

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

BADJI MOKHTAR ANNABA-UNIVERSITY
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA



جامعة باجي مختار عنابة

FACULTE DE LA TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

MEMOIRE

PRESENTEE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER

INTITULE

**ETUDE DE MAINTENANCE D'UNE
FRAISEUSE HURON MU
"AMM"
SIDER-Annaba**

DOMAINE : SCIENCES ET TECHNOLOGIE

FILIERE : GENIE MECANIQUE

SPECIALITE : INGENIERIE DE LA MAINTENANCE

PRESENTEE PAR :

FERDENACHE Djamel

DIRECTEUR DU MEMOIRE : Mr. A. KALLOUCH

DEVANT LE JURY

PRÉSIDENT: Mr. KHELIF R

Université Badji Mokhtar Annaba

EXAMINATEURS: Mr BENAMIRA N

Université Badji Mokhtar Annaba

Année : 2024/2025

Remerciement

*Tout d'abords, je remercie **Allah** de nous avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir, la force d'y croire, la patience d'aller jusqu'au bout de nos études.*

*Je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance à Monsieur l'encadreur Mr **Abd elkader KALLOUCH** pour son aide.*

*Je remercie également tous les enseignants du département de **Génie Mécanique**.*

Je tiens à remercier du fond du cœur mes parents, qui ont toujours été présents pour m'aider et me motiver, même dans les moments les plus difficiles.

Je souhaite également exprimer ma sincère gratitude à mes sœurs et frères pour leur soutien inconditionnel.

Mes remerciements seront incomplets si je ne fais pas mention ma femme, qui a toujours cru en moi et m'a encouragé à donner le meilleur de moi-même.

Enfin je remercie toutes les personnes qui m'ont soutenu pour réaliser ce travail, je pense notamment à mes collègues qui ont partagé leur expertise et m'ont apporté leur soutien sans faillir.

Sommaire

Liste des figures-----	
Liste des tableaux-----	
Introduction générale-----	01
Chapitre I : Présentation de complexe El-Hadjar	
I.1. Introduction-----	02
I.2. Historique -----	02
I.3. Description du Complexe Sider El-Hadjar-----	04
I.4.Organisation de la sécurité au niveau de complexe-----	06
I.4.1. Département PRP & BBS-----	06
I.4.2. Département sureté interne-----	06
I.4.3. Département médecine de travail-----	06
I.4.4. Service LCI -----	07
I.5. La zone de l'étude unité AMM-----	07
I.5.1. Atelier mécanique-----	08
I.5.1.1 Petite Mécanique -----	08
I.5.1.1.1 Atelier de fraisage-----	09
I.5.1.1.2 Atelier de tournage-----	09
I.5.1.1.3 Atelier de débitage et stockage 251-----	10
Chapitre II : Généralité sur les machines et de la fraiseuse HURON MU	
II.1. Introduction-----	11
II.2. Machine-outil-----	11
II.2.1. Procédés d'usinage-----	11
II.2.1.1. Tournage-----	11
II.2.1.2. Perçage-----	11
II.2.1.3. Rectification-----	12
II.2.1.4. Rabotage-----	12
II.2.1.5. Mortaisage-----	13
II.2.1.6 Fraisage-----	13
II.2.1.6.1. Classification des fraiseuses-----	14
II.2.1.6.2. Caractéristiques des fraiseuses-----	16
II.2.1.6.3. Procédés de fraisage-----	16
II.2.1.6.4. Opérations de fraisage-----	16
II.2.1.6.5. Caractéristiques des fraises-----	17
II.2.1.6.6. Différents types des fraises-----	18
II.2.1.6.7. Modes de coupe-----	18
II.3. Description de la fraiseuse HURON MU-----	19
II.4. Composant de fraiseuses HURON MU-----	20
II.5. Mise en route et fonctionnement de fraiseuse HURON MU-----	21
II.5.1. Mise en marche et arrêt-----	21

II.5.2. Fonctionnement-----	21
II.6. Charge de la machine-----	23
II.7. Conclusion-----	23

Chapitre III : Généralité sur la maintenance

II.1. Introduction-----	24
III.2. La maintenance-----	24
III.2.1. Introduction-----	24
III.2.2. Rôle de la maintenance-----	25
III.3. Position du service maintenance au sein de l'entreprise-----	26
III.4. Les fonctions et tâches associées à la maintenance-----	26
III.4.1. La fonction « Études et méthodes »-----	26
III.4.2. La fonction « Exécution mise en œuvre »-----	27
III.4.3. La fonction « Documentation »-----	27
III.5. Méthodes de maintenance.-----	28
III.6. Types de maintenance.-----	28
III.6.1. Maintenance corrective -----	28
III.6.2. Maintenance préventive :-----	29
III.6.3. Maintenance préventive systématique-----	29
III.6.4. Maintenance préventive conditionnelle -----	29
III.6.5. Maintenance prévisionnelle -----	29
III.7. Les niveaux de maintenance-----	29
III.8. Les opérations de maintenance-----	30

Chapitre IV. Notions de base de la fiabilité

IV.1. Introduction-----	32
IV.2. Généralités-----	32
IV.2.1. Définition de la panne-----	32
IV.2.2. Définition de la défaillance-----	32
IV.2.3. Paramètres d'identification des défaillances-----	33
IV.2.4. Matériel réparable -----	34
IV.2.5. Matériel irréparable -----	34
IV.2.6. Les grandeurs de temps-----	34
IV.3. Fiabilité et sûreté de fonctionnement -----	35
IV.3.1. Définition de la SdF-----	36
IV.3.2. Définition de la sécurité-----	36
IV.3.3. Définition de la disponibilité-----	36
IV.3.4. Définition de la fiabilité-----	37
IV.3.5. Définition de la maintenabilité-----	39
IV.4. Etude de FMD-----	40
IV.4.1. Loi de probabilité-----	40
IV.4.2. Loi de weibull-----	40
IV.4.2.1. Signification des paramètres du modèle de WEIBULL-----	41
IV.4.3. Test de KOLMOGOROV – SMIRNOV-----	43

