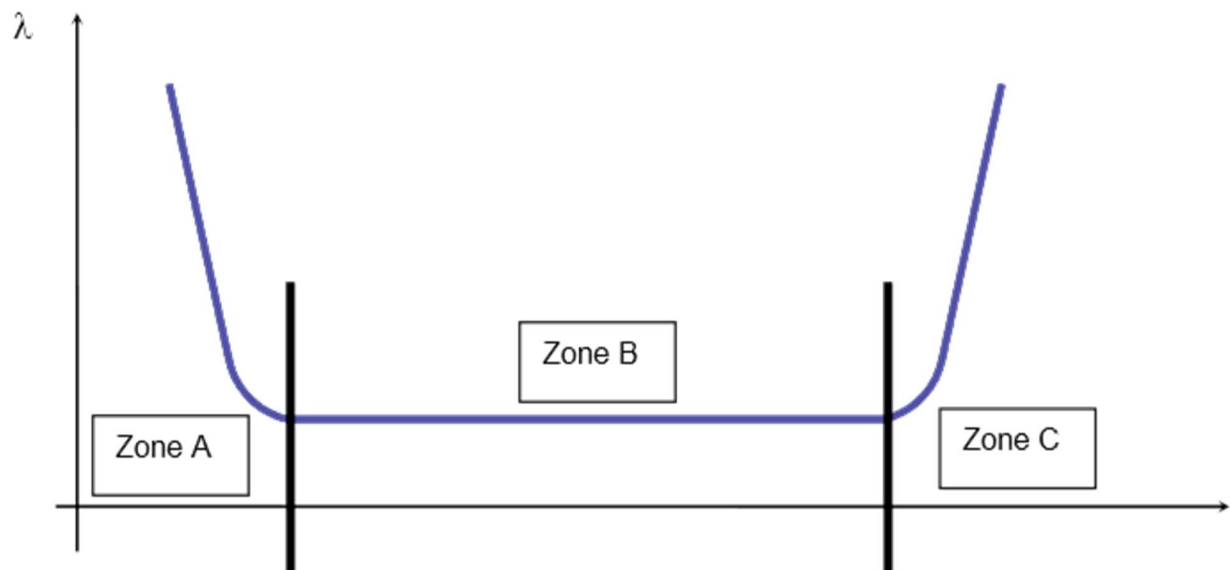


Figure 17. Courbe en baignoire.

Zone A : Epoque de jeunesse.

Zone B : Epoque de maturité, fonctionnement normal, défaillance aléatoire indépendante du temps.

Zone C : Epoque d'obsolescence, défaillances d'usure ou pannes de vieillesse. Le taux de défaillance, noté $l(t)$, est un indicateur de la fiabilité. Il représente une proportion de dispositifs survivants à un instant [37].

II.5.1.2.8 Les Principales lois de probabilité utilisées en fiabilité :

Dans la recherche de fiabilité de différents équipements, une variable aléatoire continue ou discrète peut être distribuée selon différentes lois, comprenant principalement :

- **La loi exponentielle :** Il est le plus couramment utilisé en fiabilité électronique pour décrire la période pendant laquelle le taux de défaillance des équipements est considéré comme constant. Il décrit le temps écoulé avant une panne, ou l'intervalle de temps entre deux pannes consécutives.
- **La loi de WEIBULL :** C'est une loi continue à trois paramètres, donc d'un emploi très souple. En fonction de la valeur de ses paramètres, elle peut s'ajuster à toutes sortes de résultats expérimentaux. Cette loi a été retenue pour représenter la durée de vie des pièces

Le tableau ci-après représente les fonctions représentatives de ces quatre lois :

	La loi exponentielle		La loi de WEIBULL	
Fiabilité (loi de survie) : R (t)	$e(-\lambda t)$	II 18	$e\left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta\right]$	II 22
Densité des défaillances : f (t)	$\lambda e(-\lambda t)$	II 20	$\frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} e\left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta\right]$	II 23
Taux instantané de défaillances: λ (t)	λ	II 19	$\frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1}$	II 24
Fonction de répartition F(t)	$1 - e(\lambda - t)$	II 21	$1 - e\left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta\right]$	II 25
tableau 3.la loi de weibull et la loi exponentielle.				

II.5.1.2.9 Paramètre de position :

Le paramètre de position gamma donne des indications sur le retard de la fonction f (t).

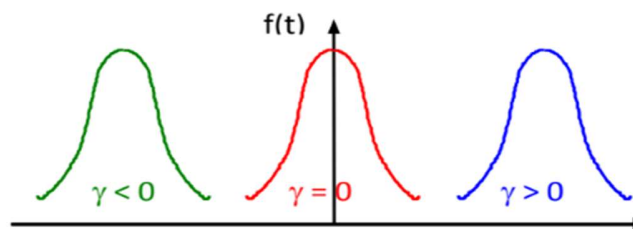


Figure 18:Les courbes de f(t).

- Avec $\gamma < 0$ ceci explique qu'une probabilité de défaillance est déjà présente au moment de l'installation du système.
- Avec $\gamma = 0$ une probabilité de défaillance sera présente dès la mise en service du Système.
- Avec $\gamma > 0$ une probabilité de défaillance dans les premières utilisations du système est nulle.

II.5.1.2.10 Préparation des données :

- Calcul des TBF.
- Classement des TBF en ordre croissant.
- N = nombre de TBF.

d) Recherche des données $F(i)$: $F(i)$ représente la probabilité de panne au temps correspondant au TBF de l'ième défaillant.

Si $N > 50$, regroupement des TBF par classes avec la fréquence cumulée :

$$F(i) = \frac{\sum N_i}{N} \quad \text{II 26}$$

Si $20 < N < 50$, On affecte un rang " N_i " à chaque défaillance (approximation des rangs Moyens):

$$F(i) = \frac{\sum N_i}{N + 1} \quad \text{II 27}$$

Si $N < 20$, On affecte un rang " N_i " à chaque défaillance (approximation des rangs médians):

$$F(i) = \frac{\sum N_i - 0.3}{N + 0.4} \quad \text{II 28}$$

II.5.1.2.11 Test de KOLMOGOROV- SMIRNOV :

À l'une restriction n'est nécessaire, quel que soit la taille (n) on peut l'appliquer. L'idée du test est de comparer la fonction réelle de répartition des défaillances à la fonction de répartition théorique. Consiste à mesurer l'écart point par point entre ces deux fonctions :

$$Dn_{max} = |F(i) - F(t)|$$

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

$$F(i) = \frac{\sum n_i}{N} \quad \text{II 29}$$

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

On montre que $D_n = \max |F(i) - F(t)|$ suit une loi ne dépendant que de η , et on écrit que :

$$P(\max |F(i) - F(t)| < D_n, \alpha) = 1 - \alpha$$

- 1) Si $Dn_{max} > Dn_\alpha$ on refuse l'hypothèse du modèle théorique.
- 2) Si $Dn_{max} < Dn_\alpha$ on accepte l'hypothèse du modèle théorique.

α : Le seuil de confiance ou le niveau significatif, dépend de la politique de maintenance exigée.

II.5.1.2.12 La maintenabilité :

La maintenabilité est « l'aptitude d'un dispositif à être maintenu ou rétabli dans un état dans lequel il peut accomplir sa fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions, avec des procédures et des moyens précis ».

La maintenabilité caractérise la facilité de remettre ou de maintenir un bien en bon état de fonctionnement .

$$M(t) = 1 - e^{-\mu t} \quad \text{II 30}$$

La maintenabilité est caractérisée par la moyenne des temps techniques de réparation MTTR :

$$MTTR = \frac{\Sigma TTR}{N} \quad \text{II 31}$$

II.5.1.2.13 Taux de reparation :

$$\mu = \frac{1}{MTTR} \quad \text{II 32}$$

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

II.5.1.2.14 La disponibilité :

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

II.5.1.2.14.1 Les type de disponibilité :

- **Disponibilité intrinsèque :**

Cette disponibilité est évaluée en prenant en compte les moyennes des temps de bon fonctionnement et les moyennes des temps de réparation.

$$D_i = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad \text{II 33}$$

- **Disponibilité instantanée :**

C'est la probabilité pour qu'un dispositif puisse accomplir une fonction requise dans des conditions données et une instante donnée.

$$D(t) = \frac{\mu}{\mu + \lambda} + \frac{\lambda}{\mu + \lambda} e^{-t(\mu + \lambda)} \quad \text{II 34}$$

$$\mu = \frac{1}{\text{MTTR}} \quad \text{II 35}$$

Où

λ : Taux de défaillance.

$$\lambda = \frac{1}{\text{MTBF}} \quad \text{II 36}$$

II.6. Conclusion:

Une politique de maintenance industrielle vise à maintenir les équipements en bon état de fonctionnement en minimisant les arrêts de production, en minimisant les coûts de maintenance et en maximisant la durée de vie des équipements. D'autre part, le FDM est une approche d'évaluation des performances des équipements industriels basée sur la fiabilité, la disponibilité et la maintenabilité.

La politique de maintenance industrielle et le FDM sont essentiels pour assurer une performance optimale des équipements industriels. Les entreprises qui tiennent compte de ces concepts peuvent améliorer leur productivité, réduire les coûts de maintenance et prolonger la durée de vie de leurs équipements.

Chapitre III. Présentation de la société ALGAL PLUS

III.1. Introduction :

Le stage est une composante majeure de la formation pratique dans le parcours d'études de l'étudiant qui lui permet d'acquérir des nouvelles connaissances, de développer ses compétences et de réfléchir sur son comportement en situation réelle. En effet, les cours théoriques et les travaux pratiques préparent l'étudiant initialement à réussir ses examens. Le stage, par contre, se déroule dans un environnement professionnel où les priorités, les tâches et les méthodes changent au fil des situations et circonstances.

Ainsi, l'étudiant a l'obligation de saisir cette différence et de s'impliquer dans son stage tant par ses compétences professionnelles que relationnelles.

III.2. Présentation de la société ALGAL PLUS :

La société ALGAL+ est une société installée à M'sila située dans wilaya de M'SILA plus précisément dans la zone industrielle spécialisée à la transformation de l'aluminium. La fonction principale est la production des profilés d'aluminium de toutes les formes selon l'exigence du client en utilisant la technique de l'extrusion. Cette entreprise est un complexe industriel qui a été installée dans l'année 1985 par la société japonaise qu'est appelée **UBE**, Il y a deux presses d'extrusion UBE à une commande Automatique, une chaîne verticale de thermo laquage et faux bois, une chaîne d'anodisation et de coloration chimique, deux ateliers de fonderie (refonte), un atelier de tri/traitement de déchets et plus des ateliers en cours de constructions.

Il y a d'autres unités et d'autres ateliers on va les sites dans le développement la suite.

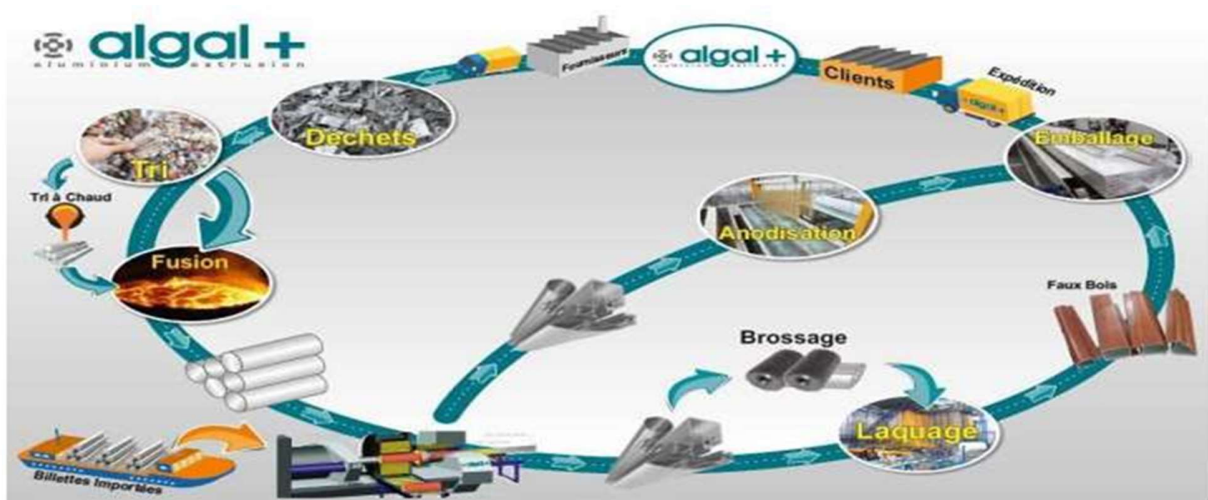


Figure 19. Cartographie de la chaîne de valeurs ALGAL PLUS.

III.3. Les activités de cette société :

- La production des plusieurs types des profilés d'aluminium.
- Traitement des surfaces, anodisation, coloration et laquage.
- Fournir des matériaux préliminaires comme les billettes, lingots, produits chimiques, les filières et pièces de rechanges.
- Produite les séries des profilés : 29000, 41000, 42000 et de la longueur 600 mm
- La capacité de fabrication de 32 tonnes/jour.
- Exportation des profilés extrudé.

III.4. Cartographies des processus ALGAL PLUS

Avec une progression de 3000 tonnes/an sur les huit prochaines années, pour atteindre une capacité de production de l'ordre de 40000 tonnes/an aux dix années prochaines.

Le complexe d'aluminium M'SILA conservera sa position de leader pour répondre à la demande croissante du marché. En effet, les installations déjà installées sur une superficie de 123000 m², à savoir station électrique haute tension 63KV, station électrique moyenne tension 30KV, station essence, station de traitement des eaux, sont dimensionnées pour accueillir quatre autres presses en plus des presses en service.

La **Figure 19** montre le processus de la production de profiles d'aluminium et dévers processus de support.

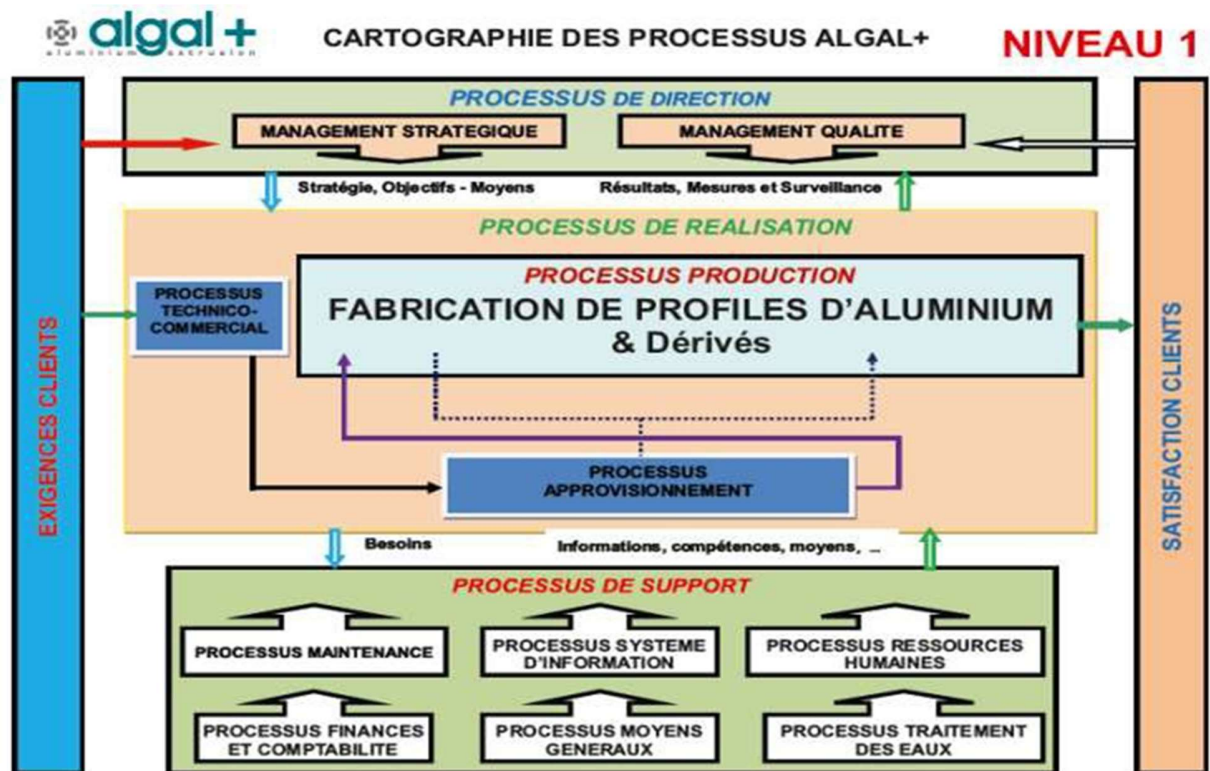


Figure 20. Cartographie des processus ALGAL PLUS.

III.5. Cartographies des processus ALGAL PLUS :

La Figure suivant illustre la répartition géographique des différentes unités.

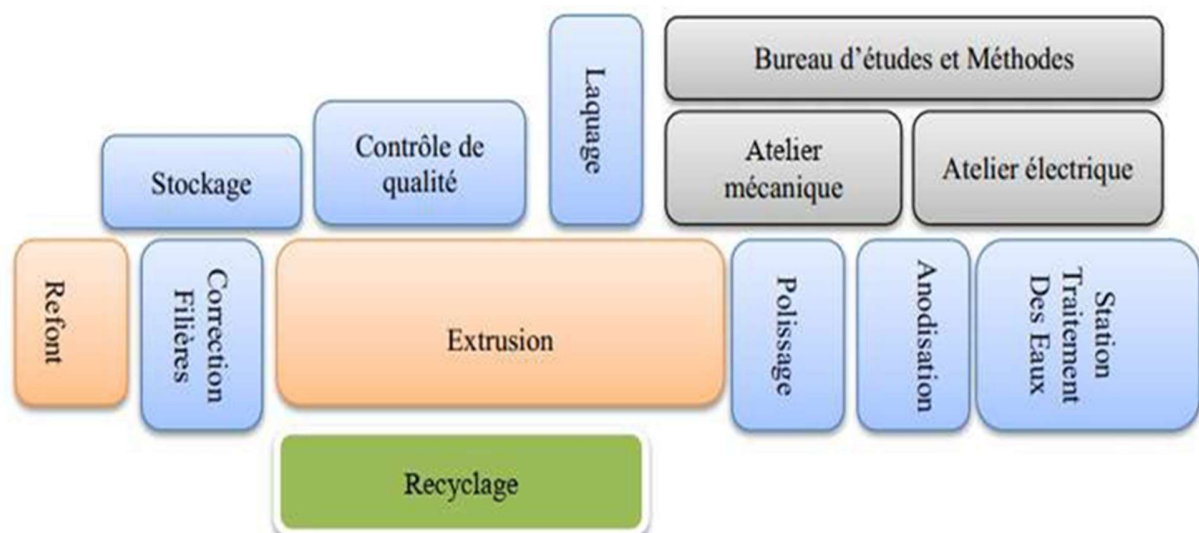


Figure 21. Représentation la situation du service de maintenance dans l'entreprise.

III.6. Les étapes de fabrication :

III.6.1. Unité de recyclage et valorisation :

Dans cette unité, on refond (recycle) les produits défectueux apparus dans le processus de fabrication des profilés ainsi que les déchets en Aluminium provenant de l'extérieur, tout ça pour obtenir les billettes.

Il y a deux billettes sont réalisés :

- Billette de diamètre 172 mm et poids linéaire 62.8 kg/m
- Billette de diamètre 216 mm et poids linéaire 98.9 kg/m
- La longueur de billette est de 3700 mm max

Pour fabriquer la billette il faut passe par les deux ateliers mentionnés ci-dessus.

III.6.1.1. L'atelier de tri :

Cet atelier chargé a découpe les pièces en l'aluminium des grandes dimensions à des petites, et après le découpage on faire sortir les éléments non désirés par des procédés comme le plastique, le fer, le cuivre pour garder la teneur de l'aluminium nette. Ces pièces sont des déchets de l'extérieur (toute pièces en aluminium).

III.6.1.2. La fonte :

Dans cette unité, on refond (recycle) les produits défectueux apparus dans le processus de fabrication des profilés ainsi que les déchets en aluminium provenant de l'extérieur pour produire les billettes.

III.6.2. Le four de fusion :

Dans la l'atelier de refont il y a deux fours de fusion de même construction et de même mission qui est la fusion de notre métal, donc le four est un récipient dans laquelle s'accumule l'aluminium fondu à haute température, les matériaux réfractaires en contact avec le métal fondu doivent supporter suffisamment l'atmosphère réductrice à haute température, le four porté à une température de l'atmosphère de 900 à 100° C et à une température du métal fondu de 720 à 750 °C, le four construite à l'intérieur par céramique et à l'extérieur par une superalliage à base de nickel.



Figure 22. Four de fusion.

Après la fusion d'aluminium on l'oriente à travers une conduite et on le décharge dans des moules prenant la forme d'une billette.

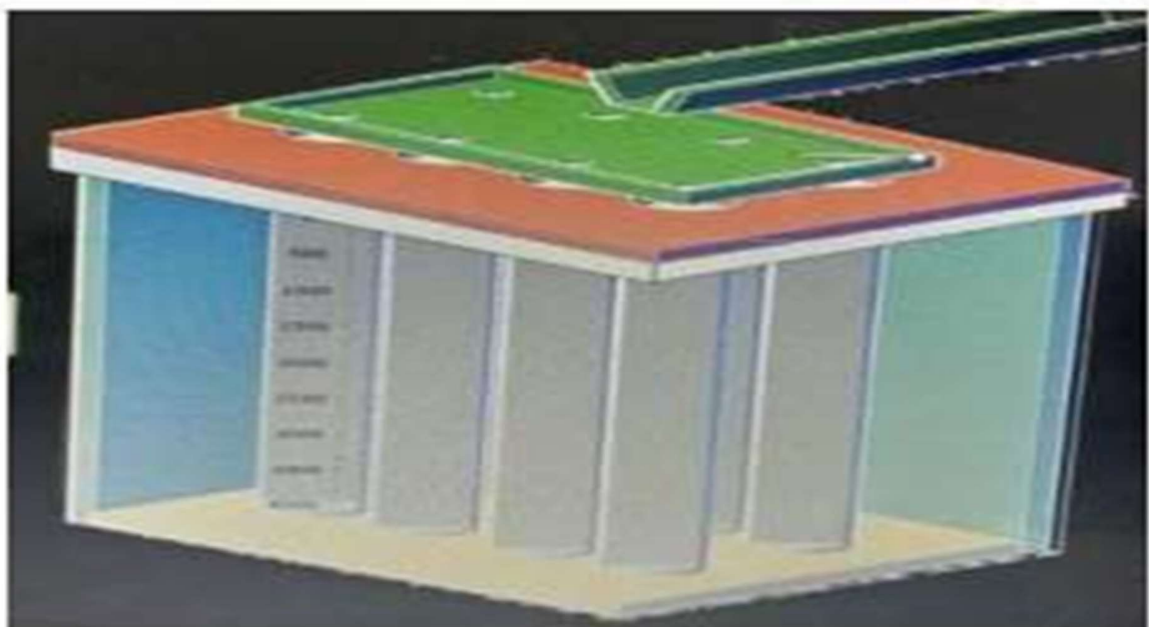


Figure 23. Moules des billettes.

III.6.3. Le four d'homogénéisation :

On oriente les billettes vers cette étape pour faire l'homogénéisation des phases de métal par le chauffage pour assurer la distribution uniforme pendant 7 heures de réchauffement et autre 4 heures de maintien sous haute température de 560 °C.



Figure 24. Four d'homogénéisation.

III.6.4. La chambre de refroidissement :

Après le réchauffement des billettes on les prend à une chambre de refroidissement, cette dernière assurée par turbo ventilateur.



Figure 25. Chambre de refroidissement.

III.6.5. Sciage et stockage des billettes :

Les deux bouts des billettes coulées par la machine de coulée ne sont pas lisses et possèdent une crique et un dépôt d'oxyde. Par conséquent, il y a lieu de couper leurs deux bouts. La machine à couper réservée à cet usage est généralement une scie circulaire. Pour le débitage du métal doux tel que l'aluminium, il faut que l'opération soit effectuée avec les dents plus espacées et à une grande vitesse de coupe.



Figure 26. Scie à billettes.

Cette étape c'est la dernière dans l'unité de recyclage et valorisation, donc on saute à l'unité de l'extrusion.

III.6.6. Unité d'extrusion :

L'extrusion est un processus de déformation plastique dans lequel un bloc de métal (Billette) est forcé à s'écouler par compression à travers l'ouverture de filière d'une Inférieure à celle de la billette d'origine, comme la montre la **Figure 27** L'extrusion est un procédé de compression directe.

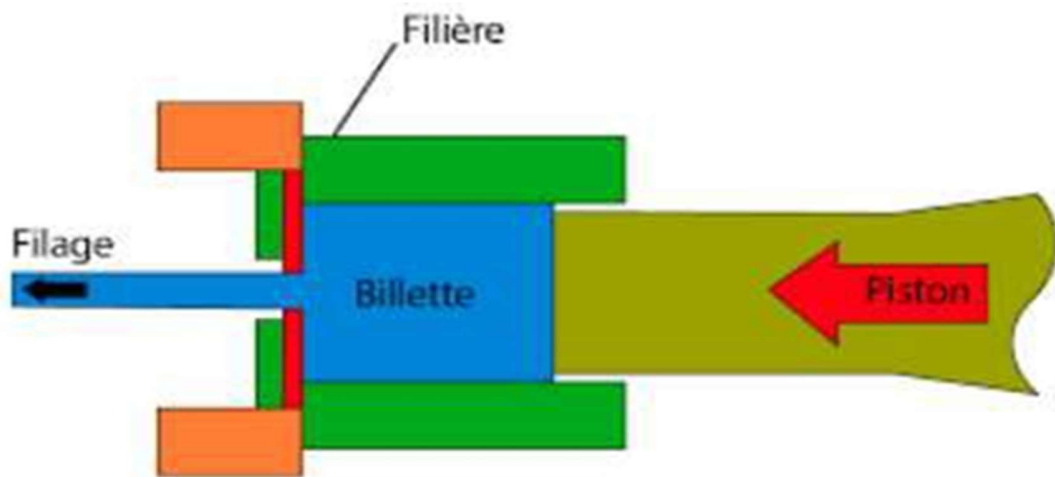


Figure 27.Principe d'extrusion.

III.6.7.L'unité de l'anodisation et laquage :

La coloration ou bien la peinture des profilés se fait dans cette unité, mais avant de faire ça il faut on fait polissage pour traiter la surface, elle retirera toute trace de coupe :

III.6.7.1. L'anodisation :

Elle s'agit d'une technique basée sur l'électrolyse qui dépose sur la surface de la pièce une couche protectrice alors les profilés devient plus durs et résistante.

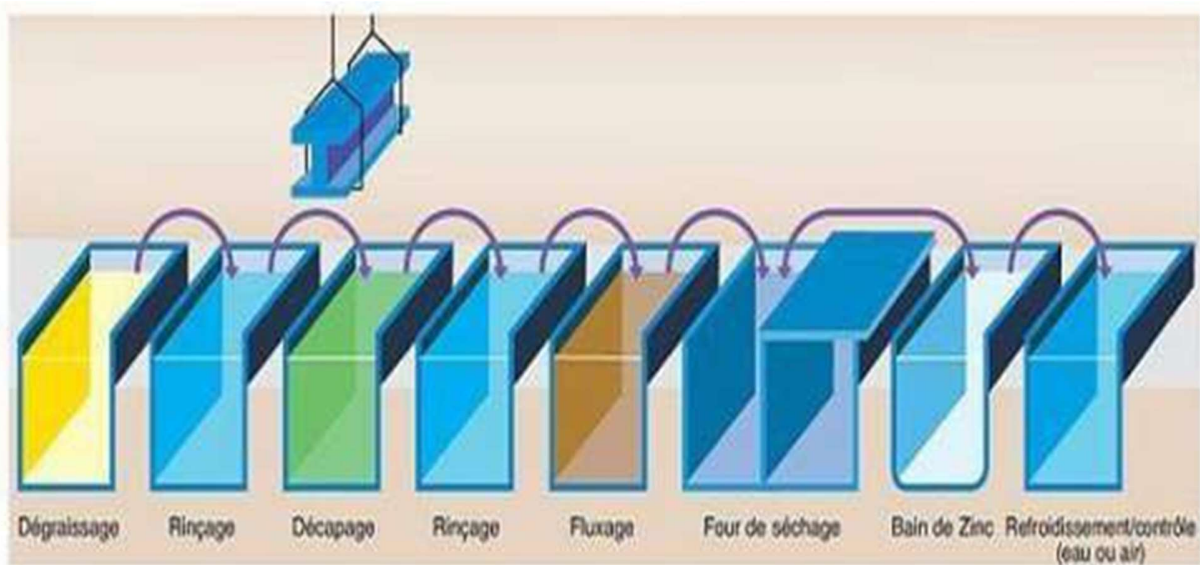


Figure 28.Principe de l'anodisation.

III.6.7.2. Laquage de l'aluminium :

Laquage de l'aluminium est un procédé par lequel on applique sur l'aluminium de la peinture (sous forme de poudre) qui est ensuite polymérisation et cuite. Avant de laquage, l'aluminium subi a différentes étapes de traitement de surface (le dégraissage), le laquage de l'aluminium permet d'obtenir une très vaste palette de couleurs et rend le matériau particulièrement résistant aux rayures et aux chocs, donne les profilés une excellente durée de vie.

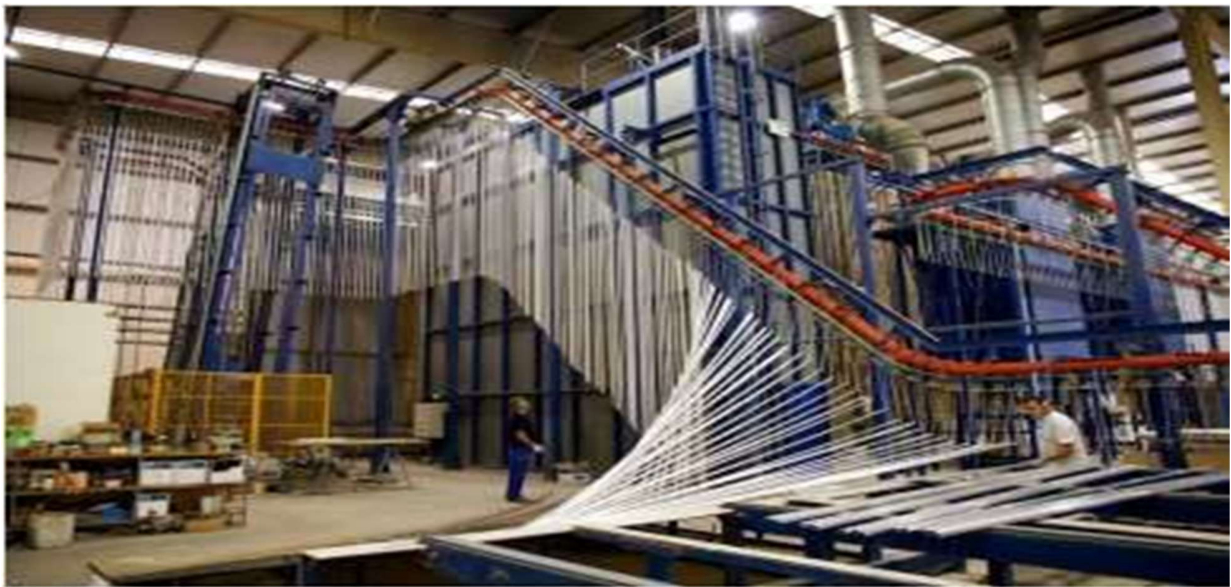


Figure 29.Principe de laquage.

III.7. Experience pratique :

Dans cette période de stage nous avons vue et appris et bénéficions par des nouvelles informations et des nouvelles expériences dans notre vie et parcours professionnelle, aussi comme des maintenanciers nous avons vue beaucoup choses dans notre domaine dans cette entreprise et leur service de maintenance et le plus important c'est que nous avons fait une combinaison entre le bagage théorique étudié dans notre parcours universitaire et le coté pratique qui nous avons vue dans ce stage.

En effet, dans cette entreprise le service de maintenance regroupe les deux types de maintenance la maintenance préventive et la maintenance corrective et dans ce stage nous avons vue ces deux types de maintenance.

Premièrement, dans la maintenance préventive cette entreprise avait un bon plan de maintenance préventive soit systématique ou conditionnelle pour ces grands équipements, cette entreprise avait un système moderne intelligent lié aux leur grands équipements qui donne des informations sur

l'équipement et leur état, et le plus important l'historique des pannes de ces équipements et le temps de la prévention de ces équipements, aussi l'entreprise « ALGAL PLUS » travaille avec un programme de maintenance qui s'appelle OPTIMINT qui saisie l'historique des panne des équipement et faire leur calcul de la fiabilité la disponibilité et la maintenabilité, pour nous c'était une bonne chose d'avoir tout ça ce qui nous donne des nouvelles informations des nouveaux bénéfices et des nouvelles expériences aussi une bonne projection de notre côté théorique étudié avec la réalité.

Deuxièmement, pour la maintenance corrective cette entreprise avait deux ateliers : un atelier mécanique et un atelier électrique, dans ces deux ateliers nous avons vu les procédés de comment faire la maintenance corrective avec ces deux types palliative ou curative soit mécanique ou électrique et comment réparer les équipements ou les matériels ou les pièces défectueuses, et comme toujours nous avons obtenu des nouvelles connaissances des nouveaux gains et aussi un bon mélange entre la théorie et la pratique.

III.8. Conclusion:

Dans ce chapitre, nous souhaitons présenter l'entreprise dans laquelle nous avons effectué notre stage, nommée ALGAL+. Pendant cette période de stage, nous avons pu recueillir des informations considérables sur les systèmes électromécaniques utilisés au sein de cette entreprise. Parmi ces systèmes, la pompe principale a attiré notre attention en raison de son importance dans le processus de production.

Dans le prochain chapitre, nous allons évaluer les paramètres de sécurité de fonctionnement tels que la fiabilité, la maintenabilité et la disponibilité de ces systèmes. À travers cette évaluation, nous aurons l'opportunité de formuler des recommandations pertinentes pour améliorer ces paramètres.

Nous sommes impatients de partager nos résultats et nos recommandations dans le prochain chapitre.

Chapitre IV. Application de l'analyse FMD sur la presse 1600T

IV.1. Introduction :

Afin de réaliser l'analyse des paramètres FMD (fiabilité, maintenabilité et disponibilité), il est nécessaire de sélectionner un système majeur dans l'industrie ainsi que son historique de pannes. L'évaluation de l'état de santé de la machine est effectuée en calculant sa fiabilité, sa maintenabilité et sa disponibilité. Dans le cadre de notre travail, nous avons choisi la presse de 1600 tonnes en raison de son importance au sein de l'entreprise ALGAL+.

Il est important de noter que l'analyse FMD nécessite l'utilisation d'outils statistiques et de logiciels spécialisés tels que Minitab ou d'autres outils d'analyse de la sûreté de fonctionnement. De plus, il est recommandé de travailler en collaboration avec les équipes de maintenance et d'exploitation de l'entreprise pour obtenir des données précises et pour mettre en œuvre les recommandations qui en découlent.

IV.2. Les pannes de la presse 1600T :

Notre stage chez ALGAL+ nous a permis de prendre l'historique des pannes de la presse 1600T pendant deux ans. Les tableaux ci-dessous montrent l'historique de pannes de trois machines (la presse, four à billette et table de refroidissement) de la presse 1600T (Tableaux 4, 5 et 6) :

Elements	TTR	DATE	TBF
Presse (pompe de refroidissement)	0:30:00	2021-01-13	1919.50
Presse (chargeur de billettes)	4:55:00	2021-04-03	691.08
Presse (pompe de refroidissement)	11:00:00	2021-05-02	1333.00
Presse (pompe principale)	1:45:00	2021-06-27	430.25
Presse (chargeur de billettes)	1:10:00	2021-07-15	310.83
Presse (pompe de refroidissement)	4:10:00	2021-07-28	1219.83
Presse (cisaille de culot)	3:15:00	2021-09-17	548.75
Presse (pompe principale)	12:35:00	2021-10-10	827.42
Presse (chargeur de billettes)	10:50:00	2021-11-14	1237.17
Presse (palan filière)	36:50:00	2022-01-05	1547.17

Presse (pompe de refroidissement)	12:50:00	2022-03-12	1259.17
Presse (pompe principale)	0:40:00	2022-05-04	719.33
Presse (chargeur de billettes)	1:40:00	2022-06-03	718.33
Presse (poussoir billettes)	2:00:00	2022-07-03	1222.00
Presse (pompe de refroidissement)	5:00:00	2022-08-23	1219.00
Presse (pompe principale)	8:30:00	2022-10-13	1767.50

Tableau 4. Historique des pannes de la presse.

Elements	TTR	DATE	TBF
Four a billettes (thermocouple)	13:40:00	2021-02-01	1018.33
Four a billettes (table billettes)	14:55:00	2021-03-16	1641.08
Four a billettes (thermocouple)	8:30:00	2021-05-24	567.50
Four a billettes (table billettes)	14:50:00	2021-06-17	1113.17
Four a billettes (four de filière)	14:55:00	2021-08-03	2025.08
Four a billettes (chaîne de table billettes)	15:00:00	2021-10-27	441.00
Four a billettes (le conduit de gaz enflammé)	11:45:00	2021-11-15	1620.25
Four a billettes (thermocouple)	10:35:00	2022-01-22	1981.42
Four a billettes (four a chauffe rapide)	31:35:00	2022-04-15	2056.42
Four a billettes (zone de rechauffage)	8:35:00	2022-07-11	1239.42
Four a billettes (four de filière)	11:50:00	2022-09-01	1260.17
Four a billettes (chaîne de table billettes)	3:30:00	2022-10-24	428.50
Four a billettes (thermocouple)	4:30:00	2022-11-11	1147.50
Four a billettes (Zone de rechauffage)	6:05:00	2022-12-29	

Tableau 5. Historique des pannes du four a billettes

Table de refroidissement (chaîne d'entraînement)	4:15:00	2021-01-01	1075.75
Table de refroidissement (vérin pneumatique)	1:45:00	2021-02-15	1318.25
Table de refroidissement (chaîne d'entraînement)	7:25:00	2021-04-11	1000.58
Table de refroidissement (réducteur)	2:13:00	2021-05-23	597.78
Table de refroidissement (réducteur)	9:45:00	2021-06-17	590.25
Table de refroidissement (vérin pneumatique)	0:35:00	2021-07-12	479.42
Table de refroidissement (chaîne d'entraînement)	3:05:00	2021-08-01	1892.92
Table de refroidissement (réducteur)	2:50:00	2021-10-19	765.17
Table de refroidissement (vérin pneumatique)	10:25:00	2021-11-20	1285.58
Table de refroidissement (palies à roulement)	1:45:00	2022-01-13	1534.25
Table de refroidissement (roulement d'entraînement)	2:05:00	2022-03-18	1197.92
Table de refroidissement (réducteur)	3:45:00	2022-05-07	1916.25
Table de refroidissement (axe d'entraînement)	2:30:00	2022-07-26	165.50
Table de refroidissement (réducteur)	3:15:00	2022-08-02	2468.75
Table de refroidissement (axe d'entraînement)	11:35:00	2022-11-13	1044.42
Table de refroidissement (réducteur)	5:45:00	2022-12-27	

Tableau 6. Historique des pannes de la table de refroidissement.

IV.3. Etude de FMD (Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité)

Pour réaliser une étude FMD (Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité) de la presse, du four à billette et de la table de refroidissement, il est nécessaire de collecter des données sur les temps de bon fonctionnement et les temps de panne de ces systèmes.

En utilisant ces données, on peut calculer les paramètres de la sûreté de fonctionnement, tels que la fiabilité, le taux de défaillance, la fonction de répartition, la densité de probabilité, la maintenabilité et la disponibilité.

En analysant les résultats de l'étude FMD, on peut identifier les machines ou équipements qui présentent des problèmes récurrents ou des performances insuffisantes. Cela permet de prendre des mesures correctives telles que des actions de maintenance préventive, l'amélioration de la qualité des pièces de rechange, l'optimisation des temps de réparation, etc., afin d'optimiser la performance et la disponibilité de la chaîne de production.

IV.3.1. Fiabilité

L'analyse des temps de bon fonctionnement et des temps de panne permet également d'évaluer la fiabilité de la presse, du four à billette et de la table de refroidissement. En comparant le temps de bon fonctionnement réel avec le temps de panne, on peut déterminer la proportion de temps pendant laquelle l'équipement est en état de fonctionnement, ce qui reflète sa fiabilité.