IV.5. la Relation entre les notions FMD-----	44
Chapitre V. Résultats et discussions	
V.1. Introduction-----	45
V.2. Analyse ABC ou la loi de Pareto-----	45
V.3. L'application Pratique des méthodes d'analyse-----	45
V.4. Application du modèle de WEIBULL-----	49
V.5. Test (KOLMOGOROV SMIRNOV)-----	51
V.6. Calcul du MTBF-----	52
V.7. Etude de modèle de weibull-----	53
V.8. Maintenabilité de la fraiseuse HURON-MU-----	56
V.9. Calcul la disponibilité de la fraiseuse-----	57
V.10. Périodicités-----	60
V.11. Mettre en place un programme d'entretien préventif-----	63
V.12. Démarche pratique d'une fraiseuse HURON MU -----	65
V.12.1. Analyse Fonctionnelle de la fraiseuse -----	65
V.12.2. Décomposition fonctionnelle-----	65
V.12.3. L'analyse externe de la fraiseuse HURON MU-----	66
V.12.4. L'analyse interne de la fraiseuse HURON MU-----	66
V.12.5. Diagramme causes-effet-----	67
Conclusion générale-----	70
Références bibliographique-----	
Résumé -----	

Liste des figures

Figure I.1. Complexe SIDER EL-HADJAR

Figure I.2. Plan du complexe El Hadjar.

Figure I.3. Organigramme présentant l'organisation de la sécurité au niveau du complexe.

Figure I.4. Découpage zonal des AMM.

Figure I.5. a).Fraisage universel à CNC, b).Fraiseuse huron mu 6, c).Fraiseuse huron mu 5.

Figure I.6. a).Tournage parallèle (//) conventionnel à CNC, b). Tour Parallèle 16D20.

Figure I.7. a). Tour Parallèle 16D25, b). Tour Parallèle 1M63B.

Figure I.8. a).Scie alternatif EBS 360 U, **b).** Machine à centré SABO, **c).** Stock des pièces fini.

Figure. II.1. Schéma d'un Tour

Figure. II.2. Perceuse.

Figure. II.3. Rectifieuse.

Figure. II.4. Raboteuse

Figure. II.5. Mortaiseuse.

Figure. II.6. Mouvement de coupe et d'avance.

Figure. II.7. Fraisage horizontale

Figure. II.8. Fraisage verticale

Figure. II.9. Fraisage universelle

Figure. II.10. Fraisage commande numérique

Figure. II.11. Fraiseuse multibroches.

Figure. II.12. Caractéristiques des fraises

Figure. II.13. Types des fraises

Figure. II.14. Fraisage en avalant

Figure. II.15. Fraisage en opposition

Figure. II.16. commande de la machine HURON MU

Figure III.1. Méthodes de maintenance

Figure IV.1. Chronogramme d'un matériel réparable.

Figure IV.2. Chronogramme d'un matériel irréparable.

Figure IV.3. La présentation des différentes grandeurs de temps.

Figure IV.4. Les concepts associés à la SdF.

Figure IV.5. Facteurs influents la disponibilité.

Figure IV.6. Facteurs influents la fiabilité.

Figure. IV.7. Courbe en baignoire du taux de défaillance λ fonction de temps

Figure. IV.8. Influence de β sur : a)densité de probabilité, b) la fiabilité, c) le taux de défaillance.

Figure. IV.9. La relation entre les notions FMD

Figure.V.1. Histogramme de Pareto

Figure.V.2. Papier de WeiBull

Figure.V.3. La Courbe de Fonction Répartition.

Figure. V.4. La Courbe De la Fonction Fiabilité.

Figure. V.5. La Courbe De la Fonction de défaillance.

Figure. V.6. La Courbe De taux de défaillance.

Figure. V.7. La Courbe De maintenabilité.

Figure. V.8. La Courbe De disponibilité.

Figure. V.9. Analyse Fonctionnelle d'une fraiseuse HURON MU

Figure. V.10. Décomposition fonctionnelle d'une fraiseuse HURON MU

Figure. V.11. L'analyse externe de la fraiseuse HURON MU

Figure. V.12. L'analyse interne de la fraiseuse HURON MU

Figure. V.13. Diagramme causes-effet

Liste des tableaux

Tableau I.1. Dénomination des Installations et ces activités Principales.

Tableau III.1. Les niveaux de maintenance

Tableau IV.1. Facteurs influents la maintenabilité

Tableau V.1. Pratique de l'analyse ABC

Tableau V.2. Historique des pannes de la fraiseuse Huron MU

Tableau V.3. L'analyse ABC (Pareto)

Tableau.V.4. Détermination la fonction de répartition $F(t)$

Tableau. V.5. test de kolmogrov-smirnov

Tableau V.6. Etude de modèle de weibull

Tableau V.7. Maintenabilité

Tableau V.8. Disponibilité

Tableau V.9. Stratégie d'un plan de maintenance

Résumé

Le travail présenté dans ce mémoire s'inscrit dans le cadre de la maintenance industrielle. Notre mémoire de fin d'études est consacré au diagnostic de la fraiseuse HURON MU qui se trouve dans les AMM au niveau du complexe El-hadjar. Ce travail définit le principe du procédé de fraisage ; ainsi que l'explication du fonctionnement de la fraiseuse. Pour pouvoir diagnostiquer avec des outils simples les défaillances qui sont la cause de son arrêt. En utilisant le savoir acquis pendant notre cursus, nous avons proposé une stratégie de maintenance pour cette dernière pour assurer le bon fonctionnement. On a concentré sur la prévision et la maintenance systématique. Aussi on a étudié l'amélioration de la périodicité sur un plan systématique et conditionnelle.