IV.3.1.1. Calcul de paramètres de la loi Weibull de trois systèmes

Les paramètres de la loi de WEIBULL de la presse, du four à billette et de la table de refroidissement par l'utilisation de logiciel Minitab 18 sont présentés par les figures suivantes (figure 30, 31 et 32) :

Les paramètres de la loi WEIBULL sont extrait depuis le logiciel Minitab 18 :

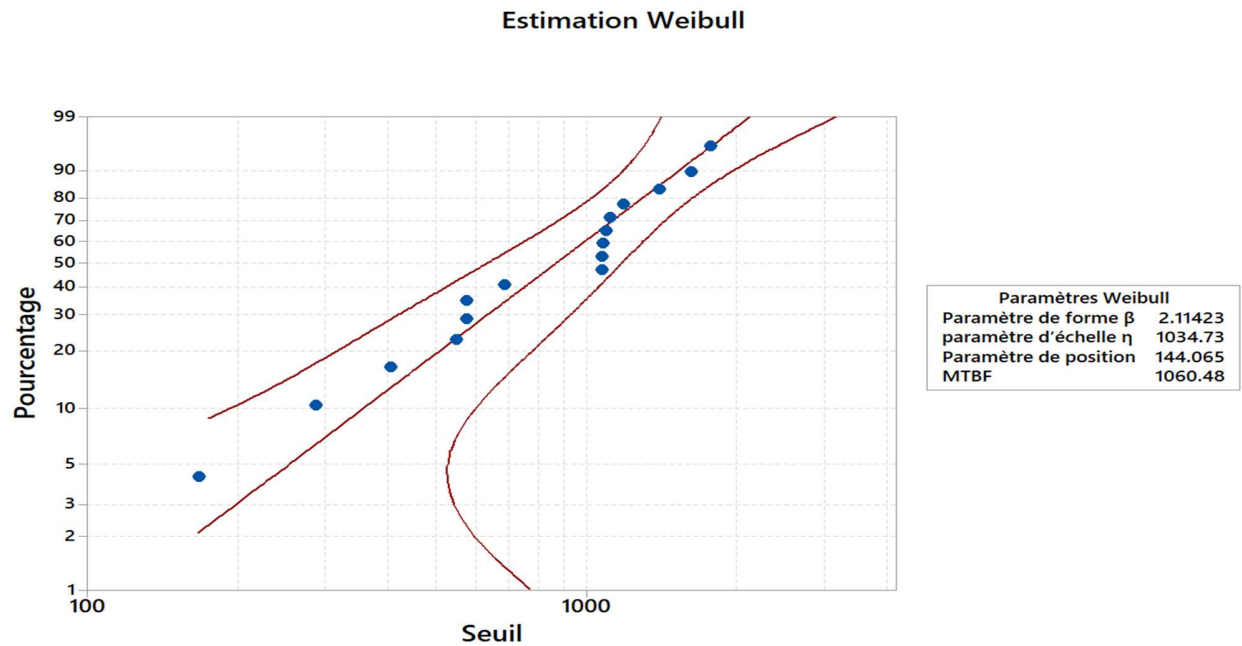


Figure 30.Détermination des parametres de la loi de Wiebull par l'utilisation du logiciel MINITAB. (presse)

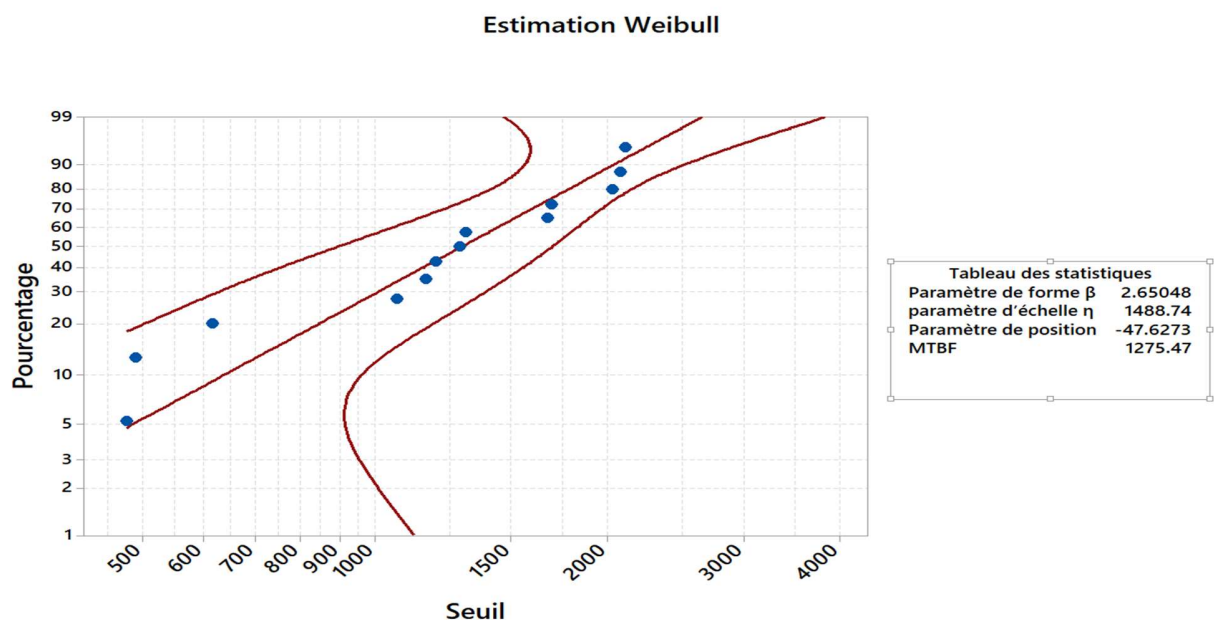


Figure 31.Détermination des parametres de la loi de Wiebull par l'utilisation du logiciel MINITAB (four a billettes).

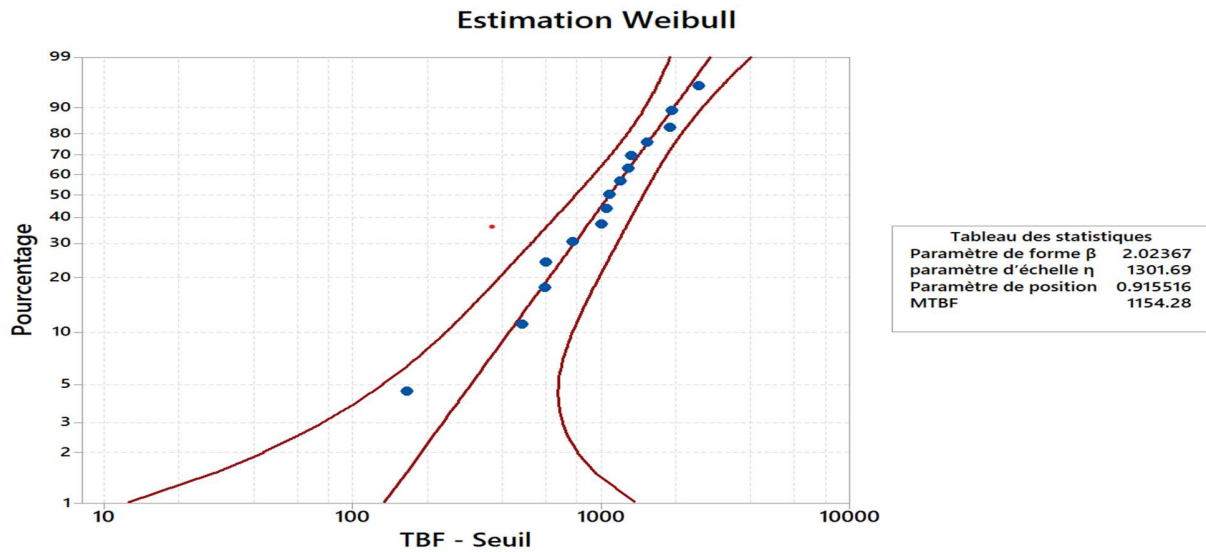


Figure 32. Détermination des paramètres de la loi de Weibull par l'utilisation du logiciel MINITAB (table de refroidissement).

IV.3.1.2. Test KOLMOGOROV SMIRNOV pour les trois systèmes:

Les tableaux suivants (tableau 7, 8 et 9) comportent les TBF classés par ordre croissant, et les $F(i)$ sont calculés par la méthode des rangs moyens :

$$f(i) = \frac{\sum N_i - 0.3}{N + 0.4}$$

On a $N \leq 20$, On affecte un rang " N_i " à chaque défaillance (approximation des rangs médians)

Et $F(t)$ est calculé par la formule suivant :

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

Nb	TBF (h)	F(i)	F(t)	Dn
1	310.83	0.0427	0.0209	0.0218
2	430.25	0.1037	0.0639	0.0397
3	548.75	0.1646	0.1284	0.0362
4	691.08	0.2256	0.2289	0.0032

5	718.33	0.2866	0.2502	0.0363
6	719.33	0.3476	0.251	0.0965
7	827.42	0.4085	0.3403	0.0682
8	1219.00	0.4695	0.6618	0.1923 $\Rightarrow D_{n,\max}$
9	1219.83	0.5305	0.6624	0.1319
10	1222.00	0.5915	0.6639	0.0725
11	1237.17	0.6524	0.6747	0.0223
12	1259.17	0.7134	0.6901	0.0233
13	1333.00	0.7744	0.7385	0.0359
14	1547.17	0.8354	0.851	0.0157
15	1767.50	0.8963	0.9251	0.0288
16	1919.50	0.9573	0.9564	0.001

Tableau 7. Test de Kolmogorov Smirnov de la presse.

D'après le tableau 7, la valeur maximale est : $D_{n,\max} = 0.1923$

D'après la table de Kolmogorov-Smirnov : $D_{n,\alpha} = 0.45427$

$0.1923 < 0.45427$ donc l'hypothèse du modèle de Weibull est acceptable.

Nb	TBF (heure)	F(i)	F(t)	Dn
1	428.50	0.0522	0.0708	0.0185
2	441.00	0.1269	0.0756	0.0513
3	567.50	0.2015	0.1347	0.0667
4	1018.33	0.2761	0.4629	0.1867
5	1113.17	0.3507	0.5411	0.1904

6	1147.50	0.4254	0.569	0.1436
7	1239.42	0.5	0.6409	0.1409
8	1260.17	0.5746	0.6565	0.0819
9	1620.25	0.6493	0.8694	0.2202 $\Rightarrow D_{n,max}$
10	1641.08	0.7239	0.878	0.1542
11	1981.42	0.7985	0.9674	0.1689
12	2025.08	0.8731	0.9733	0.1001
13	2056.42	0.9478	0.9769	0.0292

Tableau 8. Test de Kolmogorov Smirnov du four à billettes.

D'après le tableau 7, la valeur maximale est : $D_{n,max} = 0.2202$

D'après la table de Kolmogorov-Smirnov : $D_{n,\alpha} = 0.43001$

$0.2202 < 0.43001$ donc l'hypothèse du modèle de Weibull est acceptable.

Nb	TBF (heure)	F(i)	F(t)	Dn
1	165.50	0.0455	0.0151	0.03035
2	479.42	0.1104	0.1236	0.01323
3	590.25	0.1753	0.1822	0.0069
4	597.78	0.2403	0.1865	0.05377
5	765.17	0.3052	0.2885	0.01669
6	1000.58	0.3701	0.4435	0.07338
7	1044.42	0.4351	0.4723	0.03726
8	1075.75	0.5	0.4927	0.00727
9	1197.92	0.5649	0.57	0.00505
10	1285.58	0.6299	0.6223	0.00755

11	1318.25	0.6948	0.641	0.0538
12	1534.25	0.7597	0.7517	0.00808
13	1892.92	0.8247	0.8813	0.05666 $\Rightarrow D_{n,max}$
14	1916.25	0.8896	0.8875	0.00209
15	2468.75	0.9545	0.974	0.01944

Tableau 9. Test de Kolmogorov Smirnov de la table de refroidissement.

D'après le tableau 7, la valeur maximale est : $D_{n,max} = 0.05666$

D'après la table de Kolmogorov-Smirnov : $D_{n,\alpha} = 0.36143$

$0.05666 < 0.36143$ donc l'hypothèse du modèle de Weibull est acceptable.

IV.3.1.3. Calcul de $F(t)$, $R(t)$, $f(t)$, $\lambda(t)$ de trois systèmes :

Les tableaux suivants montrent les calculs de la fonction de répartition, de la fonction de fiabilité, de la fonction de distribution et du taux de défaillance (tableaux 10, 11 et 12) :

Nb	TBF (h)	F(t)	R(t)	f(t)	$\lambda(t)$
1	310.83	0.0209	0.9791	0.0003	0.0008
2	430.25	0.0639	0.9361	0.0005	0.0011
3	548.75	0.1284	0.8716	0.0006	0.0013
4	691.08	0.2289	0.7711	0.0008	0.0016
5	718.33	0.2502	0.7498	0.0008	0.0017
6	719.33	0.251	0.749	0.0008	0.0017
7	827.42	0.3403	0.6597	0.0008	0.0019
8	1219.00	0.6618	0.3382	0.0007	0.0028

9	1219.83	0.6624	0.3376	0.0007	0.0028
10	1222.00	0.6639	0.3361	0.0007	0.0028
11	1237.17	0.6747	0.3253	0.0007	0.0028
12	1259.17	0.6901	0.3099	0.0007	0.0029
13	1333.00	0.7385	0.2615	0.0006	0.003
14	1547.17	0.851	0.149	0.0004	0.0035
15	1767.50	0.9251	0.0749	0.0003	0.004
16	1919.50	0.9564	0.0436	0.0002	0.0044

Tableau 10. Calcul de $F(t)$, $R(t)$, $f(t)$, $\lambda(t)$ de la presse.

Nb	TBF (h)	$F(t)$	$R(t)$	$f(t)$	$\lambda(t)$
1	428.50	0.0708	0.9524	0.0004	0.0004
2	441.00	0.0756	0.9491	0.0004	0.0004
3	567.50	0.1347	0.9084	0.0005	0.0006
4	1018.33	0.4629	0.6619	0.0008	0.0015
5	1113.17	0.5411	0.5962	0.0008	0.0018
6	1147.50	0.569	0.572	0.0008	0.0019
7	1239.42	0.6409	0.5067	0.0008	0.0021
8	1260.17	0.6565	0.492	0.0007	0.0022
9	1620.25	0.8694	0.2588	0.0004	0.0032
10	1641.08	0.878	0.2474	0.0004	0.0033
11	1981.42	0.9674	0.1031	0.0001	0.0045

12	2025.08	0.9733	0.0903	0.0001	0.0046
13	2056.42	0.9769	0.0819	0.0001	0.0047

Tableau 11. Calcul de $F(t)$, $R(t)$, $f(t)$, $\lambda(t)$ du four à billettes

Nb	TBF (heure)	$F(t)$	$R(t)$	$f(t)$	$\lambda(t)$
1	165.50	0.0151	0.9849	0.0002	0.00019
2	479.42	0.1236	0.8764	0.0005	0.00056
3	590.25	0.1822	0.8178	0.0006	0.00069
4	597.78	0.1865	0.8135	0.0006	0.0007
5	765.17	0.2885	0.7115	0.0006	0.0009
6	1000.58	0.4435	0.5565	0.0007	0.00119
7	1044.42	0.4723	0.5277	0.0007	0.00124
8	1075.75	0.4927	0.5073	0.0006	0.00128
9	1197.92	0.57	0.43	0.0006	0.00143
10	1285.58	0.6223	0.3777	0.0006	0.00153
11	1318.25	0.641	0.359	0.0006	0.00157
12	1534.25	0.7517	0.2483	0.0005	0.00184
13	1892.92	0.8813	0.1187	0.0003	0.00228
14	1916.25	0.8875	0.1125	0.0003	0.00231
15	2468.75	0.974	0.026	8E-05	0.00299

Tableau 12. Calcul de $F(t)$, $R(t)$, $f(t)$, $\lambda(t)$ de la table de refroidissement).➤ **MTBF de la presse :**

D'après la figure 30, nous constatons que le MTBF.

$$MTBF = 1060.5 \text{ h}$$

➤ **Fonction de répartition de la presse pour MTBF :**

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

$$F(MTBF) = 0.5387 = 53.87\%$$

- **Fiabilité de la presse pour MTBF :**

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

$$R(MTBF) = e^{\left[-\left(\frac{1060.5-144.065}{1034.73}\right)^{2.11423}\right]}$$

$$R(MTBF) = 0.4613 = 46.13\%$$

- **Densité de probabilité de la presse pour MTBF :**

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

$$f(MTBF) = \frac{2.11423}{1034.73} \left(\frac{1060.5-144.065}{1034.73}\right)^{2.114} e^{\left[-\left(\frac{1060.5-144.065}{1034.73}\right)^{2.11423}\right]}$$

$$f(MTBF) = 0.0008 = 0.08\%$$

- **Taux de défaillance de la presse pour MTBF**

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

$$\lambda(MTBF) = \frac{2.11423}{1034.73} \left(\frac{1060.5-144.065}{1034.73}\right)^{2.11423}$$

$$\lambda(MTBF) = 0.0024 \frac{\text{panne}}{h}$$

- **Calcul du temps souhaitable pour une intervention systématique de la presse**

$$R(t) = 75\% \Rightarrow t = ?$$

$$R(t) = e^{\left(-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta\right)} \Rightarrow \ln R(t) = \left(-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta\right) = \ln(0.75)$$

$$[\ln R(t)]^{1/\beta} = \frac{t}{\eta} \Rightarrow t = \eta [\ln(1/R(t))]^{1/\beta}$$

$$t = 1034.73 [\ln(1/0.75)]^{1/2.11423}$$

$$t = 430 \text{ h}$$

Pour optimiser la fiabilité de la presse à 75%, il faut intervenir à chaque 430 h.

➤ **MTBF du four à billettes**

D'après la figure 31, nous constatons que le MTBF :

$$MTBF = 1154.3 \text{ H}$$

➤ **Fonction de répartition du four à billettes pour MTBF**

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

$$F(t) = 0.5429 = 54.29\%$$

➤ **Fiabilité du four à billettes pour MTBF :**

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

$$R(t = MTBF) = e^{\left[-\left(\frac{1154.3 - 0.915516}{1301.69}\right)^{2.02367}\right]}$$

$$R(t = MTBF) = 0.4570 = 45.70\%$$

➤ **Densité de probabilité du four à billettes pour MTBF**

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

$$f(MTBF) = \frac{2.02367}{1301.69} \left(\frac{1154.28 - 0.915516}{1301.69}\right)^{2.02367} e^{\left[-\left(\frac{(1154 - 0.915516)}{1301.69}\right)^{2.02367}\right]}$$

$$f(MTBF) = 0.0006 = 0.06\%$$

➤ **Taux de défaillance du four à billettes pour MTBF**

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

$$\lambda(MTBF) = \frac{2.02367}{1301.69} \left(\frac{1154.28 - 0.915516}{1301.69}\right)^{2.02367-1}$$

$$\lambda(MTBF) = 0.0013 \frac{\text{panne}}{\text{min}}$$

- **Calcul du temps souhaitable pour une intervention systématique du four à billettes**

$$R(t) = 75\% \Rightarrow t = ?$$

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \Rightarrow \ln R(t) = -\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta = \ln(0.75)$$

$$[\ln R(t)]^{1/\beta} = -\frac{t}{\eta} \Rightarrow t = \eta[-\ln R(t)]^{1/\beta}$$

$$t = 1301.69[\ln(1/0.75)]^{1/2.0237}$$

$$t = 703.29 \text{ heures}$$

Pour optimiser la fiabilité du four à billettes 75% il faut intervenir à chaque 703.29 heure

- **MTBF de la table de refroidissement**

D'après la figure 31, nous constatons que le MTBF

$$MTBF = 1275.47 \text{ H}$$

- **Fonction de répartition de la table refroidissement pour MTBF**

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

$$F(MTBF) = 0.6678 = 66.78\%$$

- **Fiabilité de la table de refroidissement pour MTBF :**

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

$$R(MTBF) = e^{-\left(\frac{1275.47 + 47.6273}{1488.74}\right)^{2.65048}}$$

$$R(MTBF) = 0.3322 = 33.22\%$$

- **Densité de probabilité de la table de refroidissement pour MTBF**

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

$$f(MTBF) = \frac{2.65048}{1488.74} \left(\frac{1275.47 + 47.6273}{1488.74}\right)^{2.65048-1} e^{-\left(\frac{1275.47 + 47.6273}{1488.74}\right)^{2.65048}}$$

$$f(t = MTBF) = 0.0007 = 0.07\%$$

- Taux de défaillance de la table de refroidissement pour MTBF :

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

$$\lambda(\text{MTBF}) = \frac{2.65048}{1488.74} \left(\frac{1275.47 + 47.6273}{1488.74} \right)^{2.65048}$$

$$\lambda(\text{MTBF}) = 0.0022 \frac{\text{panne}}{\text{heure}}$$

- Calcul du temps souhaitable pour une intervention systématique pour la table de refroidissement

$$R(t) = 75\% \Rightarrow t = ?$$

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \Rightarrow \ln R(t) = -\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta = \ln(0.75)$$

$$[\ln R(t)]^{1/\beta} = -\frac{t}{\eta} \Rightarrow t = \eta [|\ln R(t)|]^{1/\beta}$$

$$t = 1488.74 \left[\ln \left(\frac{1}{0.75} \right) \right]^{\frac{1}{2.65048}} + \gamma$$

$$t = 978 \text{ h}$$

Pour optimiser la fiabilité de la table de refroidissement 75%, il faut intervenir à chaque 978h.

IV.3.1.4. Courbe de F(t), R(t), f(t), λ(t) :

À partir des données des tableaux 10, 11 et 12, nous pouvons tracer les courbes de F(t), R(t), f(t) et λ(t) pour la presse, le four à billettes et la table de refroidissement. Les résultats de simulation sont montrés dans les figures ci-dessous :

Les figures suivantes montrent les représentations graphiques de F(t), R(t), f(t) et λ(t) par l'utilisation des résultats de calcul du tableau 10 de la presse (figure 33, 34, 35 et 36) :

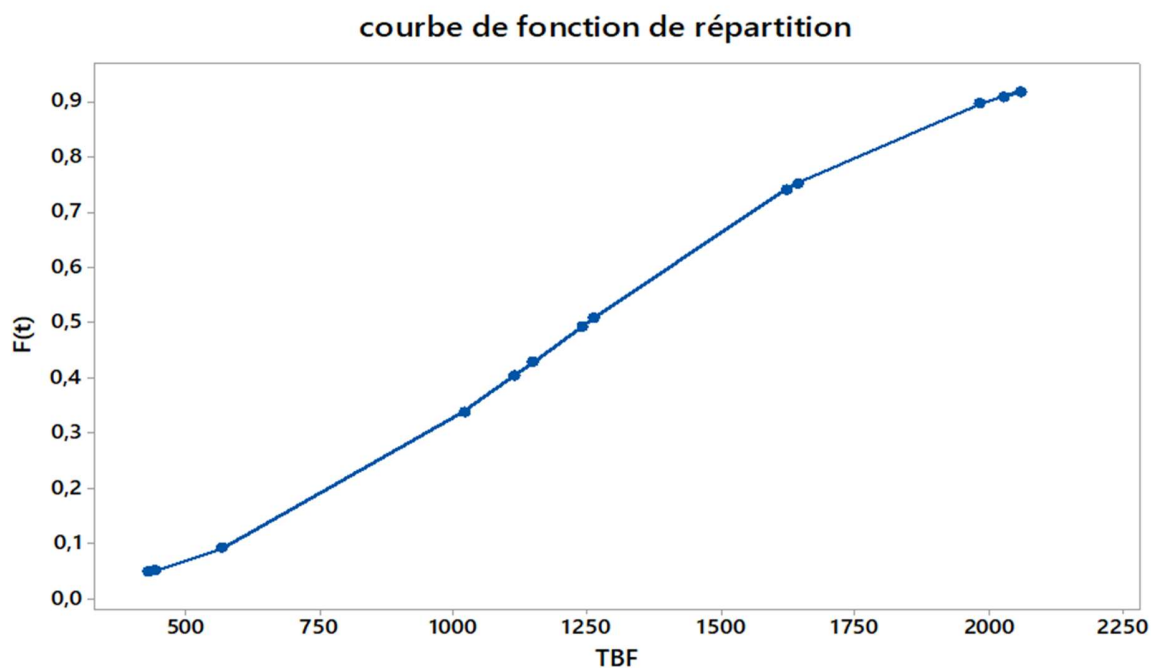


Figure 33. La fonction de répartition en fonction de TBF de la presse.

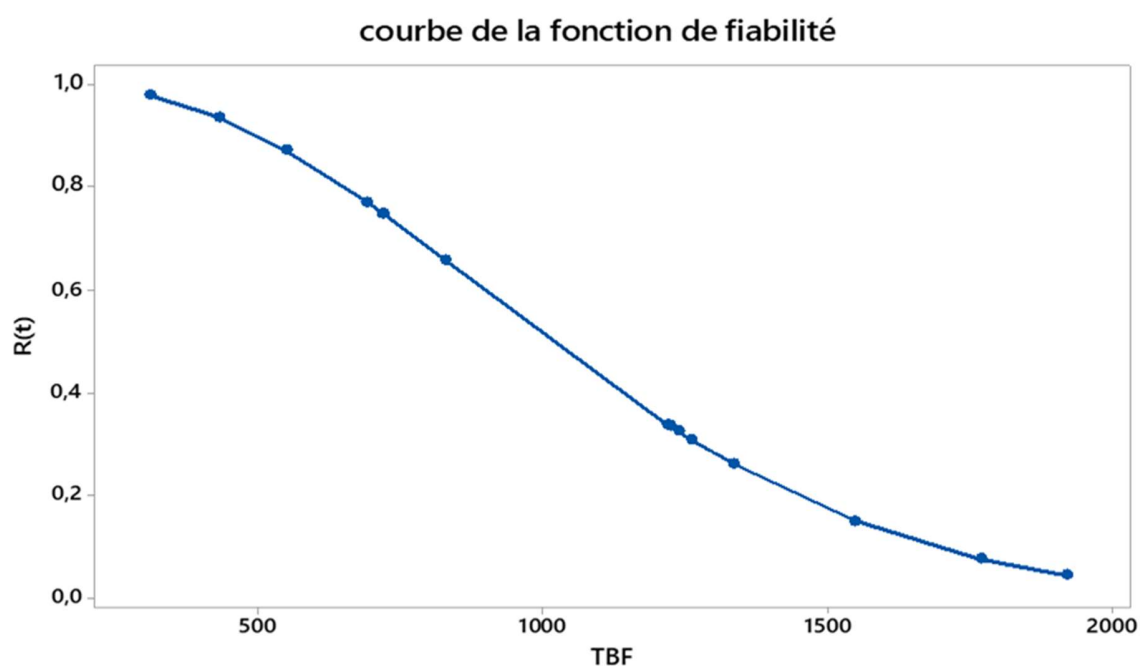


Figure 34.. La fonction de fiabilité en fonction de TBF de la presse.

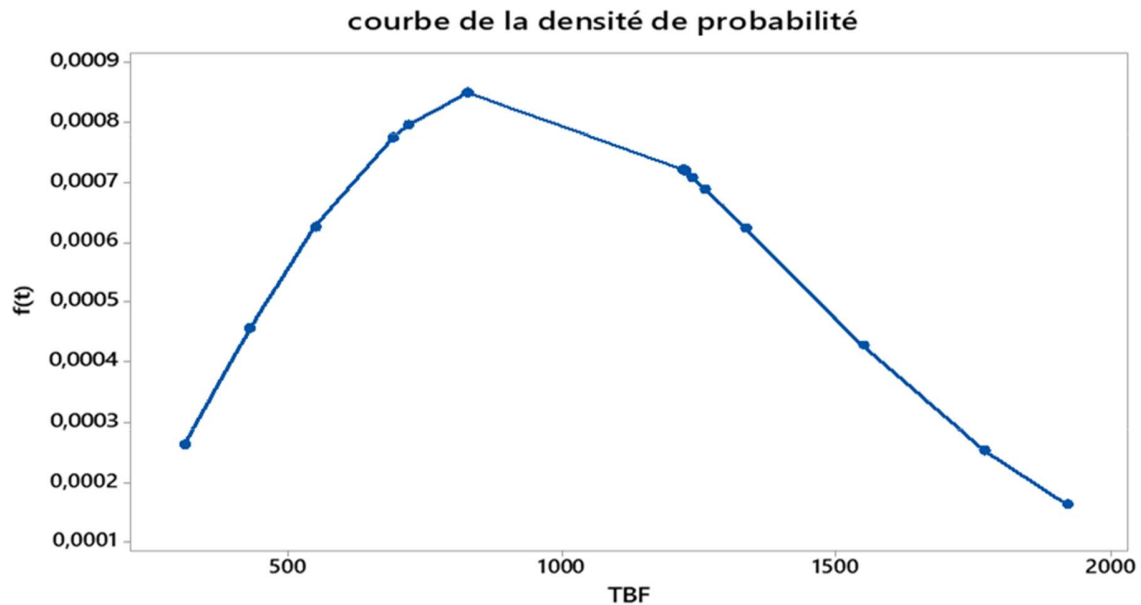


Figure 35. La fonction de la densité de probabilité en fonction de TBF de la presse

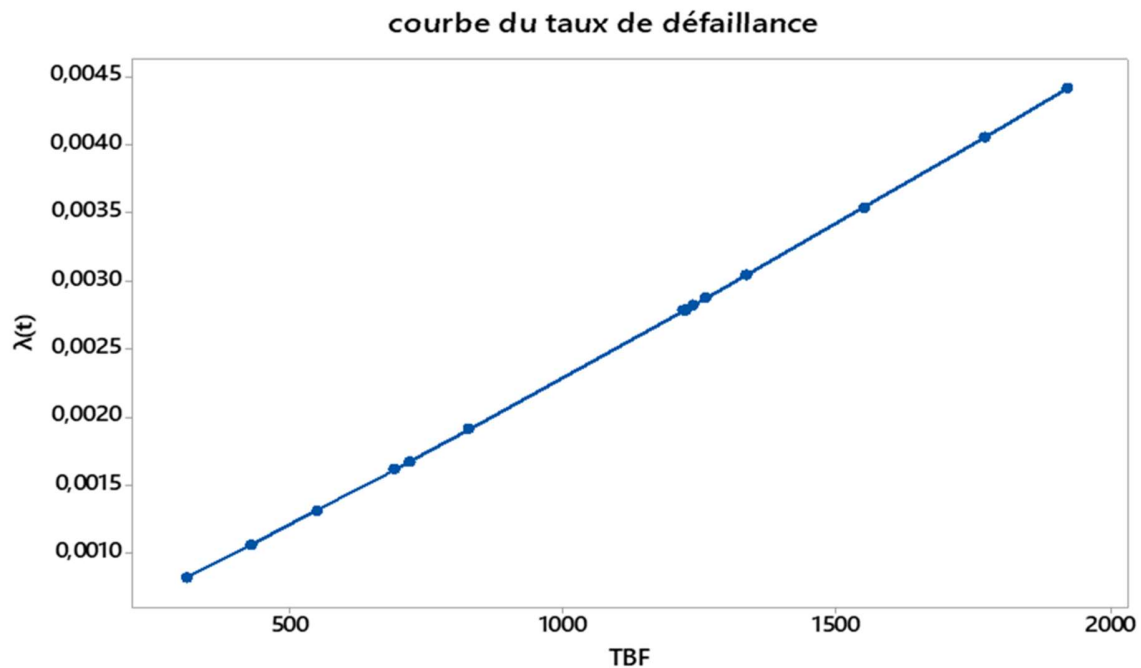


Figure 36.. La fonction du taux de défaillance en fonction de TBF de la presse.

- Les figures ci-dessous illustrent les représentations graphiques de $F(t)$, $R(t)$, $f(t)$ et $\lambda(t)$ par l'utilisation des résultats de calcul du tableau 11 du four à billettes (figure 37, 38, 39 et 40) :

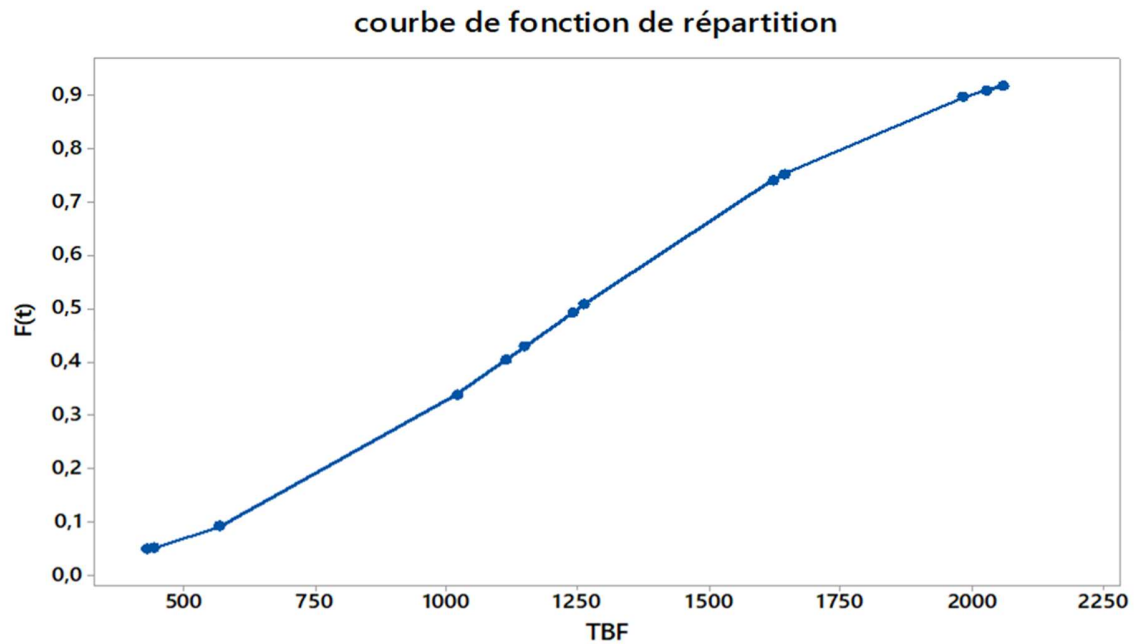


Figure 37 La fonction de répartition en fonction de TBF du Four a billettes

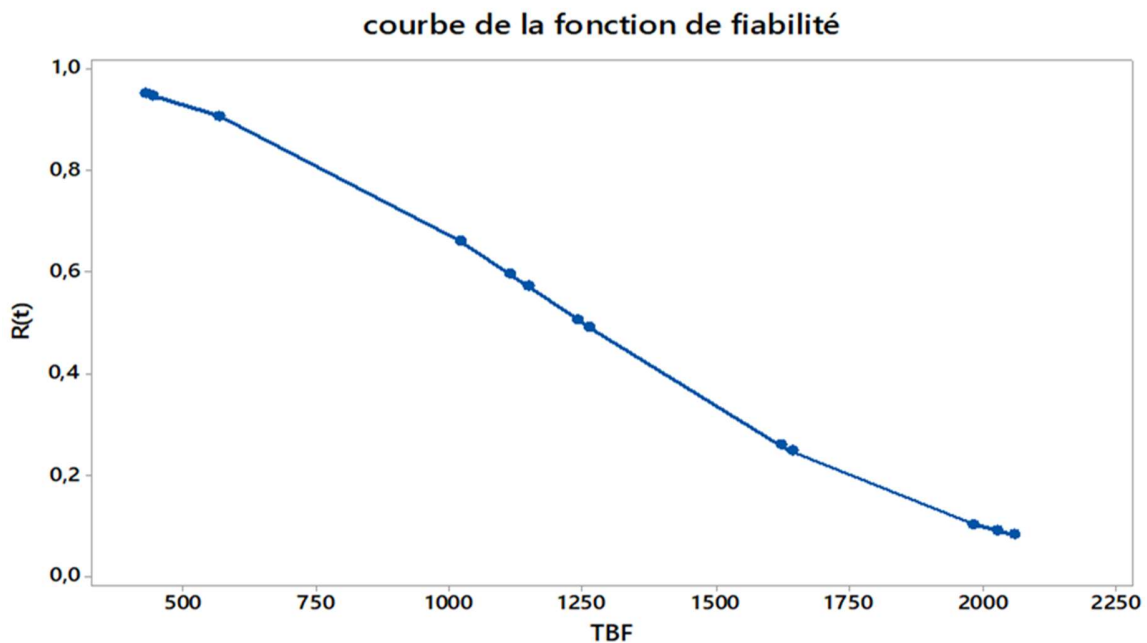


Figure 38. La fonction de fiabilité en fonction de TBF du four a billettes.

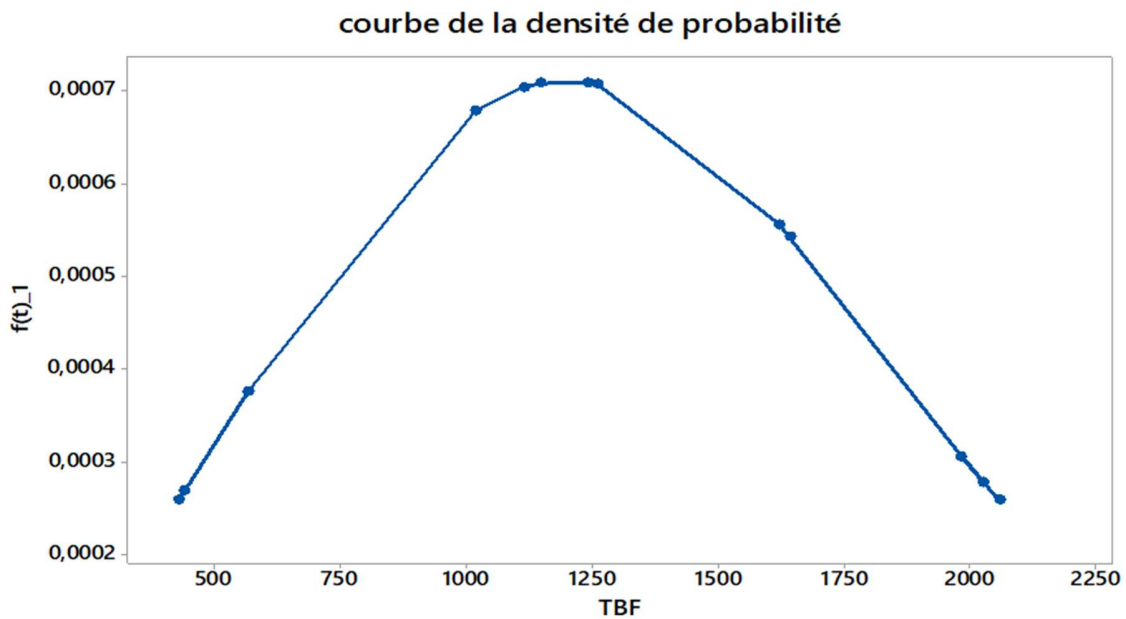


Figure 39. La fonction de la densité de probabilité en fonction de TBF du four a billettes

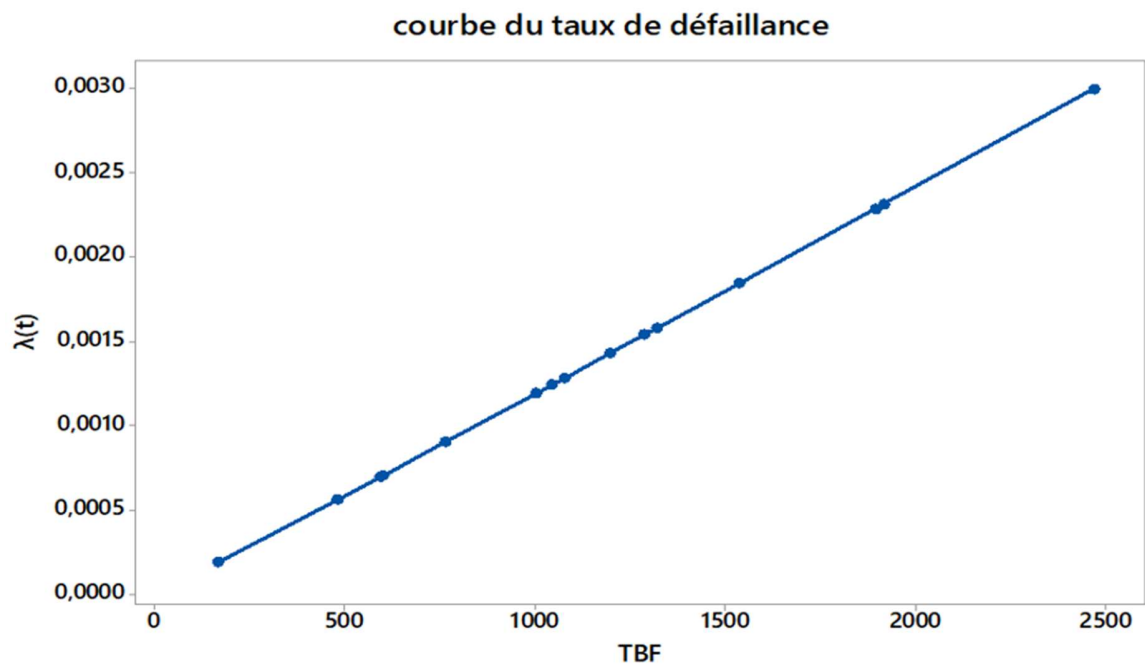


Figure 40. La fonction du taux de défaillance en fonction de TBF du Four a billettes.