Mots clés : maintenance industrielle, fraisage, fraiseuse HURON MU, périodicité.

Abstract

The work presented in this thesis is part of industrial maintenance. Our final thesis is devoted to the diagnosis of the HURON MU milling machine which is located in the AMM at the El-hadjar complex. This work defines the principle of the milling process; as well as the explanation of the operation of the milling machine. To be able to diagnose with simple tools the failures which are the cause of its shutdown. Using the knowledge acquired during our course, we proposed a maintenance strategy for the latter to ensure proper operation. We focused on forecasting and systematic maintenance. Also we studied the improvement of the periodicity on a systematic and conditional level.

Keywords: industrial maintenance, milling, HURON MU milling machine, frequency.

ملخص

يندرج العمل المقدم في هذه الرسالة ضمن إطار الصيانة الصناعية. وتحصص رسالتنا الأخيرة لتشخيص آلة الطحن HURON MU، الموجودة في مركز الصيانة (AMM) بمجمع الحجار. يُعرف هذا العمل مبدأ عملية الطحن، بالإضافة إلى شرح آلية عملها. وهذا يُمكّنا من تشخيص الأعطال التي تُسبّب توقفها باستخدام أدوات بسيطة. وباستخدام المعرفة المكتسبة خلال دراستنا، اقتربنا استراتيجيّة صيانة للآلئ لضمان تشغيلها بكفاءة. ركزنا على التبيّؤ والصيانة المنهجية. كما درسنا تحسين التردد على مستوى منهجي وشروطي.

الكلمات المفتاحية: الصيانة الصناعية، الطحن، آلة طحن MU HURON ، التردد.

Introduction générale

Dans le contexte industriel actuel, marqué par une automatisation croissante et une dépendance accrue vis-à-vis des équipements de production, la fiabilité et le bon fonctionnement des machines-outils sont devenus des piliers fondamentaux de la performance opérationnelle. Une défaillance inattendue peut entraîner des arrêts de production coûteux, des retards de livraison et une perte significative de rentabilité. C'est pourquoi la maintenance industrielle a évolué d'une simple fonction de réparation à une discipline stratégique visant à optimiser la disponibilité, la durée de vie et l'efficacité des équipements.

Ce travail s'inscrit précisément dans cette optique en se focalisant sur l'étude de la fiabilité et du bon fonctionnement d'une fraiseuse Huron MU. Reconnue pour sa précision et sa robustesse, la fraiseuse est une machine-outil essentielle dans de nombreux processus de fabrication. Cependant, même les équipements les plus performants nécessitent une gestion rigoureuse pour maintenir leur niveau de performance optimal tout au long de leur cycle de vie. Nous explorerons comment les outils et les méthodes de la maintenance industrielle peuvent être appliquées pour analyser, améliorer et garantir la disponibilité de cette machine critique. L'objectif est de minimiser les risques de panne, d'optimiser les coûts de maintenance et, in fine, d'assurer une production continue et de qualité.

Le mémoire est structuré en cinq chapitres :

- Le premier chapitre est consacré à la présentation de l'entreprise Arcelor Mittal et à un bref aperçu sur l'unité AMM et les ateliers de la chaîne de production.
- Dans le deuxième chapitre, on définit les généralités des machines-outils conventionnelles, consiste à la description générale de la fraiseuse HURON MU, les composants, et le mode de fonctionnement.
- Le troisième chapitre portera sur des généralités sur la maintenance
- Le quatrième chapitre portera sur des notions de base sur la fiabilité
- Le cinquième chapitre, on va présenter les résultats trouvés dans ce travail, un plan de maintenance sera proposé pour la fraiseuse étudiée, et les moyens à mettre en place pour le bon fonctionnement des équipements en général.

Chapitre I

*Présentation de
complexe SIDER*

El-Hadjar

I.1. Introduction

Le développement technologique et l'industrialisation à l'échelle mondiale ont malheureusement engendré des nombreuses pertes de production à cause des arrêts répétitifs dus à la fatigue usure et mauvaise utilisation des équipements. Cet état peut aussi engendrer des dangers pour le personnel. Pour prévenir ou éliminer ces risques, une vigilance constante et une connaissance approfondie des causes et facteurs provoquant des temps considérables d'arrêts et manque à gagner.

Le complexe sidérurgique SIDER EL-HADJAR, par exemple, est une installation majeure qui présente de multiples risques susceptibles de provoquer une mauvaise maintenance et prise en charge des différents équipements de production pour une meilleure disponibilité.

Parmi les machines en exploitation, les fraiseuses au niveau des AMM (Sider) sont des moyens de production nécessaires ; donc qui doivent être sujet de notre attention du point de vue maintenance.

I.2. Historique

Durant la période coloniale, les autorités françaises ont créé la Société Bônoise de Sidérurgie (SBS), une initiative intégrée au plan de développement de l'Est algérien de 1958.

Après l'indépendance, l'Algérie a mis en place une politique économique ambitieuse visant à doter le pays d'une usine sidérurgique capable de soutenir et de développer tous les secteurs de son économie. Dans ce contexte, le secteur de la sidérurgie-métallurgie a bénéficié d'une attention particulière. C'est ainsi qu'a été fondée la Société Nationale de Sidérurgie (SNS). Cette entité regroupe plusieurs filiales majeures, dont le complexe d'El-Hadjar, GENISIDER, TRAVOSIDER, REALSIDER, et ACILOR. La SNS a notamment entrepris d'importants travaux d'extension du complexe d'El-Hadjar, portant sa capacité de production à 200 000 tonnes par an.

Dans les années 1980, la Société Nationale de Sidérurgie (SNS) a connu une restructuration majeure, donnant naissance au groupe SIDER. Ce nouveau groupe intègre le complexe sidérurgique d'El-Hadjar, une installation d'une importance capitale pour l'économie algérienne. La mission principale du complexe d'El-Hadjar est de valoriser le minerai de fer et de produire des semi-produits sidérurgiques. Ces produits sont essentiels pour approvisionner les autres secteurs de l'industrie algérienne, jouant ainsi un rôle clé dans la chaîne de valeur.

C'est en accord avec cette mission stratégique que la configuration actuelle du complexe a été établie et optimisée.

Le complexe est subdivisé en quatre (**04**) zones de productions érigées en sous-direction.

1- **La zone matière en fonte (MPF)** : elle comprend trois (03) unités :

- La Cokerie
- La préparation de la matière et agglomération (PMA)
- Les hauts Fourneaux HF1 et HF2

2- **La zone de produits plats PPL**: elle comprend aussi trois structures :

- Laminoir à Chaud (LAC)
- Laminoir à Froid (LAF)
- Revêtement Par Achèvement (RPA)

3- **La zone de produits long PLG** : elle est constitué par deux unités :

- Laminoir a fil et rond (LFR)
- Laminoir rond a béton (LRB)

4- **La zone des aciéries** : qui est constitué de trois unités :

- Aciérie à oxygène N°01 : ACO1
- Aciérie à oxygène N°02 : ACO2
- Aciérie électrique : ACE

Le partenariat de SIDER avec le groupe LNM Holding NV « basé à Londres» à commencer dès le 18 Octobre 2001 par la signature d'un protocole d'accord entre le gouvernement et ce groupe (LNM), prévoit le transfert de 70% des actifs de l'usine sidérurgique d'ALFASID et de neuf (09) autres filiales de SIDER à savoir : ALFATUB, COMERSID, IMAN, GESSION, AMM, FERSID, COPROSID et CRYOSID.

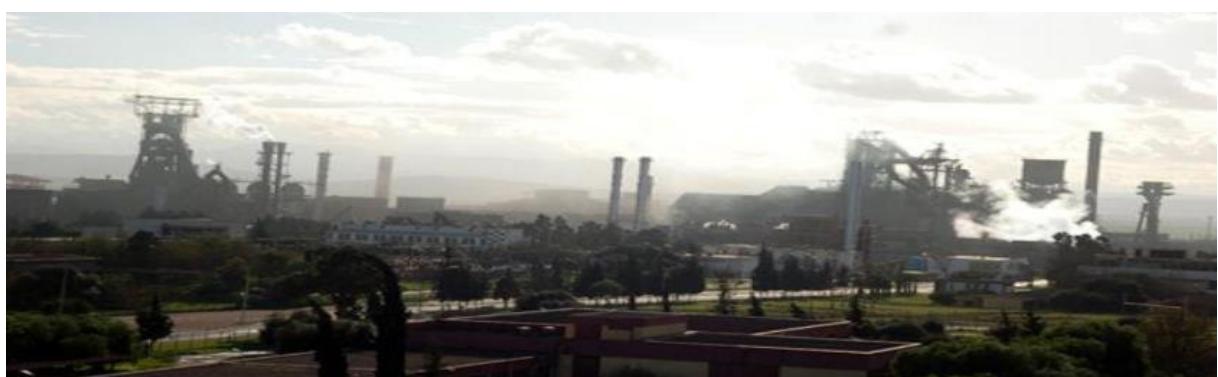


Figure I.1. Complexe SIDER EL-HADJAR.

I.3. Description du Complexe Sider El-Hadjar : [1]

Le complexe sidérurgique d'El-Hadjar, situé à seulement 15 km de la ville d'Annaba, est une installation industrielle majeure en Algérie. Son approvisionnement est stratégiquement organisé : le minerai de fer arrive par voie ferrée depuis les mines d'El Ouenza et de Boukhadra, situées à environ 150 km au sud-est. Le charbon est acheminé depuis le port d'Annaba, également relié par une double voie ferrée. Les produits finis du complexe sont ensuite distribués par le réseau ferroviaire vers l'ensemble du pays et vers le port pour l'exportation.

S'étendant sur une vaste superficie de 800 hectares, dont 300 hectares dédiés aux ateliers de production sidérurgique et 200 hectares aux voies de communication, le complexe d'El-Hadjar est un acteur clé de l'industrie. L'entreprise Sider El-Hadjar d'Annaba est reconnue comme l'une des plus importantes entreprises sidérurgiques d'Afrique et représente une entreprise phare de l'Est algérien sur le plan national.

Tableau I.1. Dénomination des Installations et ces activités Principales.