- Les figures ci-dessous illustrent les représentations graphiques de $F(t)$, $R(t)$, $f(t)$ et $\lambda(t)$ par l'utilisation des résultats de calcul du tableau 11 du four à billettes (figure 41, 42, 43 et 44) :

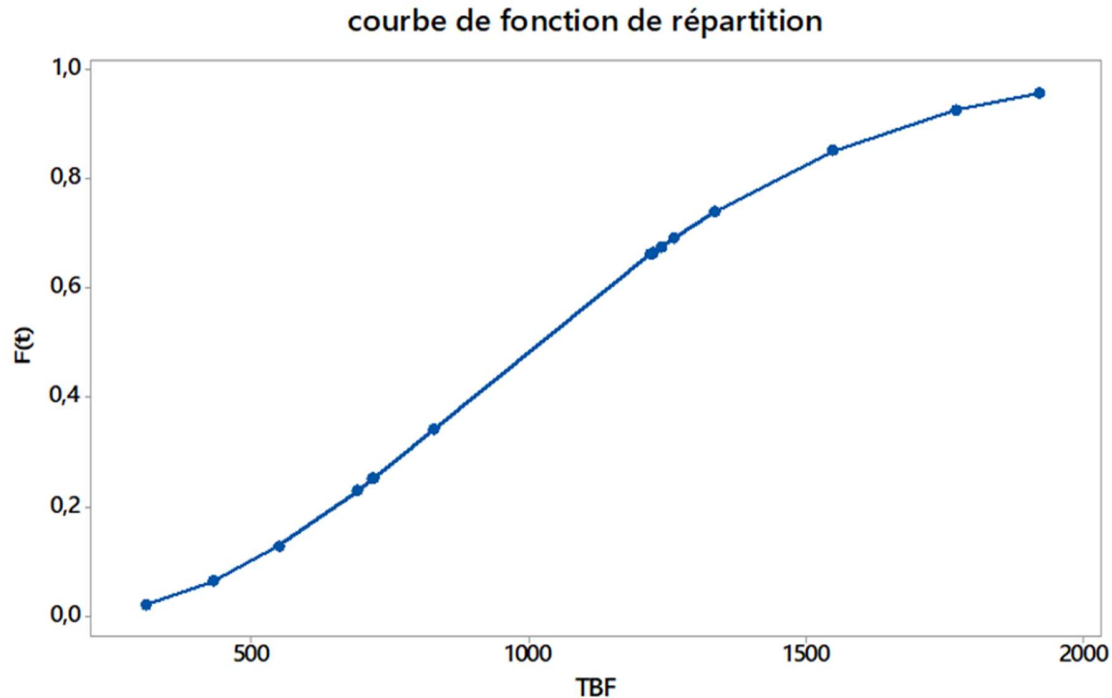


Figure 41. La fonction de répartition en fonction de TBF de la table de refroidissement

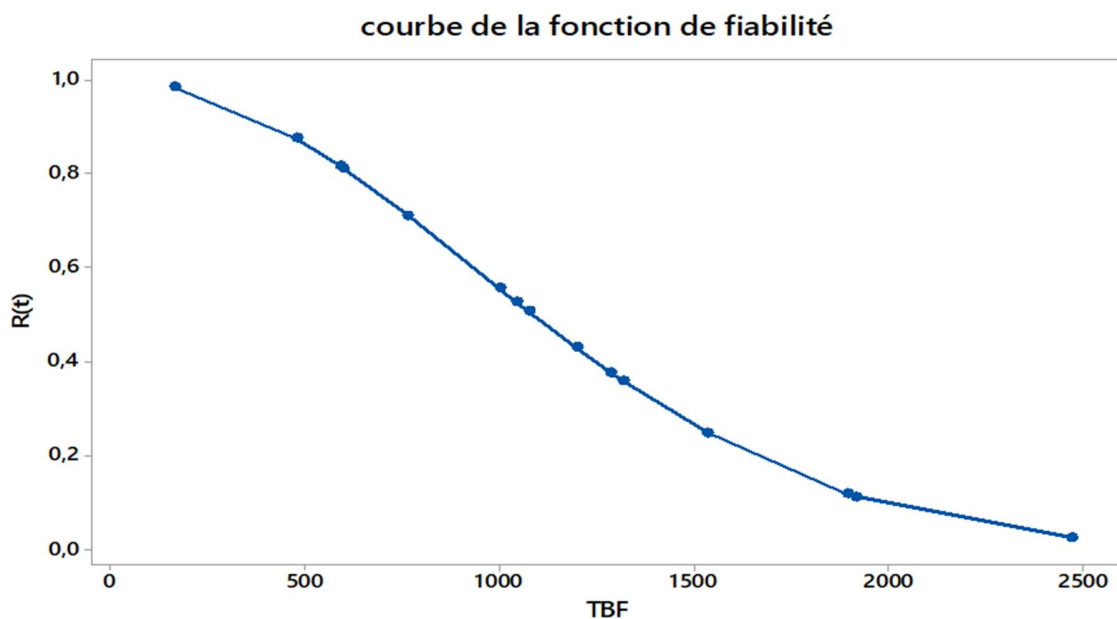


Figure 42. La fonction de fiabilité en fonction de TBF de la table de refroidissement

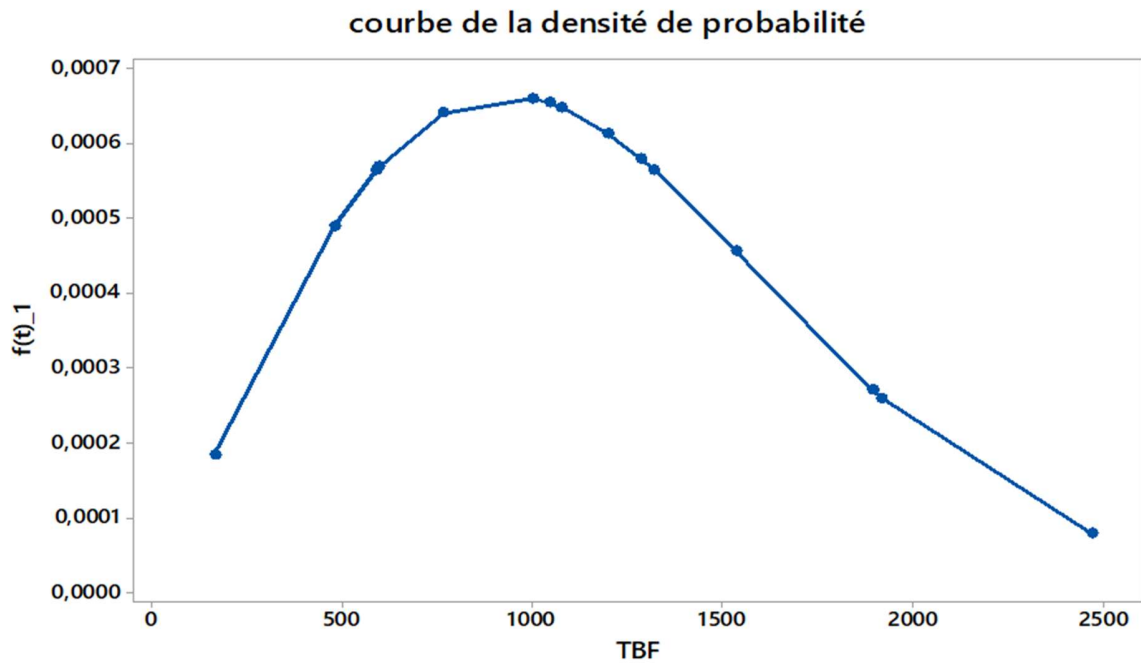


Figure 43. La fonction de la densité de probabilité en fonction de TBF de la table de refroidissement

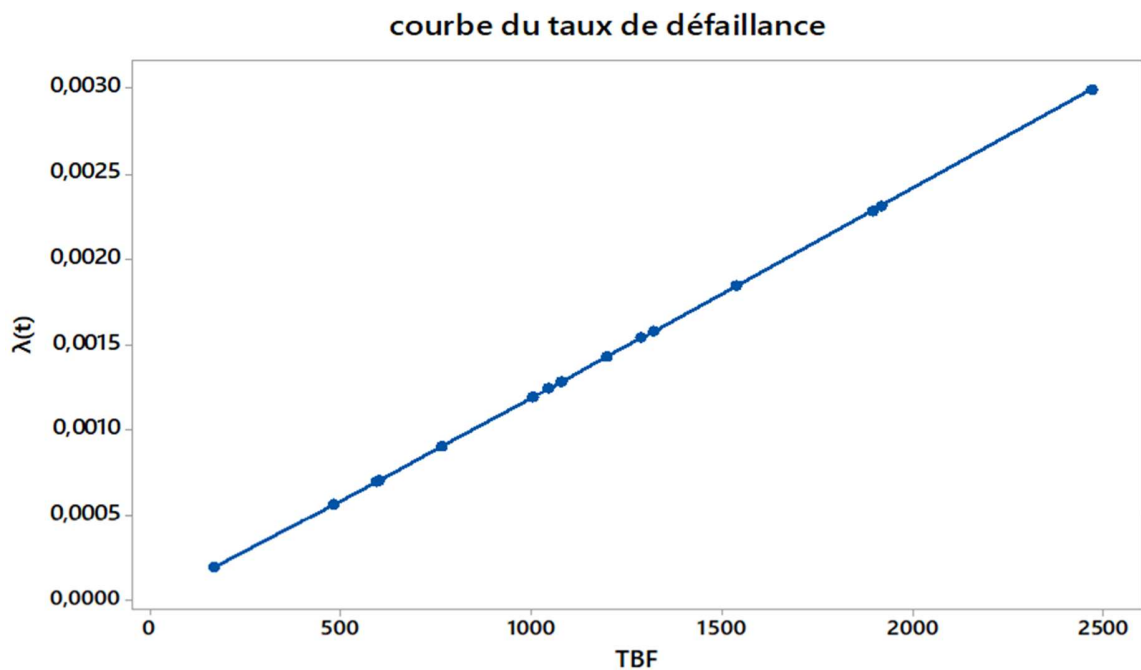


Figure 44.. La fonction du taux de défaillance en fonction de TBF de la table de refroidissement

Interprétation des résultats :

Les courbes des figures 33, 37 et 41 précédentes représentent la fonction de répartition $F(t)$ de la presse, du four à billettes et de la table de refroidissement en fonction du temps de bon fonctionnement. Selon ces courbes, on observe que la fonction de répartition augmente avec le temps c'est-à-dire elle est une fonction croissante.

Les courbes des figures 34, 38 et 42 précédentes illustrent la fonction de fiabilité $R(t)$ de la presse, du four à billettes et de la table de refroidissement en fonction de temps de bon fonctionnement. Elle est complémentaire à la courbe de $F(t)$ et représente la probabilité que l'équipement survive (fonctionne) au-delà d'un certain temps t , ma fiabilité est une fonction décroissante avec le temps.

Les courbes des figures 35, 39 et 43 précédentes montrent la fonction de densité de probabilité $f(t)$ de la presse, du four à billettes et de la table de refroidissement en fonction du temps de bon fonctionnement, c'est-à-dire la probabilité qu'une défaillance se produise à un certain moment t . La fonction de densité de probabilité est utilisée pour analyser le comportement de défaillance d'un système, identifier les périodes de risque élevé de défaillance et évaluer les mesures de maintenance préventive à prendre pour améliorer la fiabilité du système.

Les courbes des figures 36, 40 et 44 précédentes montrent le taux de défaillance de la presse, du four à billettes et de la table de refroidissement au cours du temps. Le taux de défaillance peut être faible au départ, puis augmenter progressivement au fil du temps. Cela peut indiquer une usure ou une dégradation progressive des équipements avec l'âge, nécessitant une attention particulière en termes de maintenance préventive ou de remplacement des composants usés

IV.3.2. Calcule la maintenabilité :

La maintenabilité en fonction du taux de réparation est donnée par la formule suivante :

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

D'après l'historique de panne, on peut calculer la maintenabilité et les résultats de calculs et de simulation sont présentés par le tableau IV.10 et on a aussi la moyenne du temps de réparation exprimé par :

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

1. Calcul de MTTR de la presse :

$$MTTR = \frac{\Sigma TTR}{N} = \frac{114.8}{16} = 7.144 \text{ H}$$

Avec

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

$$\mu = \frac{1}{7.144} = 0.14 \text{ intervention /h}$$

2. Calcul de MTTR de la table de refroidissement :

$$MTTR = \frac{\Sigma TTR}{N} = \frac{64.33}{15} = 4.2887 \text{ H}$$

Avec

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

$$\mu = \frac{1}{4.2887} = 0.2331 \text{ intervention /h}$$

3. Calcul de MTTR de la Four à billettes :

$$MTTR = \frac{\Sigma TTR}{N} = \frac{160.90}{13} = 12.38 \text{ H}$$

Avec

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

$$\mu = \frac{1}{12.38} = 0.0808 \text{ intervention /h}$$

Le tableau suivant montre les résultats de calcul de la maintenabilité pour la presse, le four à billettes et la table de refroidissement (voir tableau 13) :

	Presse		table de refroidissement		Four à billettes	
NB	TTR (H)	M(t)	TTR (H)	M(t)	TTR (H)	M(t)
1	0.3	0.0411	0.35	0.6321	3.3	0.2340
2	0.4	0.0545	1.45	0.2868	4.3	0.2935
3	1.1	0.1427	1.45	0.2868	8.3	0.4886
4	1.4	0.178	2.05	0.3799	8.35	0.4907

5	1.45	0.1837	2.13	0.3799	10.35	0.5667
6	2	0.2442	2.3	0.3914	11.45	0.6035
7	3.15	0.3566	2.5	0.4150	11.5	0.6051
8	4.1	0.4367	3.05	0.4417	13.4	0.6613
9	4.55	0.4711	3.15	0.5089	14.5	0.6901
10	5	0.5034	3.45	0.5202	14.55	0.6914
11	8.5	0.6957	4.15	0.6200	14.55	0.6914
12	10.5	0.77	7.25	0.8155	15	0.7024
13	11	0.7856	9.45	0.8895	31.35	0.9206
14	12.35	0.8225	10.25	0.9083		
15	12.5	0.8262	11.35	0.9291		
16	36.5	0.994				

Tableau 13.Calculs de la maintenabilité.

Pour présenter graphiquement la maintenabilité de la presse, du four à billettes et de la table de refroidissement, on utilise les résultats du tableau 13 et les résultats de simulation de la maintenabilité en fonction du temps de réparation sont présentés sur les figures suivantes (figure 45, 46 et 47) :

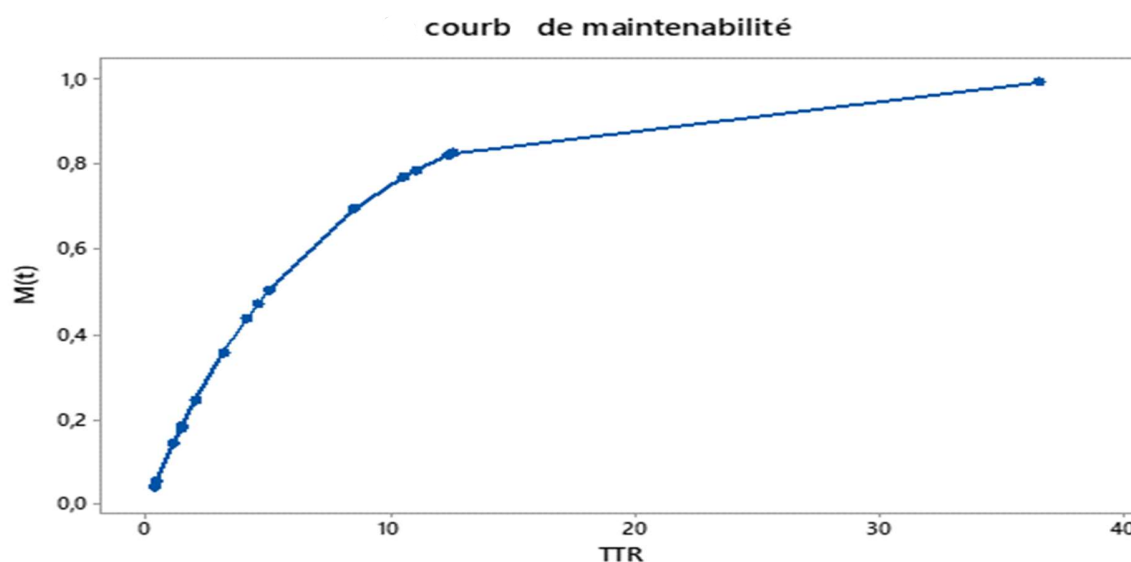


Figure 45.La maintenabilité en fonction du temps de réparation pour la presse.

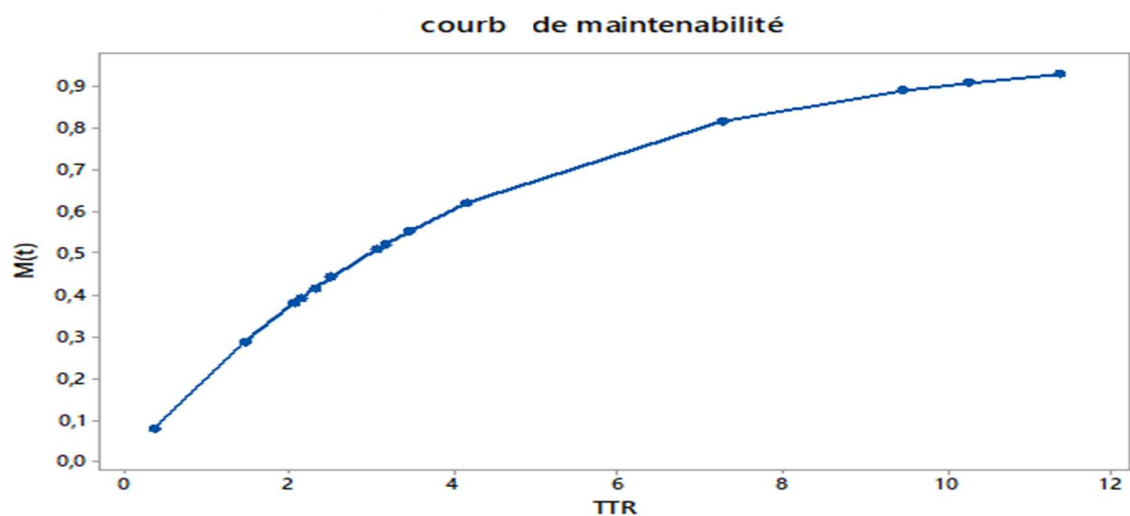


Figure 46. La maintenabilité en fonction du temps de réparation pour la table de refroidissement.

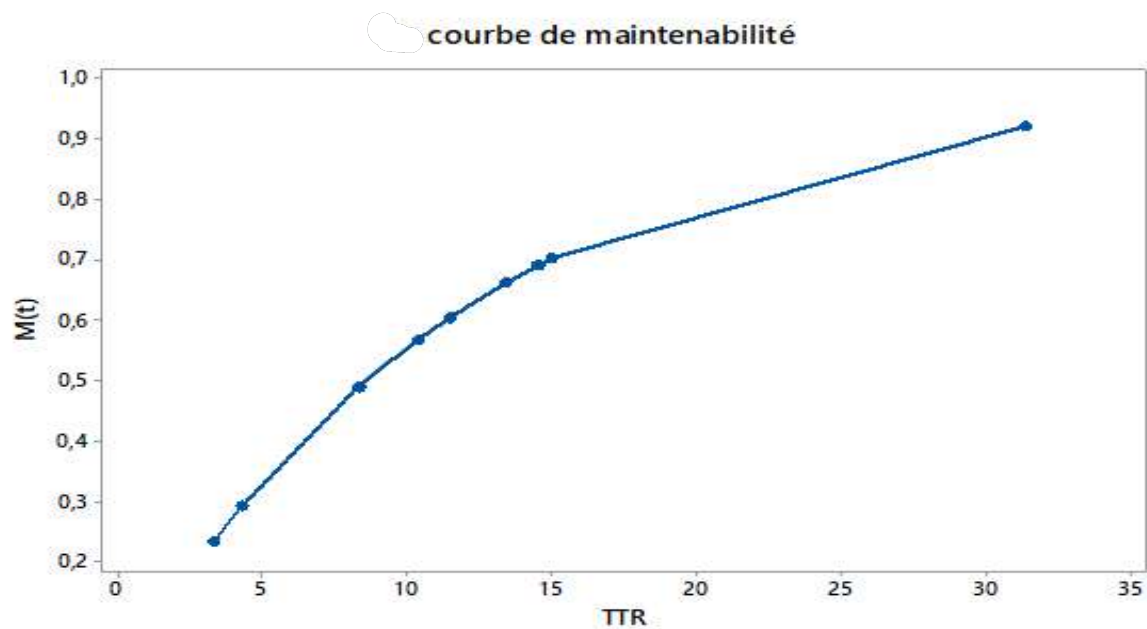


Figure 47. La maintenabilité en fonction du temps de réparation pour le four à billettes.

Les figures 45,46 et 47 montrent la maintenabilité en fonction du temps de réparation (TTR) de la presse, du four à billettes et de la table de refroidissement, les courbes de maintenabilité représentent

la probabilité que le système soit réparé avec succès dans un certain intervalle de temps après une défaillance.

IV.3.3. Calcul de la disponibilité :**IV.3.3.1. Calcul la disponibilité intrinsèque :**

Cette disponibilité est évaluée en prenant en compte les moyennes des temps de bon fonctionnement et les moyennes des temps de réparation.

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

1. Calcul de la disponibilité intrinsèque de la presse

$$D_i = \frac{1060.5}{1060.5 + 7.144}$$

Alors

$$D_i = 0.9933$$

Et

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} = \frac{1}{1060.5} = 0.00094$$

2. Calcul de la disponibilité intrinsèque de la table de refroidissement

$$D_i = \frac{1154.28}{1154.28 + 4.289}$$

Alors

$$D_i = 0.9962$$

Et

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} = \frac{1}{1275.47} = 0.00078$$

3. Calcul de la disponibilité intrinsèque du four à billettes

$$D_i = \frac{1275.47}{1275.46 + 12.38}$$

Alors

$$D_i = 0.9903$$

Et

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} = \frac{1}{1154.28} = 0.00086$$

IV.3.3.2. Calcul de la disponibilité instantanée

La disponibilité instantanée de la presse, du four à billettes et de la table de refroidissement peut être calculée à partir du taux de défaillance instantané (λ) et du taux de réparation instantané (μ) à un moment donné. La disponibilité instantanée peut être calculée à l'aide de la formule suivante :

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

Les résultats de calcul de la disponibilité instantanée montrés par le tableau suivant (tableau 14) :

Nb	Presse		Table de refroidissement		Four a billettes	
	TTR (heure)	D(t)	TTR (heure)	D(t)	TTR (heure)	D(t)
1	0,3	0,9997	0,35	0,9977	3,3	0,9981
2	0,4	0,9996	1,45	0,9989	4,3	0,9976
3	1,1	0,9991	1,45	0,9989	8,3	0,9960
4	1,4	0,9988	2,05	0,9986	8,35	0,9960
5	1,45	0,9988	2,13	0,9986	10,35	0,9953
6	2	0,9984	2,3	0,9985	11,45	0,9950
7	3,15	0,9976	2,5	0,9984	11,5	0,9950
8	4,1	0,9971	3,05	0,9981	13,4	0,9945
9	4,55	0,9969	3,15	0,9981	14,5	0,9943

10	5	0,9966	3,45	0,9980	14,55	0,9943
11	8,5	0,9953	4,15	0,9977	14,55	0,9943
12	10,5	0,9948	7,25	0,9970	15	0,9942
13	11	0,9947	9,45	0,9967	31,35	0,9924
14	12,35	0,9945	10,25	0,9966		
15	12,5	0,9945	11,35	0,9966		
16	36,5	0,9933				

Tableau 14. Calcule disponibilité instantanée.