Dénomination des Installations	Activité Principale
• Cokerie	Production du coke
• Unité de préparation matière et aggloméré (PMA)	Production d'aggloméré
• Hauts fourneaux (HFX)	Production de la fonte liquide
• Aciéries à oxygène (ACO1 et ACO2)	Acier liquide ACO1 : Brames, ACO2 : Billettes
• Aciérie électrique (ACE)	Acier liquide, billettes et lingots
• Laminoir à chaud (LAC)	Bobines
• Laminoir à Froid (LAF)	Bobines ; Bobines galvanisée, TN 40 galvanisées
• Laminoir à Fil et rond (LFR)	Fil machines et rond à béton
• Unité de tuberie sans soudure (TSS)	Tubes casing et pipeline
• Ateliers de construction (ATC)	Maintenance
• Ateliers de traitement de surface	Electrodéposition du cuivre-nickel et chrome
• Ateliers maghrébins de mécanique (AMM)	Fabrication mécanique

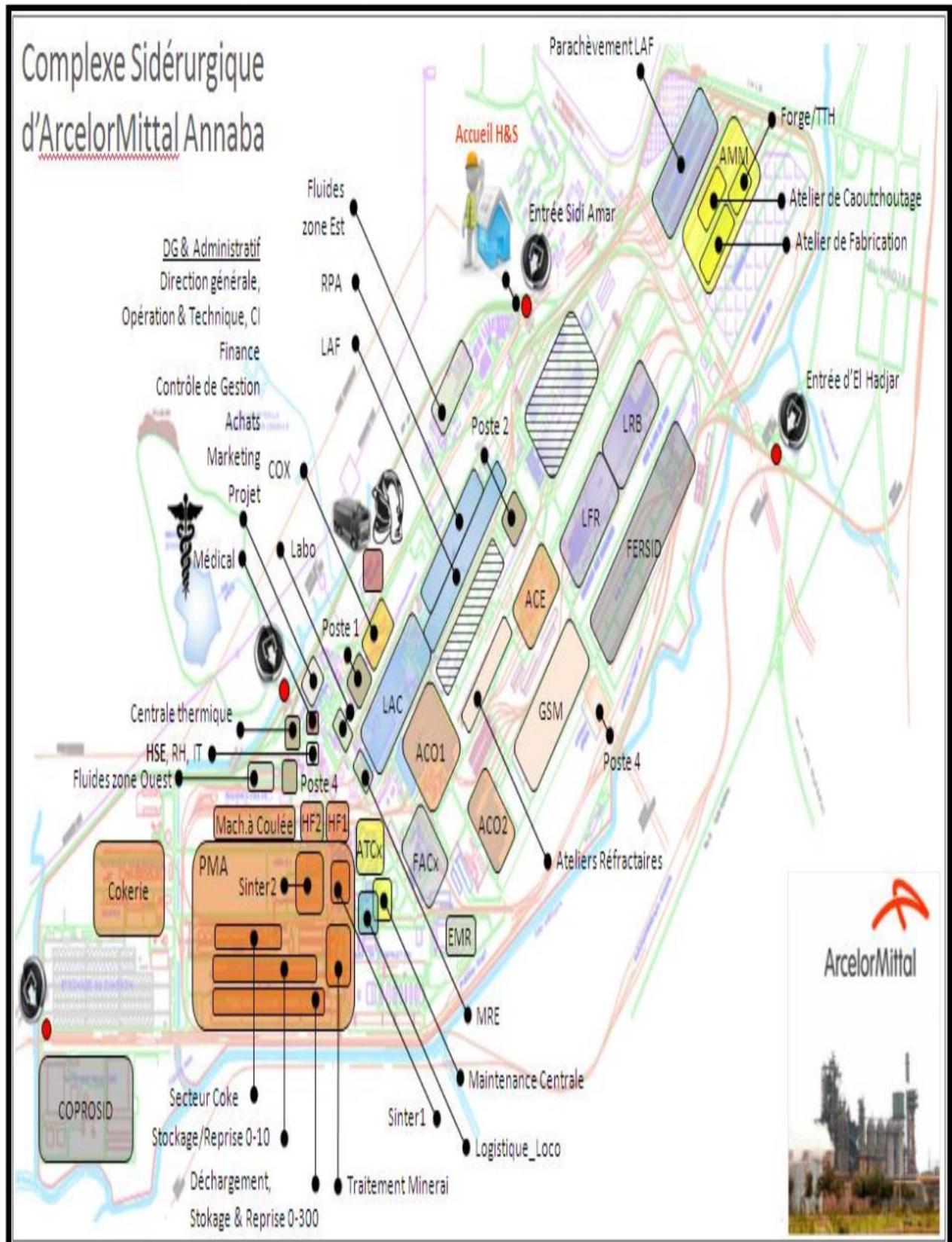


Figure I.2. Plan du complexe El Hadjar.

I.4.Organisation de la sécurité au niveau de complexe

Organisation de la sécurité au niveau de complexe sidérurgique a connu plusieurs étapes, et ce d'après les objectifs tracés, les moyens humains, matériel et/ou organisationnels sont mis en place pour atteindre les objectifs tracés.

L'organisation actuelle est représentée par l'organigramme ci-dessous :

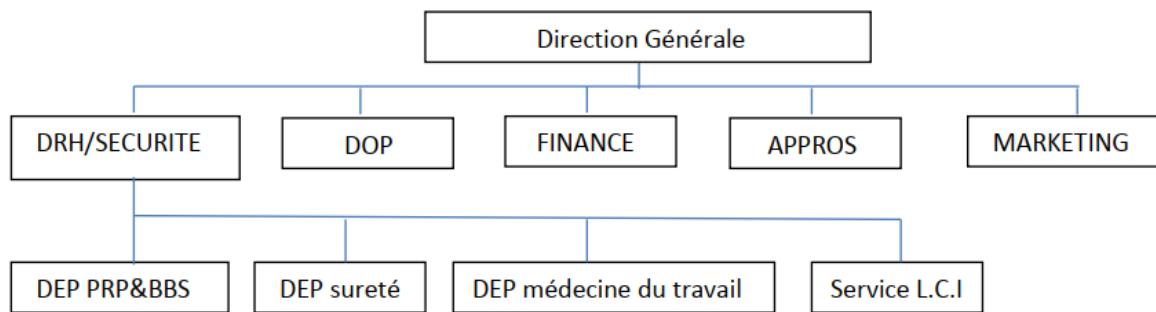


Figure I.3. Organigramme présentant l'organisation de la sécurité au niveau du complexe.

La direction sécurité est organisée en quatre départements :

I.4.1. Département PRP & BBS : département de prévention des risques professionnels, ce département a comme rôle de :

- 1-Définir la politique de l'entreprise en matière de sécurité.
- 2-Proposer et de déployer les programmes pour l'atteinte des objectifs.

Ce département est organisé et géré par une équipe en central et des représentants au niveau des unités opérationnels.

I.4.2. Département sureté interne : le département sureté interne a pour rôle, la sureté au niveau du complexe, le gardiennage au niveau des accès, la gestion des entrées et sortie des matières.

I.4.3. Département médecine de travail : le département MTV a pour rôle le développement de la médecine de travail en milieu professionnels, ce département a pour principal rôle une médecine préventive à travers : des visites médicales périodique pour l'ensemble des travailleurs, les études de postes et visites des lieux de travail, participation des médecins dans les commissions d'hygiène et de sécurité des unités et de l'entreprise, le département gère aussi les urgences par la prise en charge des accidentés, possédants aussi un laboratoire et un service de radiologue.

I.4.4. Service LCI : lutte contre l'incendie, ce service a pour rôle d'assurer les secours en cas d'accident et d'incendie, disposant d'un personnel formé (pompiers interne) et des équipements d'urgences (camions de lutte contre les incendies, des ambulances médicalisés)

I.5. La zone de l'étude unité AMM

Dans le souci de répondre aux besoins accrus en pièce de rechange, l'entreprise nationale de sidérurgie «SIDER» s'est dotée en 1993 de nouvelles capacités de production, les ateliers maghrébins de mécanique (A.M.M) constituant une filiale de SIDER.

Les A.M.M ont pour vocation principal de répondre aux besoins de l'industrie sidérurgique et mécanique aussi bien en : pièces de rechanges consommables, ensembles mécaniques neufs, mais aussi rénovation et réparations. Leurs capacités tant matérielles qu'humaines, les mettent en position de satisfaire les besoins aussi bien sur le marché local qu'à l'export, la pétrochimie, les industries de transformation et autres.

Les ateliers maghrébins de mécanique (A.M.M) sont situés dans l'enceinte du complexe sidérurgique d'ARCELOR-MITTAL. Ils sont reliés au réseau routier, ferroviaire national et maghrébin ainsi qu'au port commercial d'ANNABA. Leurs ateliers s'étalent sur un terrain d'une superficie de 36 hectares et se composent d'un ensemble d'ateliers et de bâtiments auxiliaires :

- Un atelier mécanique ou usinage de 16128m²
- Un atelier de forge de 5256 m²
- Un parc à fer central de 2160 m²
- Un atelier de caoutchoutage 3200 m²
- Des bâtiments auxiliaires (Bâtiment Administratif, Techno Commercial, etc....)

Devant constituer un ensemble industriel intégrer, les A.M.M seront dotés d'un atelier de fonderie actuellement en projet pour l'élaboration de pièces moulées en fonte, acier et métaux non ferreux.

Le potentiel humain des A.M.M est composé d'ingénieurs, de techniciens et d'opérateurs hautement qualifiés ayant accumulés plusieurs années d'expérience dans les différentes spécialités de la mécanique (études, méthodes de programmation, forage, traitement thermique, tournage, fraisage, alésage, etc....). [13]

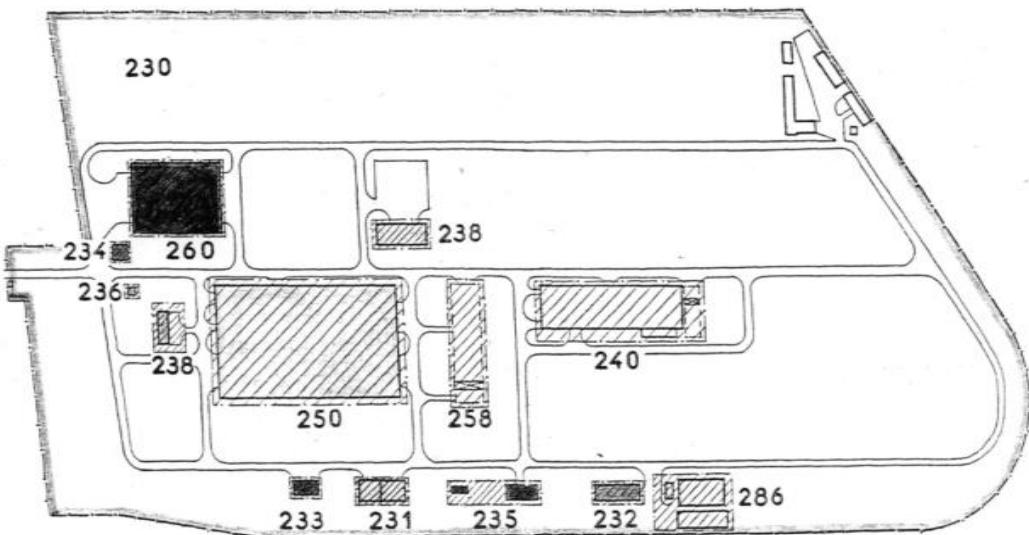


Figure I.4. Découpage zonal des AMM.

230 - AMM-service communs.

231 - Sous-traitance de distribution électrique.

232 - Station des compresseurs

233 – Chaufferie.

234 - Station de pompage du condensat.

236 - Station de pompage des eaux usées

238 - Services administratifs.

240 - AMM-Forage.

250 - AMM-Usinage.

258 - AMM- parc à fer central.

260 - AMM-Caoutchoutage

286 - Magasins centraux.