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

Pour présenter graphiquement la disponibilité de la presse, du four à billettes et de la table de refroidissement, on utilise les résultats du tableau 14 et les résultats de simulation de la disponibilité en fonction du temps de réparation sont présentés sur les figures suivantes (figure 48, 49 et 50) :

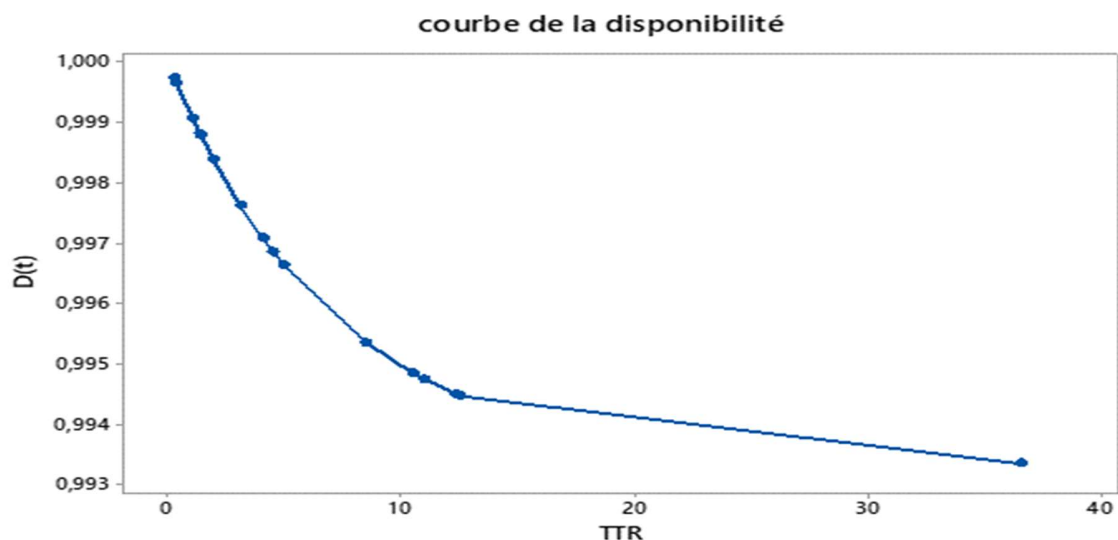


Figure 48. La disponibilité instantanée en fonction du temps de réparation de la presse.

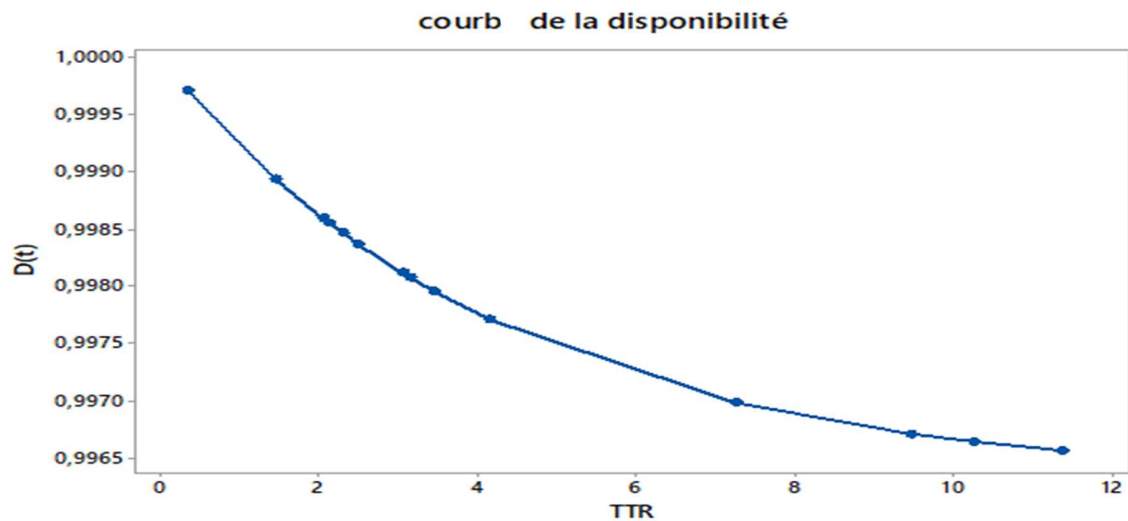


Figure 49.. La disponibilité instantanée en fonction du temps de réparation de la table de refroidissement

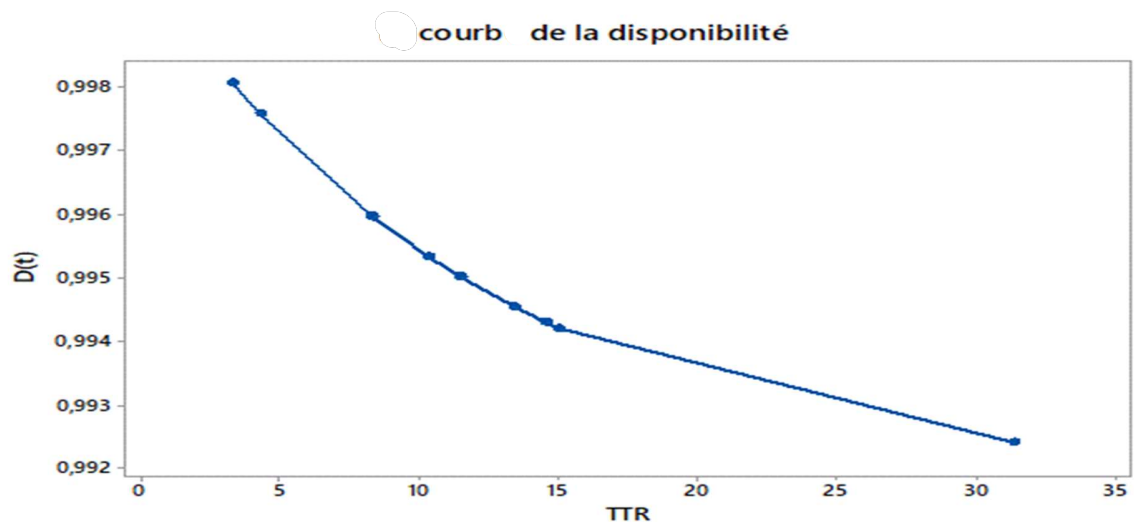


Figure 50.. La disponibilité instantanée en fonction du temps de réparation du four à billettes

Les courbes des figures 48, 49 et 50 de la disponibilité représentent la probabilité que le système soit en état de fonctionner dans un certain intervalle de temps. La disponibilité est une fonction décroissante avec le temps, Au fur et à mesure que le temps s'écoule, la presse, le four à billettes et la table de refroidissement peuvent subir des dégradations, des défaillances ou des pannes. Ces incidents réduisent la disponibilité du système, car il peut nécessiter des temps d'arrêt pour réparation, remplacement ou maintenance.

Les fiabilités de la presse, du four à billettes et de la table de refroidissement sont réduites, cela signifie que les probabilités de défaillance de ces systèmes sont plus élevées. En d'autres termes, la presse, le four à billettes et la table de refroidissement sont moins fiables et présentent des risques accrus de dysfonctionnement ou de panne.

Plusieurs facteurs peuvent contribuer à une réduction des fiabilités de la presse, du four à billettes et de la table de refroidissement, tels que l'usure, l'âge, l'utilisation intensive, les conditions environnementales défavorables, les défauts de conception ou de fabrication, les erreurs humaines, etc. Il est important d'identifier les causes sous-jacentes de la réduction de la fiabilité et de prendre des mesures pour y remédier. Cela peut inclure la mise en œuvre de programmes de maintenance préventive, l'amélioration de la qualité des composants, l'optimisation des processus, la formation du personnel, etc. Pour connaître les causes de défaillance de ces systèmes, on va appliquer dans la suite la courbe ABC et l'histogramme de Pareto.

IV.4. La courbe ABC et l'histogramme Pareto

La courbe ABC et l'histogramme de Pareto sont des méthodes d'analyse et de gestion de la qualité largement utilisés dans de nombreux domaines, y compris la gestion de la maintenance et l'optimisation des performances des équipements.

Dans le contexte de la maintenance, l'utilisation de la courbe ABC et de l'histogramme de Pareto permet d'identifier les équipements, les pièces de rechange ou les problèmes les plus critiques, et de prendre des mesures ciblées pour les résoudre. Cela permet de rationaliser les efforts de maintenance, de réduire les temps d'arrêt non planifiés, d'améliorer la disponibilité des équipements et de maximiser la performance globale du système.

Les tableaux suivants illustrent les calculs de pourcentages du cumul de temps d'arrêt et pourcentages du cumul des pannes pour la presse, le four à billettes et la table de refroidissement

Pannes	Nt	Cumul H d'arrêt	Cumul H d'arrêt %	Nb pane	Cumul de panne	Cumul de panne%
Pompe de refroidissement	82,85	82,85	72,13	5	5	31,25
Chargeur de billettes	22,15	105	91,42	4	9	56,25
Pompe principale	6,96	111,96	97,48	4	13	81,25
Cisaille de culot	1,4	113,36	98,69	1	14	87,5
Palan filière	1,1	114,46	99,65	1	15	93,75
Poussoir billettes	0,4	114,86	100	1	16	100

Tableau 15. Calculs des pourcentages du cumul des temps d'arrêt et de pannes pour la presse

Pannes	Nt	Cumul H d'arrêt	Cumul H d'arrêt %	Nb pane	Cumul de panne	Cumul de panne%
Vérin pneumatique	31,05	31,05	48,27	3	3	20
Chaîne d'entraînement	14,85	45,9	71,35	3	6	40
Réducteur	15,18	61,08	94,95	6	12	80
Palies à roulement	1,45	62,53	97,20	1	13	86,67
Roulement d'entraînement	1,45	63,98	99,46	1	14	93,33
Axe d'entraînement	0,35	64,33	100	1	15	100

Tableau 16. Calculs des pourcentages du cumul des temps d'arrêt et de pannes pour la table de refroidissement

Pannes	Nt	Cumul H d'arrêt	Cumul H d'arrêt %	Nb panne	Cumul de panne	Cumul de panne%
Thermocouple	75,45	75,45	46,89	4	4	30,77
Table billettes	27,9	103,35	64,23	2	6	46,15
Four de filière	22,95	126,3	78,50	2	8	61,54
Chaîne de table billettes	18,7	145	90,12	2	10	76,92
Le conduit de gaz enflammé	8,3	153,3	95,28	1	11	84,62
FOUR A CHAUFFE RAPIDE	4,3	157,6	97,95	1	12	92,31
ZONE DE RECHAUFFAGE	3,3	160,9	100	1	13	100

Tableau 17. Calculs des pourcentages du cumul des temps d'arrêt et de pannes pour le four à billettes

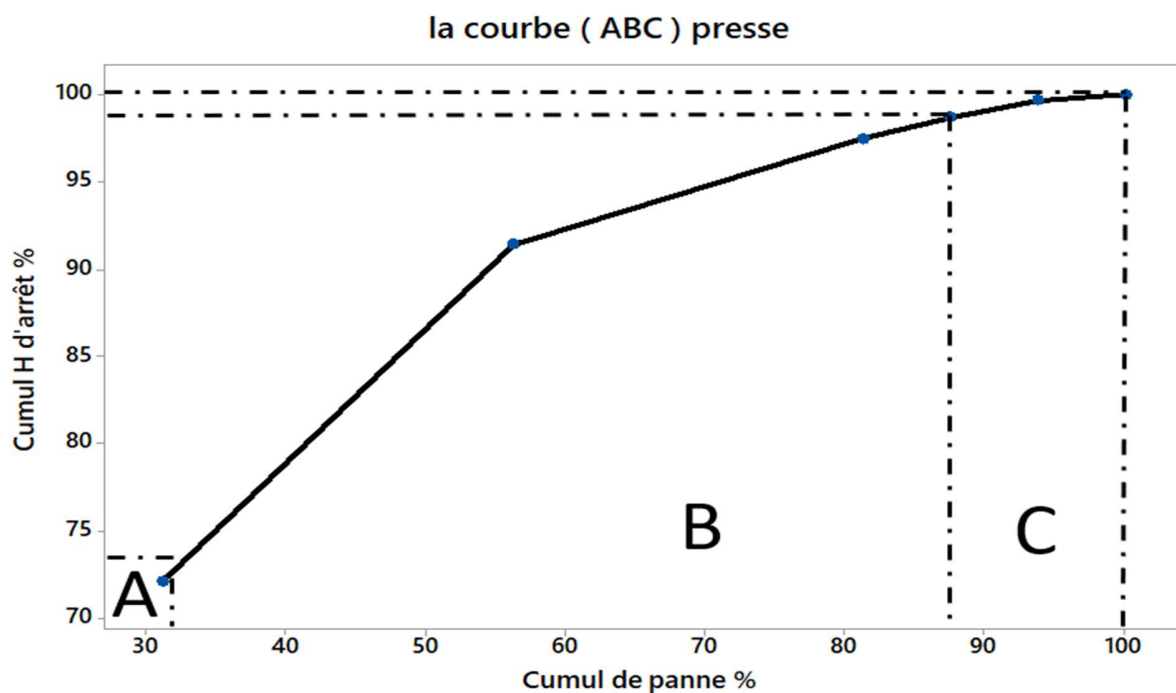


Figure 51. La courbe ABC de la presse

D'après la figure 51, on peut déduire les trois zones de la courbe ABC de la presse :

- Zone A : Dans cette zone, nous constatons qu'environ 31.25% des pannes représentent 72.13% des temps d'arrêt, c'est la zone prioritaire et l'éléments le plus défaillant est la pompe de refroidissement.
- Zone B : Dans cette zone, 56.25 % des pannes représentent 26.56% des temps d'arrêt
- Zone C : Dans cette zone, les 12.5 % de pannes restantes ne représentent que 1.31% des temps d'arrêts.

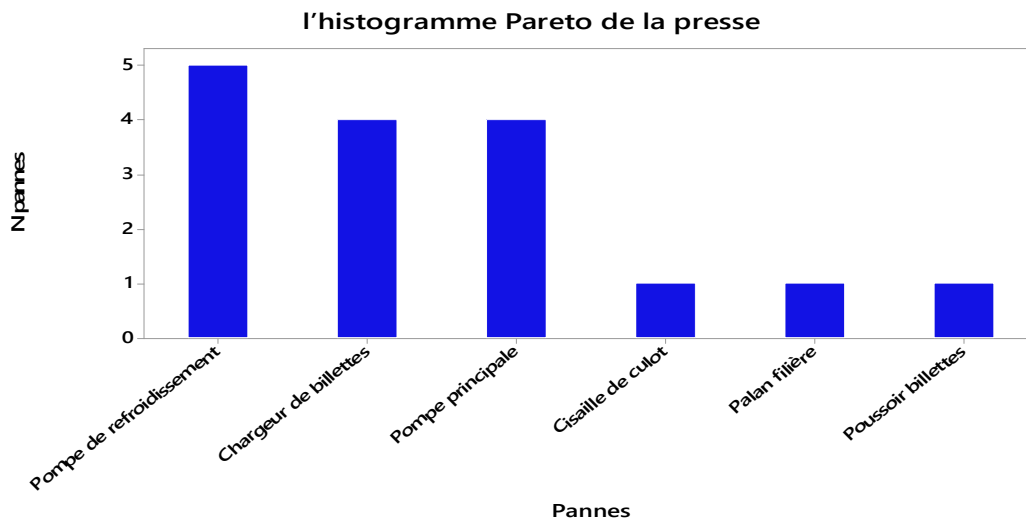


Figure 52.L'histogramme de Pareto de la presse.

La figure 52 montre l'histogramme de Pareto de la presse qu'il permet de visualiser rapidement les problèmes les plus fréquents et les plus critiques liés à la presse. D'après cette figure, on voit que la pompe de refroidissement et le chargeur de billettes sont les pannes les plus fréquentes dans la presse. Cela permet de prendre des mesures correctives ciblées pour résoudre les problèmes les plus importants et d'obtenir une amélioration significative des performances et de la fiabilité de la presse.

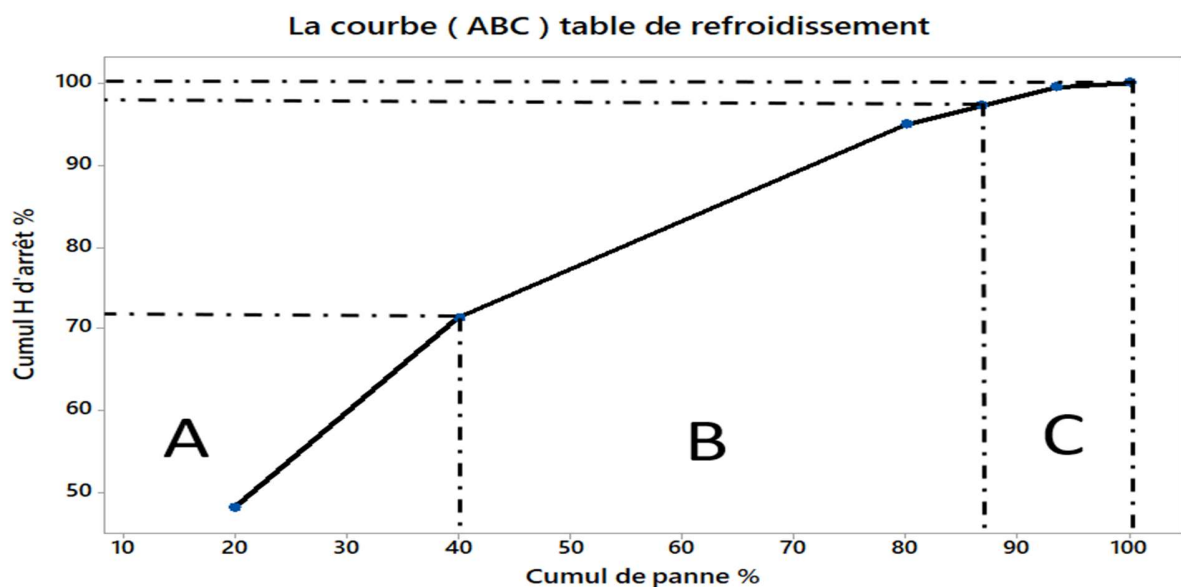


Figure 53.la courbe (ABC) de refroidissement

D'après la figure 53, on peut déduire les trois zones de la courbe ABC de la table de refroidissement :

- Zone A : Dans cette zone, nous constatons qu'environ 40 % des défauts représentent 71.35 % des temps d'arrêt, c'est la zone prioritaire et les éléments les plus défaillants sont le vérin pneumatique et la chaîne d'entraînement.

- Zone B : Dans cette zone, 46.67% des pannes représentent 25.85% des temps d'arrêt, c'est la zone la moins importance comparant avec la zone A.

- Zone C : Dans cette zone, les 13.33 % de pannes restantes ne représentent que 2.8% des temps d'arrêts.

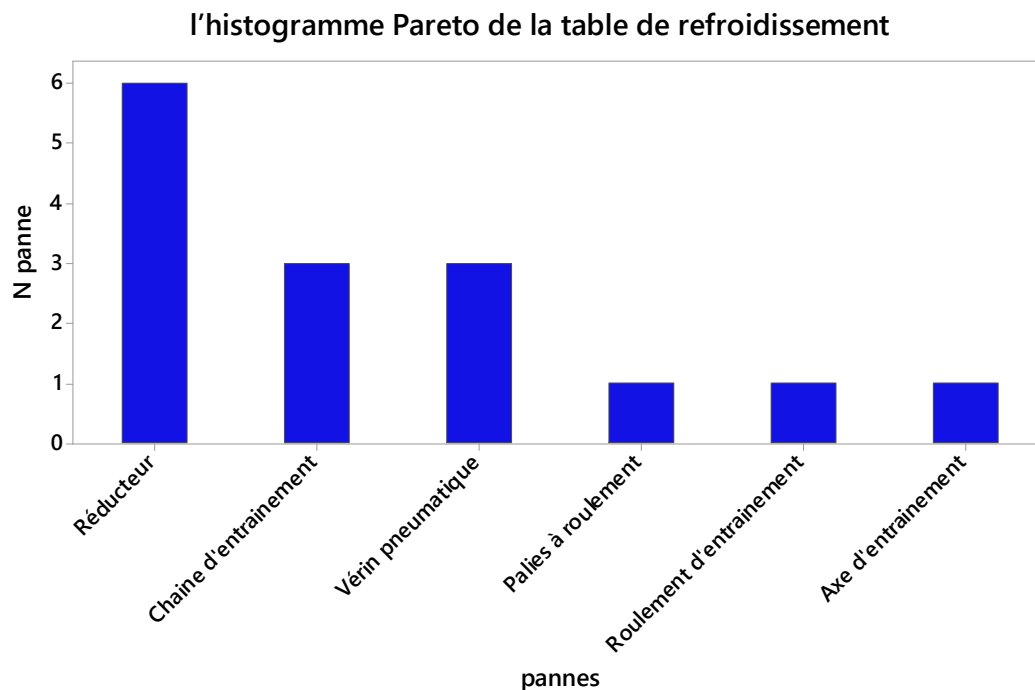


Figure 54.L'histogramme de Pareto de la table de refroidissement.