I.5.1. Atelier mécanique, atelier d'usinage 250 Equipé de 250 machines toutes spécialités (tournage, fraisage, taillage, rectification, affutage, rechargement, soudage, oxydécoupage et traitement thermique) Conçu pour la réalisation unitaire ou en petites séries de pièces mécaniques à partir d'ébauches de forge, de fonderie et produits laminés. Equipé d'une centaine de machines-outils conventionnelles et à commande numérique destinée à la fabrication et à la rénovation d'équipements mécaniques. Cet atelier regroupe un ensemble de machines universelles, réparties en : Quatre secteurs de production :

- Grosse Mécanique de 2.592 m², sous ponts roulants de 16 et 32 T,
- Moyenne Mécanique de 2.160 m², sous ponts roulants de 10 et 16 T,
- Petite Mécanique de 2.592 m², sous ponts roulants de 10 T.

- Outilage
- Secteur Traitement thermique [13].

I.5.1.1 Petite Mécanique Cet atelier est divisé en deux ateliers, le premier atelier pour le fraisage et le deuxième atelier pour le tournage.

I.5.1.1.1 Atelier de fraisage

Equipement principaux :

- Fraisage universel à CNC.
- Fraisage universel conventionnel HURON MU.



Fig. I.5. a).Fraisage universel à CNC, b).Fraiseuse huron mu 6, c).Fraiseuse huron mu 5.

I.2.1.1.2 Atelier de tournage

Equipement principaux :

- Tournage parallèle (//) conventionnel à CNC.
- Tour Parallèle 16D20.
- Tour Parallèle 16D25
- Tour Parallèle 1M63B



Fig. I.6. a).Tournage parallèle (//) conventionnel à CNC, b). Tour Parallèle 16D20.



Fig. I.7. a). Tour Parallèle 16D25, **b).** Tour Parallèle 1M63b.

I.2.1.1.3 Atelier de débitage et stockage 251

Equipements principaux :

- Scie alternatif EBS 360 U
- Machine à centrer SABO basic160
- Stock des pièces fini



Fig. I.8. a). Scie alternatif EBS 360 U, **b).** Machine à centré SABO, **c).** Stock des pièces fini.

Chapitre II

*Généralité sur les
machines et de la
fraiseuse HURON MU*

II.1. Introduction

Pour fabriquer une pièce en mécanique industrielle à partir de matériaux livrés sous forme semi-finie (tôles, barres, etc.), un éventail de techniques est nécessaire. L'usinage en fait partie, consistant à retirer de la matière au moyen d'un outil coupant. Chaque pièce usinée suit une série d'opérations successives, définies par une gamme d'usinage établie par le bureau des méthodes, en se basant sur le dessin de définition fourni par le bureau d'études. L'usinage classique est exécuté sur des machines-outils, qu'elles soient conventionnelles ou automatisées, en appliquant les règles fondamentales de la coupe des métaux.

II.2. Machine-outil

II.2.1. Procédés d'usinage

L'objectif de l'usinage est d'ajuster les pièces brutes pour qu'elles atteignent la forme, les dimensions et la tolérance requises par le dessin de définition. Cela se fait par enlèvement de matière (copeaux) sur des machines-outils appropriées. Les opérations de coupe varient selon la surface à créer et la machine-outil, incluant notamment le tournage, le perçage, la rectification, le fraisage et le rabotage

II.2.1.1. Tournage

Le tournage s'effectue sur machine dite tour, voir figure. II.1. Lors du tournage, la pièce tourne sur son axe tandis que l'outil pénètre sa surface à une profondeur définie, avançant continuellement de manière parallèle ou perpendiculaire à l'axe de la pièce.



Figure. II.1. Tour Universel.

II.2.1.2. Perçage

Le perçage, réalisé sur une perceuse (voir figure II.2), consiste à maintenir la pièce fixe pendant que l'outil effectue simultanément un mouvement de coupe et un mouvement d'avance le long de son axe.



Figure. II.2. Perceuse.

II.2.1.3. Rectification

La rectification s'effectue sur des rectifieuses planes ou cylindriques (figure II.3), où la meule tourne tandis que la pièce se translate (rectification plane) ou combine rotation et translation axiale (rectification cylindrique). [8],



Figure. II.3. Rectifieuse.

II.2.1.4. Rabotage

Le rabotage s'effectue sur des raboteuses (figure II.4) ou étaux-limeurs. La pièce se déplace en translation sur une raboteuse, tandis que l'outil avance latéralement. Inversement, sur un étau-limeur, l'outil effectue un mouvement rectiligne de va-et-vient, avec un déplacement latéral de la pièce après chaque course de travail.



Figure. II.4. Raboteuse

II.2.1.5. Mortaisage

Le mortaisage est une opération analogue au rabotage, seulement le mouvement de l'outil se fait verticalement, et ce mode d'usinage s'intéresse généralement au travail des surfaces intérieures, voir figure .II.5.



Figure. II.5. Mortaiseuse.

II.2.1.6 Fraisage

Une fraiseuse est une machine-outil utilisée pour usiner tous types de pièces mécaniques, à l'unité ou en série, par enlèvement de matière à partir de blocs ou parfois d'ébauches estampées ou moulées, à l'aide d'un outil nommé fraise. La fraise munie de dents est mise en rotation et taille la matière suite à son déplacement ou au déplacement de la pièce en direction de ladite fraise. La forme de la fraise est variable. Elle peut être cylindrique, torique, conique, hémisphérique ou quelquefois de forme encore plus complexe. La fraise est souvent montée sur une tête à trois axes (on parle alors de fraiseuse trois axes). Il existe des fraiseuses à quatre ou cinq axes. Les caractéristiques physiques de la fraise, sa fréquence de rotation, son avance, dépendent de la matière à usiner, de la profondeur de travail et de la coupe. On utilise principalement le carbure de tungstène recouvert de revêtements résistant à l'abrasion du copeau.