La figure 54 présente l'histogramme de Pareto de la table de refroidissement qu'il permet de visualiser rapidement les pannes les plus fréquentes et les plus critiques liées à la table de refroidissement. D'après cette figure, on voit que le réducteur, la chaîne d'entraînement et le vérin pneumatique sont les pannes les plus fréquentes dans la table de refroidissement. Cela permet de

prendre des mesures correctives ciblées pour résoudre les problèmes les plus importants et d'obtenir une amélioration significative des performances et de la fiabilité de la table de refroidissement.

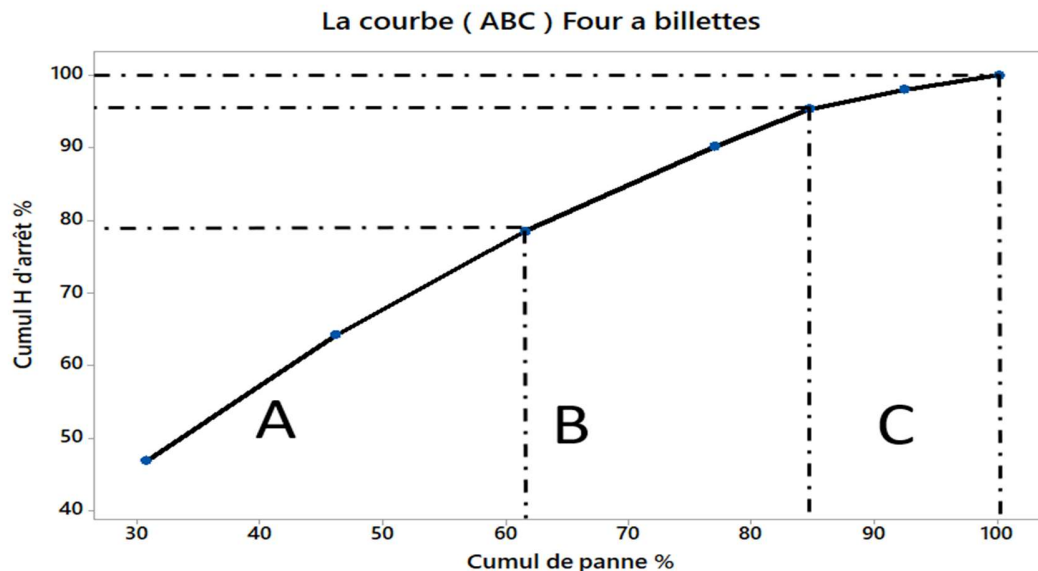


Figure 55. La courbe ABC du four à billettes.

D'après la figure 55, on peut déduire les trois zones de la courbe ABC du four à billettes :

Zone A : Dans cette zone, nous constatons qu'environ 61.54 % des défauts représentent 78.5 % des temps d'arrêt, c'est la zone prioritaire et les éléments les plus défaillants sont le thermocouple, table à billettes et le four de filière.

- **Zone B :** Dans cette zone, 23.08% des pannes représentent 16.78% des temps d'arrêt, c'est la zone la moins importante comparant avec la zone A.

- **Zone C :** Dans cette zone, les 15.38 % de pannes restantes ne représentent que 4.72% des temps d'arrêts.

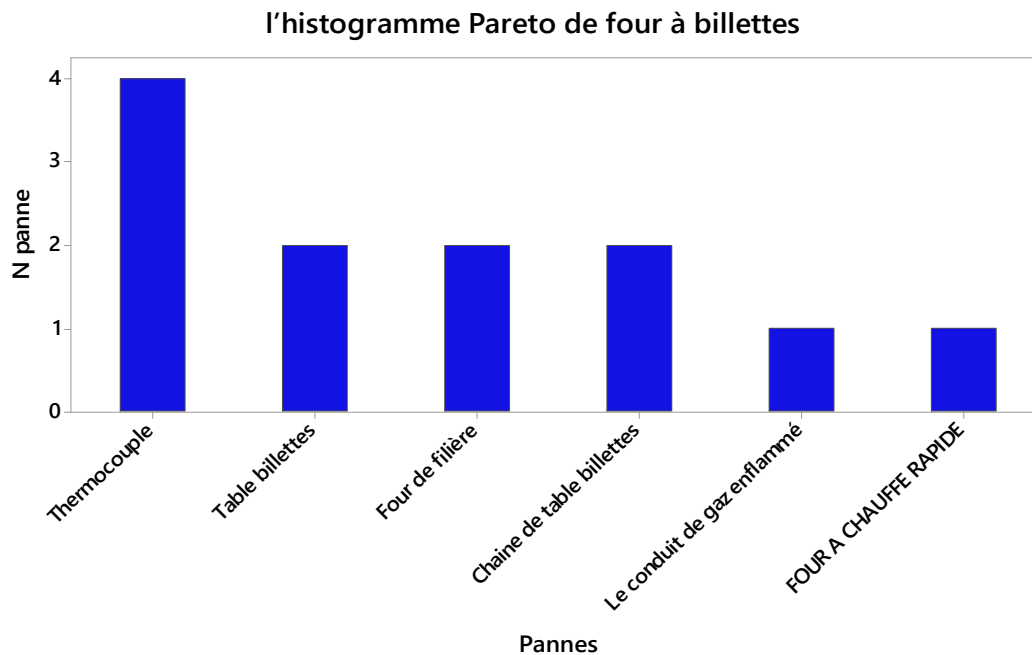


Figure 56. L'histogramme de Pareto du four à billettes.

La figure 56 montre l'histogramme de Pareto du four à billettes qu'il permet de visualiser rapidement les pannes les plus fréquentes et les plus critiques liées au four à billettes. D'après cette figure, on voit thermocouple, la table à billettes, le four de filière et la chaîne de table à billettes sont les pannes les plus fréquentes dans le four à billettes. Cela permet de prendre des mesures correctives ciblées pour résoudre les problèmes les plus importants et d'obtenir une amélioration significative des performances et de la fiabilité du four à billettes.

IV.5. Etude AMDEC:

L'AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité) est une méthode d'analyse systématique utilisée pour évaluer les risques et les défaillances potentielles dans un processus de production. L'objectif de l'AMDEC est d'identifier les modes de défaillance les plus critiques et de mettre en place des actions préventives pour les éliminer ou les réduire.

Pour appliquer l'AMDEC sur la presse, le four à billettes et la table de refroidissement et optimiser la production, il doit suivre les étapes suivantes :

1. Constitution de l'équipe : Former une équipe multidisciplinaire composée de personnes ayant une connaissance approfondie du processus de production, y compris des opérateurs, des ingénieurs de production, des spécialistes de la qualité, etc.

2. Identification des modes de défaillance : Identifier tous les modes de défaillance possibles pour la presse, le four à billettes et la table de refroidissement. Il peut s'agir de pannes d'équipement, de défauts de matière première, de problèmes de qualité, etc.

3. Estimation des conséquences : Évaluer les conséquences potentielles de chaque mode de défaillance, telles que les impacts sur la qualité du produit, la sécurité des opérateurs, les coûts de production, etc.

4. Évaluation de la criticité : Déterminer la criticité de chaque mode de défaillance en combinant les probabilités d'occurrence, les conséquences et la capacité de détection. Cela aidera à hiérarchiser les modes de défaillance en fonction de leur impact sur la production.

5. Identification des actions préventives : Identifier et mettre en place des actions préventives pour réduire les modes de défaillance critiques. Cela peut inclure des améliorations de conception, des modifications des procédures de travail, des formations pour les opérateurs, etc.

6. Suivi et amélioration continue : Surveiller l'efficacité des actions préventives mises en place et effectuer des revues régulières pour identifier de nouveaux risques ou défaillances potentielles. Ajuster les mesures préventives en conséquence pour optimiser continuellement la production.

L'application de l'AMDEC permettra d'identifier les problèmes critiques de la presse, du four à billettes et de la table de refroidissement et de prendre des mesures préventives ciblées pour les résoudre. Cela contribuera à optimiser la production, à réduire les temps d'arrêt et à améliorer la qualité des produits de l'entreprise ALGAL+. Le tableau suivant montre l'AMDEC de la presse, du four à billettes et de la table de refroidissement :

Eléments	Fonction	Mode de défaillance	Cause de défaillance	Effet de la défaillance	Mode de détection	F	G	D	C	Action Corrective
Pompe de refroidissement (presse)	Refroidissement d'huile	Manque pression	Endommagement d'accouplement	Température excessive	Thermomètre	3	4	2	24	Changer l'accouplement
Chargeur de billettes (presse)	Chargement de billettes	Déréglage	Déréglage des captures de position	Chargeur hors position	Visuel/ PLC	2	3	2	12	Régler les captures
Pompe principale (presse)	Augmentation continue de la pression du fluide	Manque pression	Impuretés dans l'huile	Chute de pression	Visuel	2	4	3	24	Nettoyage des filtres d'huile
Cisaille de culot (presse)	Coupez le résidu après l'extrusion	Ne démarre plus	Impuretés dans l'huile	Blocage	Visuel	2	5	3	30	Control visuel
Palan filière (presse)	Levage et transport des filières	Rupture câble de levage	Mauvaise manipulation	Arrêt	Visuel	4	3	1	12	Changement de câble
Poussoir billettes(presse)	Pousser la billettes	Desserrage	Manque de lubrification	Arrêt la presse d'extrusion	Visuel	2	3	1	6	Entretien préventif
Vérin pneumatique (table de refroidissement)	Déplacer les tapis roulant	Fuit d'aire	Dégradation de joint	Chute de pression	Manomètre	4	3	2	24	Changement des joints
Chaine d'entraînement (table de refroidissement)	Transmettre de mouvement	Rupture	-Coinçage manque - Graissage	Arrêt d'axe d'entraînement	Visuel	2	3	4	24	-Lubrification - Changement la chaîne
Réducteur (table de refroidissement)	Réduire la vitesse	Blocage	Usure cisaillement	Arrêt d'axe d'entraînement	Visuel	4	2	2	16	Usinage un nouvel axe
Palies à roulement (table de refroidissement)	Fixer la table	Casseur de roulement Grippage roulement	Axe désalignée Poussière	Risque de déplacement de la table - Vibration	-Vibromètre - Visuel	4	2	3	24	-Changement roulement - Lubrification
Roulement d'entraînement (table de refroidissement)	Entrainer la table d'évacuation	Grippage	Poussière	Blocage	Visuel	4	3	2	24	Changement roulement Lubrification
Axe d'entraînement (table de refroidissement)	Transmettre le mouvement pour les tapis	Torsion cisaillement	Surcharge de profile	Arrêt de la table	Visuel	4	3	2	24	Changement l'axe
Thermocouple (Four a billettes)	Mesure de la température de la billette	Thermocouple n'est pas fonctionnée	Électrode de thermocouple défaillez	Mauvaise lecture de la température billette	Visuel	4	2	1	8	Changement les électrodes de thermocouple
Table billettes (Four a billettes)	Charger les billettes en cascade sur le train de rouleaux	Blocage physique ou coincement	Défaillance de vérin pneumatique	Difficulté de chargement des billettes	Visuel	1	1	2	2	Control visuel
Four de filière (Four a billettes)	Chauffer la filière	Rupture des résistance électrique	Court-circuit	Baisse température	Lecture	2	2	1	4	Soudage
FOUR A CHAUFFE RAPIDE (Four a billettes)	Chauffer les billettes [380°C à 530°C]	Fonctionnement irrégulier	Défaillance structurelle, thermocouples à	Arrêt de production	alarme [surcharge pression] sur	2	3	4	24	Entretien préventif
ZONE DE RECHAUFFAGE (Four a billettes)	Réchauffer les billettes	Arrêt des ventilateurs de circulation	Surintensité sur les moteurs	Arrêt de production	Control visuel ou ALARME	2	3	4	24	Entretien préventif

Tableau 18. AMDEC de la presse, du four à billettes et la table de refroidissement.

La criticité des défauts se réfère à l'évaluation de l'impact potentiel d'un défaut sur la sécurité, la qualité, la fiabilité ou la performance de la presse, du four à billettes et de la table de refroidissement. Elle permet de déterminer l'importance relative des défauts de la presse 1600T et d'établir des priorités pour les actions de correction ou de prévention.

La criticité d'un défaut de la presse, du four à billettes ou de la table de refroidissement peut être évaluée en considérant plusieurs facteurs, tels que :

1. Sévérité : Il s'agit de l'impact potentiel du défaut de la presse, du four à billettes et de la table de refroidissement sur la sécurité des personnes, sur l'environnement ou sur d'autres éléments critiques. Une évaluation de la gravité du défaut permet de déterminer s'il peut entraîner des dommages majeurs, des blessures, des pertes financières significatives, etc.

2. Fréquence d'occurrence : Il s'agit de la probabilité ou de la fréquence à laquelle le défaut peut se produire. Une évaluation de la fréquence d'occurrence permet de déterminer si le défaut est susceptible de se produire régulièrement, occasionnellement ou rarement.

3. Détectabilité : Il s'agit de la capacité à détecter le défaut avant qu'il ne cause des problèmes. Une évaluation de la détectabilité permet de déterminer si le défaut est facilement détectable lors des inspections, des tests ou de l'utilisation normale du produit ou du système.

En combinant ces facteurs, on peut attribuer une criticité à chaque défaut de la presse, du four à billettes et de la table de refroidissement comme illustrés le tableau 17 ci-dessus, généralement sur une échelle de priorité. Par exemple, on peut utiliser une échelle à trois niveaux, tels que :

- Critique : Les défauts qui présentent un risque élevé, une sévérité importante, une fréquence d'occurrence élevée et une faible détectabilité. Ces défauts doivent être corrigés immédiatement pour éviter des conséquences graves.

- Majeur : Les défauts qui présentent un risque modéré, une sévérité moyenne, une fréquence d'occurrence modérée et une détectabilité acceptable. Ces défauts doivent être corrigés dans un délai raisonnable pour éviter des problèmes potentiels.

- Mineur : Les défauts qui présentent un faible risque, une sévérité mineure, une fréquence d'occurrence faible et une bonne détectabilité. Ces défauts peuvent être traités à un stade ultérieur ou lors des prochaines activités de maintenance.

Par la définition des critères précédant la criticité maximale d'une défaillance est de 64 d'après la relation $C = G * F * N = 4 * 4 * 4 = 64$

Nous avons choisi les valeurs

8 comme seuil critique, et :

Si le score de signification $C < 8$, reprendre la conception.

Si la criticité est $8 < C < 18$ mise sous préventive.

Si le score de criticité est $18 < C < 64$, il est placé en action corrective.

Le tableau suivant montre le classement des éléments de la presse, du four à billettes et de la table de refroidissement selon leur criticité (tableau 19) :

Cisaille de culot (presse)	30	Action corrective
Pompe de refroidissement (presse)	24	
Pompe principale (presse)	24	
Vérin pneumatique (table de refroidissement)	24	
Chaine d'entrainement (table de refroidissement)	24	
Palies à roulement (table de refroidissement)	24	
Roulement d'entrainement (table de refroidissement)	24	
Axe d'entrainement (table de refroidissement)	24	
FOUR A CHAUFFE RAPIDE (Four a billettes)	24	
ZONE DE RECHAUFFAG E (Four a billettes)	24	
Réducteur (table de refroidissement)	16	Mise sous préventive
Chargeur de billettes (presse)	12	
Palan filière (presse)	12	
Thermocouple (Four a billettes)	8	Reprendre la conception
Poussoir billettes(presse)	6	
Four de filière (Four a billettes)	4	
Table billettes (Four a billettes)	2	

Tableau 19. Classification des éléments de la presse, du four à billettes et de la table de refroidissement selon leurs criticités.

Solutions suggérées :

Après avoir effectué une analyse des modes de défaillance de la presse, du four à billettes et de la table de refroidissement selon la méthode AMDEC, nous avons identifié certains éléments comme étant les plus importants en termes de criticité. Ces éléments sont :

1. Cisaille de culotte
2. Pompe de refroidissement
3. Pompe principale
4. Vérin pneumatique
5. Chaîne d'entraînement
6. Paliers à roulement
7. Roulement d'entraînement
8. Axe d'entraînement
9. Four à chauffe rapide
10. Zone de réchauffage
11. Thermocouple
12. Réducteur

Selon l'analyse, ces éléments ont un coefficient critique de 36, ce qui indique qu'ils ont une importance plus élevée par rapport aux autres éléments analysés. Cela signifie que toute défaillance ou dysfonctionnement de ces éléments peut avoir un impact significatif sur la performance globale de la presse, du four à billettes et de la table de refroidissement.

Il est donc recommandé de porter une attention particulière à ces éléments lors de la planification des actions correctives et de la mise en place de mesures de prévention. Il peut s'agir de mettre en place un plan de maintenance préventive plus fréquent ou d'améliorer la surveillance de ces éléments afin de détecter toute anomalie à un stade précoce. Ces actions permettront de réduire les risques de défaillance et d'assurer un fonctionnement plus fiable de la presse, du four à billettes et de la table de refroidissement.

Afin de proposer des solutions pour éliminer toutes les causes de défaillance et assurer à la fois la disponibilité et la fiabilité du système, une étude détaillée de chaque sous-ensemble est nécessaire pour comprendre son comportement satisfaisant.

L'analyse AMDEC est un processus de recherche long et minutieux qui s'intègre parfaitement dans le processus d'analyse et de prévention des risques. De plus, l'organisation issue de l'analyse de réseau permet de stocker et d'exploiter des informations sur les caractéristiques des moyens de production, des produits et des processus.

Sur la base de l'analyse AMDEC et de la priorisation des éléments, voici quelques solutions qui peuvent être envisagées pour chaque élément identifié comme critique:

Cisaille de culotte :

Effectuer un entretien périodique et une inspection minutieuse des couteaux et des pièces mobiles pour s'assurer de toute usure ou dommage.

Assurez-vous de la disponibilité des pièces de rechange et remplacez-les si nécessaire.

Optimisation des procédures de lubrification et de nettoyage pour éviter d'endommager les couteaux et améliorer leurs performances.

Pompe de refroidissement :

Nettoyage et entretien réguliers des tuyaux et des filtres pour assurer un débit de réfrigérant optimal.

Assurez-vous du bon fonctionnement de la pompe et vérifiez-la régulièrement pour une détection précoce de tout problème de fonctionnement.

Assurez-vous qu'il y a un système de refroidissement de secours en cas de dysfonctionnement de la pompe principale.

Pompe principale :

Effectuez un entretien périodique de la pompe principale et vérifiez ses performances et sa pression.

Sécuriser les pièces de rechange et remplacer immédiatement les pièces endommagées.

Ajustez et surveillez régulièrement les niveaux d'huile et de lubrification pour assurer un fonctionnement fluide et efficace de la pompe.

Vérine pneumatique :

Effectuez un entretien périodique du cylindre pneumatique et vérifiez la pression d'air et l'intégrité des tuyaux.

Vérification de la bonne lubrification et lubrification du cylindre et de ses pièces.

Effectuez des vérifications régulières et des tests de pression pour garantir le bon fonctionnement de la bouteille.

Chaîne d'entrée :

Nettoyez et lubrifiez régulièrement les chaînes pour réduire l'usure et améliorer les performances.

Vérifiez la tension de la chaîne, du boulon et de l'ancre et réglez-la si nécessaire.

Optimisation de la lubrification et de la maintenance préventive pour éviter les ruptures de chaîne.

Palies à roulement :

Effectuer l'entretien périodique du mécanisme de livraison et assurer sa sécurité.

Vérification et réglage des pièces mobiles et confirmation de leur bonne fixation.

Augmentez régulièrement la lubrification des pièces mobiles.

Roulement d'entraînement :

Nettoyez l'usure et inspectez-la régulièrement pour tout signe d'usure.

Remplacez l'usure endommagée à intervalles réguliers ou si nécessaire.

Assurer une lubrification appropriée et la bonne quantité pour maintenir les performances d'usure.

Axe d'entraînement :

Vérifiez et ajustez périodiquement le système mécanique pour assurer un contact correct et ferme.

Remplacement immédiat des lames endommagées ou cassées.

Vérifiez le bon équilibre et ajustez les lames régulièrement.

Four à chauffe rapide :

Effectuer des inspections périodiques des pièces électriques et mécaniques pour assurer leur sécurité.

Assurer le flux continu et régulier de matériaux et de carburant.

Réglez et surveillez les températures et les durées de combustion conformément aux spécifications spécifiées.

Zone de Réchauffage :

Vérifiez et entretenez régulièrement les systèmes de chauffage et de refroidissement.

Assurer la disponibilité de moyens d'isolation thermique appropriés pour éviter les pertes de chaleur indésirables.

Réglez et surveillez avec précision les températures et les pressions de travail.

Thermocouple :

Vérifiez le câblage : nous nous assurons que le thermocouple est correctement et solidement câblé

Vérification de l'élément sensible : Vérifie l'état de l'élément sensible du thermocouple. Il peut y avoir des dommages au composant sensible, auquel cas vous devrez peut-être remplacer le thermocouple par un nouveau

Étalonnage et réglage : Le thermocouple peut avoir besoin d'être étalonné et ajusté pour assurer une lecture précise. Utilisez un calibre compétent et suivez les procédures de réglage recommandées par le fabricant.

Réducteur :

Vérification de la lubrification : Nous nous assurons qu'il y a suffisamment d'huile ou de lubrification nécessaire pour le Réducteur. Effectuez un entretien régulier pour confirmer que le niveau de lubrification fonctionne correctement.

Contrôle de la corrosion : Inspectez les composants internes pour détecter des signes d'usure et remplacez et nettoyez périodiquement les pièces endommagées

Vérifier le bon équilibre du Réducteur. Vous devrez peut-être ajuster la balance ou effectuer une maintenance pour vous assurer qu'elle fonctionne efficacement.

L'analyse AMDEC est un processus de recherche long et minutieux qui s'intègre parfaitement dans le processus d'analyse et de prévention des risques. De plus, l'organisation issue de l'analyse de réseau permet de stocker et d'exploiter des informations sur les caractéristiques des moyens de production, des produits et des processus.

La sensibilisation à l'importance de l'entretien périodique devrait également être encouragée et une formation appropriée dispensée aux travailleurs sur ces pièces afin d'améliorer l'entretien et de prévenir les pannes futures. Il est également conseillé de documenter et de revoir les procédures de maintenance et de partager les informations et les expériences entre les équipes concernées pour favoriser l'apprentissage et l'amélioration continue du système.

Nous n'oublions pas non plus de maintenir la propreté des machines industrielles, en particulier la protection des travailleurs dans les usines. Certaines des mesures suivantes peuvent être prises :

1. Programmes d'entretien et de nettoyage réguliers : Effectuer des programmes d'entretien et de nettoyage réguliers des machines industrielles conformément aux spécifications et aux recommandations du fabricant. Enlevez régulièrement la saleté, les sédiments et l'accumulation d'huile.

2. Utilisez des outils de nettoyage appropriés : Utilisez des outils de nettoyage appropriés et des produits chimiques appropriés pour nettoyer les machines. Assurez-vous d'utiliser des nettoyeurs sûrs et inoffensifs pour les machines, l'environnement et les travailleurs.

3. Formation des travailleurs : Fournir une formation appropriée aux travailleurs sur les procédures sanitaires et phytosanitaires. Assurez-vous qu'ils comprennent comment utiliser correctement les outils et l'équipement et suivez les procédures de sécurité lors du nettoyage.

4. Fourniture d'équipements de protection individuelle : Fourniture d'équipements de protection individuelle appropriés pour les travailleurs, tels que des gants de sécurité, des lunettes, des respirateurs et des vêtements de protection. Assurer la disponibilité de ces équipements et encourager leur utilisation afin de réduire les risques pour les travailleurs.

5. Optimisez le système de ventilation et d'évacuation : Dans les usines, assurez-vous qu'un bon système de ventilation et d'évacuation est disponible pour éliminer la poussière, les odeurs et les gaz

nocifs. Effectuez un entretien régulier de ces systèmes et assurez-vous qu'ils fonctionnent correctement.

6. Effectuer un contrôle et un contrôle périodiques de l'état de la santé et de la sécurité dans les usines. Évaluation des risques et mise à jour des procédures de sécurité avec suspicion

7. Encourager une culture saine et propre : Encourager une culture saine et propre parmi les ouvriers et les équipes de travail. Offrir une sensibilisation et une formation continue sur l'importance de la santé et de la sécurité et favoriser une participation efficace de tous.

Le maintien de la propreté des machines industrielles et la protection des travailleurs dépendent de pratiques durables et du respect continu des procédures de santé et de sécurité.

IV.6. Conclusion :

En conclusion, l'utilisation des outils de fiabilité tels que FMD, la courbe ABC, l'histogramme de Pareto et l'AMDEC a joué un rôle crucial dans l'évaluation de la fiabilité de la presse, le four à billettes et la table de refroidissement et l'identification des domaines à risque élevé. Ces outils ont permis de prioriser les actions correctives et de proposer des solutions d'amélioration ciblées. Malgré les difficultés rencontrées, telles que le manque de données et d'informations, l'application de ces outils a permis d'obtenir des résultats significatifs. La méthode FMD a permis d'évaluer la fiabilité, la maintenabilité et la disponibilité de la presse, le four à billettes et la table de refroidissement, fournissant ainsi une compréhension approfondie de ses performances.

Conclusion générale

Conclusion Générale

Dans ce mémoire de fin d'études, nous avons concentré nos efforts sur l'étude de l'amélioration de la productivité de la presse, du four à billettes et de la table de refroidissement dans un contexte industriel. Notre objectif principal était de proposer et de mettre en œuvre une politique de maintenance efficace afin de réduire les temps d'arrêt non planifiés, d'améliorer l'efficacité du travail et d'augmenter la productivité globale de la presse 1600T de l'entreprise ALGAL+, Msila.

Pour atteindre cet objectif, nous avons commencé par analyser en détail la presse, le four à billettes et la table de refroidissement, en identifiant ses composants clés, ses processus de travail et les facteurs qui influencent sur ses productivités. Nous avons également évalué la fiabilité et la maintenabilité de ces systèmes en utilisant des outils tels que la FMD (Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité) pour obtenir une compréhension approfondie de ses performances actuelles.

Nous avons collecté des données sur les temps de bon fonctionnement et les temps de défaillance de la presse, du four à billettes et de la table de refroidissement, puis nous les avons analysées à l'aide de la loi de Weibull. Cette analyse nous a permis de déterminer les paramètres de forme, de position et d'échelle de la loi de Weibull pour chaque équipement. En utilisant ces paramètres, nous avons pu estimer la fiabilité des équipements au fil du temps. Nous avons tracé des courbes de fiabilité qui montrent comment la probabilité de bon fonctionnement diminue au fil du temps. Cela nous a permis d'identifier les périodes de plus grande fragilité des équipements et de prendre des mesures préventives pour réduire les risques de défaillance.

En se basant sur les résultats de cette analyse, nous avons pu identifier les principaux problèmes et les zones à risque élevé de défaillance. Par conséquent, nous avons permis de formuler des recommandations spécifiques pour améliorer la maintenance du système, en mettant l'accent sur la prévention des pannes, la planification efficace des interventions de maintenance et l'utilisation optimale des ressources disponibles.

Références bibliographiques

- [1] Ben Djafer, Ahmed. Réalisation d'un plan de maintenance préventive systématique pour l'amélioration de la sûreté de fonctionnement d'un système électromécanique. Mémoire de Master Université Mohamed Boudiaf-Msila, 2013.
- [2] Fanny Clavel. Modélisation et contrôle d'un réfrigérateur cryogénique : Application à la station 800W à 4.5K du CEA Grenoble. Automatique / Robotique. Institut National Polytechnique de Grenoble - INPG, 2011
- [3] Touama Elhadj, « Evaluation des performances de la maintenance des systèmes de production » Mémoire de Master en génie électrique, université de M'sila, Juin 2014.
- [4] Anter Lebidi, « Développement de la production d'un système électromécanique par une proposition d'une politique de maintenance efficace » Mémoire de Master en génie électrique, université de M'sila, 2014
- [5] NEGADI ALI, « la maintenance des Equipements de forage (CAS TP127 HASSI MESSAOUD) » Mémoire de master génie mécanique, université ABDOU BEKR BELKAID-TLEMCEN, juin 2014
- [6] M. KADI, Etude et amélioration FMD d'une motopompe centrifuge, Mémoire de master professionnel, Université de Ouargla, (2014).
- [7] Asbai Samir, « Evaluation des caractéristiques de la sûreté de fonctionnement d'une turbine à gaz » Mémoire de Master en Génie Mécanique, Université de Bejaïa, 2017
- [8] Jeremy Llaurens. Mise en place d'un plan de maintenance préventive sur un site de production pharmaceutique. Sciences pharmaceutiques. 2011.
- [9] Ben Djafer Ahmed, « Réalisation d'un plan de maintenance préventive systématique pour l'amélioration de la sûreté de fonctionnement d'un système électromécanique » Mémoire de Master en génie électrique, université de M'sila, 2013
- [10] Rommert Dekker "Applications of maintenance optimization models: a review and analysis" Reliability Engineering and System Safety 51 (1996) 229-240.
- [11] Ouertani, Amine "Effets des stratégies de maintenance sur la performance d'une ligne de production avec zones de stockage à capacité finie" Mémoire de l'université du Québec à Trois-Rivières, 2010.

Références bibliographiques.....

- [12] Belouadah Abdenaceur, « Amélioration de la fiabilité d'un système électromécanique par l'utilisation des opérations de la maintenance préventive » Mémoire de Master en génie électrique, université de M'sila, 2016
- [13] FD X60-000 "Maintenance industrielle - Fonction maintenance" AFNOR, 2002.
- [14] Ilalens Jérémey, « Mise en place d'un plan de maintenance préventive sur un site de production pharmaceutique » Thèse présentée pour l'obtention du titre de docteur en pharmacie diplôme d'état, université Joseph Fourier, faculté de pharmacie de Grenoble, 16 Février 2011.
- [15] Touama Elhadj, « Evaluation des performances de la maintenance des systèmes de production » Mémoire de Master en génie électrique, université de m'sila, Juin 2014.
- [16] NF-EN-13306-X-60-319. Terminologie de la maintenance. Norme AFNOR. 2001.
- [17] Le Moigne, Rémy. « chapitre 5. maintenir », , supply chain management. achat, production, logistique, transport, vente, sous la direction de le moigne rémy. dunod, 2017
- [18] Abdelhadi Benkhelifa Et Mourad Mohammedi, « Fiabilité des équipements de D.T.M., analyse fonctionnelle et implications organisationnelles de la fonction maintenance de transport » Mémoire Master, Université kasdi merbah ouargla 2011
- [19] Hassan BENARIBA. "Cours Fiabilité et maintenance des systèmes électroniques ", Année universitaire 2020/2021.
- [20] ISET Nabeul, cours ; Introduction à la maintenance » Mémoire de Master 2013/ 2014.
- [21] <https://www.cadremploi.fr/editorial/conseils/conseils-carriere/le-diagramme-dishikawa#ancr-0>
- [22] <http://erwan.neau.free.fr/Toolbox/Diagramme d ISHIKAWA.htm>
- [23] John S. Oakland, « Adapté de "Guide de poche du diagramme d'Ishikawa" ».
- [24] <https://qualite.ooreka.fr/comprendre/amdec>
- [25] <https://www.manager-go.com/management-de-la-qualite/amdec.htm>
- [26] https://www.researchgate.net/publication/278805031_Methode_outillee_employant_les_connaissances_d'experts
- [27] Mokhlis, S. Elfezazi, D. Bou Ami, I. Toumi. "une approche fonctionnelle pour l'audit de la maintenance revue française de gestion industrielle vol". 23, n° 4 a.

Références bibliographiques.....

- [28] Salah, A. & Aljammal, M. "amélioration Des Performances De La Maintenance D'un Système De Production" [Mémoire de Master, Université Mohamed Boudiaf - M'sila].
- [29] [Chapitre3. Optimisation et sécurisation d'un procès \(univ-msila.dz\)](#)
- [30] 3305-parcours-sin-7-ressource-diagramme-gantt.doc–Eduscol
<https://eduscol.education.fr/sti/sites/eduscol.education.fr/sti/files/ressources/techniques/3305/3305-parcours-sin-7-ressource-diagramme-gantt.doc>
- [31] http://gisele.bareux.free.fr/TSO_Gestion_projet/GP3_SP1.pdf
- [32] [Chapitre 2. Outils de conduite de projets.pdf \(univ-msila.dz\)](#)
- [33] Mathieu.G, « Modélisation des coûts de cycle de vie prévision des coûts de maintenance et de la fiabilité Application à l'aéronautique », Thèse de doctorat d'Ecole centrale de Lyon ,2005.
- [34] Ben Djafer Ahmed "Réalisation d'un plan de maintenance préventive systématique pour l'amélioration de la sûreté de fonctionnement d'un système électromécanique" [Mémoire de Master, Université Mohamed Boudiaf - M'sila].
- [35] Oumhani,Moussa, Mechta,Soufyane "Amélioration du rendement d'un système électromécanique par l'utilisation des méthodes de maintenance industrielle " Année universitaire : 2019/ 2020.
- [36] Abdenaceur, B. (2016). Amélioration De La Fiabilité D'un Système Électromécanique Par L'utilisation Des Opérations De La Maintenance Préventive [Mémoire de Master, Université Mohamed Boudiaf - M'sila].
- [37] Alin.G, « Modélisation et évaluation de la fiabilité des systèmes mécaniques application sur système embarque », Thèse de doctorat d'université d'Angers, 200
- [38] Taleb Ahmed Hashed, M. & Al-Maqtri Ehab Tawfik, H. & Enca/ Defdaf, M. (2021). Etude De Maintenance De La Presse 1600t (algal+) [Mémoire de Master, Université Mohamed Boudiaf - M'sila].

ملخص:

تعتبر الصيانة الصناعية ذات أهمية قصوى للشركات والمنشآت الصناعية، بهدف ضمان التشغيل المستمر للمنشآت الإنتاج. حيث انها تمثل إستراتيجية في مجال الأعمال التطبيقية كما انها ترتبط ارتباطاً وثيقاً بالتطور التكنولوجي المستمر.

، Algal Plus كجزء من هذا العمل، سيكون هدفنا هو تحسين موثوقية ثلاث آلات من مكبس (1600 طن) داخل شركة الواقعة في المسيلة. سنجري دراسة إحصائية لأعطال هذا النظام وسنقدم توصيات بهدف اقتراح حلول فعالة لتقليل هذه الإخفاقات خلال فترة التشغيل والإنتاج

Abstract:

Industrial maintenance is of paramount importance for companies, with the aim of ensuring the continuous operation of production facilities. This is a strategic function in the field of applied business, closely linked to continuous technological development. As part of this work, our objective will be to make the press (1600 tons) more reliable within Algal Plus, located in M'sila. We will carry out a statistical study of the malfunctions of this system and will make recommendations with the aim of proposing effective solutions to reduce these malfunctions during the operating period.

Résumé :

La maintenance industrielle est d'une importance primordiale pour les entreprises, dans le but d'assurer la continuité de fonctionnement des installations de production. Il s'agit d'une fonction stratégique dans le domaine des affaires appliquées, étroitement liée au développement technologique continu. Dans le cadre de ces travaux, notre objectif sera de fiabiliser presse (1600 tonnes) au sein d'Algal Plus, situé à M'sila. Nous procéderons à une étude statistique des dysfonctionnements de ce système et formulerons des recommandations dans le but de proposer des solutions efficaces pour réduire ces dysfonctionnements pendant la période d'exploitation.

Les mots clés

Production, politique, maintenance, système, fiabilité

Test de Kolmogorov-Smirnov								
Nivel de significación α								
n	0.20	0.10	0.05	0.02	0.01	0.005	0.002	0.001
1	0.90000	0.95000	0.97500	0.99000	0.99500	0.99750	0.99900	0.99950
2	0.68337	0.77639	0.84189	0.90000	0.92929	0.95000	0.96838	0.97764
3	0.56481	0.63604	0.70760	0.78456	0.82900	0.86428	0.90000	0.92065
4	0.49265	0.56522	0.62394	0.68887	0.73424	0.77639	0.82217	0.85047
5	0.44698	0.50945	0.56328	0.62718	0.66853	0.70543	0.75000	0.78137
6	0.41037	0.46799	0.51926	0.57741	0.61661	0.65287	0.69571	0.72479
7	0.38148	0.43607	0.48342	0.53844	0.57581	0.60975	0.65071	0.67930
8	0.35831	0.40962	0.45427	0.50654	0.54179	0.57429	0.61368	0.64098
9	0.33910	0.38746	0.43001	0.47960	0.51332	0.54443	0.58210	0.60846
10	0.32260	0.36866	0.40925	0.45562	0.48893	0.51872	0.55500	0.58042
11	0.30829	0.35242	0.39122	0.43670	0.46770	0.49539	0.53135	0.55588
12	0.29577	0.33815	0.37543	0.41918	0.44905	0.47672	0.51047	0.53422
13	0.28470	0.32549	0.36143	0.40362	0.43247	0.45921	0.49189	0.51490
14	0.27481	0.31417	0.34890	0.38970	0.41762	0.44352	0.47520	0.49753
15	0.26589	0.30397	0.33750	0.37713	0.40420	0.42934	0.45611	0.48182
16	0.25778	0.29472	0.32733	0.36571	0.39201	0.41644	0.44637	0.46750
17	0.25039	0.28627	0.31796	0.35528	0.38086	0.40464	0.43380	0.45540
18	0.24360	0.27851	0.30936	0.34569	0.37062	0.39380	0.42224	0.44234
19	0.23735	0.27136	0.30143	0.33685	0.36117	0.38379	0.41156	0.43119
20	0.23156	0.26473	0.29408	0.32866	0.35241	0.37451	0.40165	0.42085
21	0.22517	0.25858	0.28724	0.32104	0.34426	0.36588	0.39243	0.41122
22	0.22115	0.25283	0.28087	0.31394	0.33666	0.35782	0.38382	0.40223
23	0.21646	0.24746	0.27491	0.30728	0.32954	0.35027	0.37575	0.39380
24	0.21205	0.24242	0.26931	0.30104	0.32286	0.34318	0.36787	0.38588
25	0.20790	0.23768	0.26404	0.29518	0.31657	0.33651	0.36104	0.37743
26	0.20399	0.23320	0.25908	0.28962	0.30963	0.33022	0.35431	0.37139
27	0.20030	0.22898	0.25438	0.28438	0.30502	0.32425	0.34794	0.36473
28	0.19680	0.22497	0.24993	0.27942	0.29971	0.31862	0.34190	0.35842
29	0.19348	0.22117	0.24571	0.27471	0.29466	0.31327	0.33617	0.35242
30	0.19032	0.21756	0.24170	0.27023	0.28986	0.30818	0.33072	0.34672
31	0.18732	0.21412	0.23788	0.26596	0.28529	0.30333	0.32553	0.34129
32	0.18445	0.21085	0.23424	0.26189	0.28094	0.29870	0.32058	0.33611
33	0.18171	0.20771	0.23076	0.25801	0.27577	0.29428	0.31584	0.33115
34	0.17909	0.21472	0.22743	0.25429	0.27271	0.29005	0.31131	0.32641
35	0.17659	0.20185	0.22425	0.25073	0.26897	0.28600	0.30597	0.32187
36	0.17418	0.19910	0.22119	0.24732	0.26532	0.28211	0.30281	0.31751
37	0.17188	0.19646	0.21826	0.24404	0.26180	0.27838	0.29882	0.31333
38	0.16966	0.19392	0.21544	0.24089	0.25843	0.27483	0.29498	0.30931
39	0.16753	0.19148	0.21273	0.23785	0.25518	0.27135	0.29125	0.30544
40	0.16547	0.18913	0.21012	0.23494	0.25205	0.26803	0.28772	0.30171
41	0.16349	0.18687	0.20760	0.23213	0.24904	0.26482	0.28429	0.29811
42	0.16158	0.18468	0.20517	0.22941	0.24613	0.26173	0.28097	0.29465
43	0.15974	0.18257	0.20283	0.22679	0.24332	0.25875	0.27778	0.29130
44	0.15795	0.18051	0.20056	0.22426	0.24060	0.25587	0.27468	0.28806
45	0.15623	0.17856	0.19837	0.22181	0.23798	0.25308	0.27169	0.28493
46	0.15457	0.17665	0.19625	0.21944	0.23544	0.25038	0.26880	0.28190
47	0.15295	0.17481	0.19420	0.21715	0.23298	0.24776	0.26600	0.27896
48	0.15139	0.17301	0.19221	0.21493	0.23059	0.24523	0.26328	0.27611
49	0.14987	0.17128	0.19028	0.21281	0.22832	0.24281	0.26069	0.27339
50	0.14840	0.16959	0.18841	0.21068	0.22604	0.24039	0.25809	0.27067
n>50	1.07	1.22	1.36	1.52	1.63	1.73	1.85	1.95
	$\sqrt{n}$	$\sqrt{n}$	$\sqrt{n}$	$\sqrt{n}$	$\sqrt{n}$	$\sqrt{n}$	$\sqrt{n}$	$\sqrt{n}$