Il existe les fraiseuses manuelles où les mouvements sont commandés par le "fraiseur", les fraiseuses à apprentissage qui peuvent répéter les mouvements donnés une fois par l'opérateur (enregistrement des mouvements) et les fraiseuses à commande numérique où sont enregistrés des ordres de mouvement d'outil pour usiner une pièce complexe (pilotée par un programme informatique en langage ISO(langage)). Elles sont équipées d'un organe de contrôle informatique (automate programmable ou base PC) lui-même relié à un réseau. La CAO associée à la fabrication se nomme FAO ou CFAO. [5]

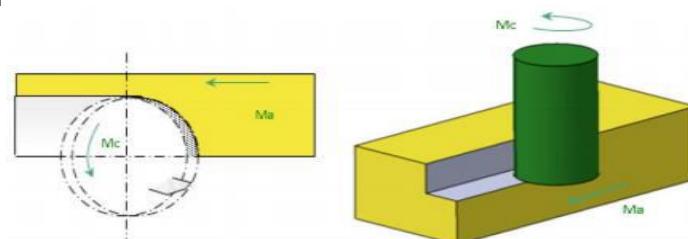


Figure. II.6. Mouvement de coupe et d'avance.

II.2.1.6.1. Classification des fraiseuses

Avant l'avènement de la commande numérique, les fraiseuses étaient catégories de la façon suivante : [2]

A). Fraiseuse horizontale

La fraiseuse horizontale (figure II.7) : l'axe de la broche est parallèle à la table. Cette solution permet aux copeaux de tomber et donc de ne pas rester sur la pièce. De cette manière, on n'usine pas les copeaux, et la qualité de la pièce est meilleure. Mais ce type de montage était surtout destiné à installer des fraises 3 tailles ou fraises disques dans le but de réaliser des rainurages de profilés plats.

[1]



Figure. II.7. Fraisage horizontale

B). Fraiseuse verticale

La fraiseuse verticale : l'axe de la broche est perpendiculaire à la table voir figure. II.8.



Figure. II.8. Fraisage verticale

C). Fraiseuse universelle

La fraiseuse universelle : l'axe de la broche est réglable [1] :

- tête bi-rotative, avec 2 coulisses circulaires (perpendiculaires l'une par rapport à l'autre) ;
- tête oblique, avec 2 coulisses circulaires (inclinée à 45°) ;
- tête articulée.



Figure. II.9. Fraisage universelle [6]

D). Fraiseuses de production (a programme, commande numérique)

La commande numérique est une technique utilisant des données composées de codes alphanumériques pour représenter les instructions géométriques et technologiques nécessaires à la conduite d'une machine ou d'un procédé.



Figure. II.10. Fraisage commande numérique

E). Fraiseuses spéciales

Il existe des fraiseuses spéciales multibroches par exemple figure. II.11.



Figure. II.11. Fraiseuse multibroches Numérique.

II.2.1.6.2. Caractéristiques des fraiseuses

a) Fonctionnelles [2]

- ✓ Puissance du moteur.
- ✓ Gamme des vitesses de broche et d'avances.
- ✓ Orientation de la broche.
- ✓ Orientation de la table.

b) Dimensionnelles

- ✓ Type et numéro du cône de la broche
- ✓ Longueur et largeur de la table.
- ✓ Courses de table, chariot transversal et console.
- ✓ Hauteur entre table et broche.
- ✓ Distance entre table et glissière verticale

II.2.1.6.3. Procédés de fraisage

a) Fraisage en bout

L'axe de la fraise est placé perpendiculairement à la surface à usiner. La fraise coupe avec son diamètre, mais aussi avec sa partie frontale. Les copeaux sont de même épaisseur, ainsi la charge de la machine est plus régulière. La capacité de coupe est supérieure à celle réalisée par le fraisage en roulant. La qualité de l'état de surface est meilleure. [6]

b) Fraisage en roulant

L'axe de la fraise est placé parallèlement à la surface à usiner. La fraise coupe avec son diamètre. La charge de la machine en est irrégulière, surtout lors de l'emploi de fraises à denture droite. Les à-coups provoqués par cette façon de faire donnent une surface ondulée et striée. Pour pallier ces défauts, on utilisera une fraise à denture hélicoïdale. L'amélioration enregistrée s'explique ainsi: la denture est chargée et déchargée progressivement.

II.2.1.6.4. Opérations de fraisage

- **Surfaçage** : Le surfaçage c'est l'usinage d'un plan par une fraise.
- **Plans épaulés** : C'est l'association de 2 plans perpendiculaires.
- **Rainure** : C'est l'association de 3 plans. Le fond est perpendiculaire au deux autres plans.
- **Poche** : La poche est délimitée par des surfaces verticales quelconques. C'est une forme creuse dans la pièce.
- **Perçage** : Ce sont des trous. Ils sont débouchant ou Borgnes. [10]

II.2.1.6.5. Caractéristiques des fraises

- **La taille** : Suivant le nombre d'arêtes tranchantes par dent, on distingue les fraises : une taille (fig. II.12), deux tailles ou trois tailles.
- **La forme** : Suivant le profil des génératrices par rapport à l'axe de l'outil, on distingue : Les fraises cylindriques, coniques (fig. II.12) et les fraises de forme.
- **La denture** : Suivant le sens d'inclinaison des arêtes tranchantes par rapport à l'axe de la fraise, on distingue les dentures hélicoïdales à droite (fig. II.12) ou à gauche (Fig. I.12) et les dentures à double hélice alternée. Si l'arête tranchante est parallèle à l'axe de la fraise, la denture est droite. Une fraise est également caractérisée par son nombre de dents.
- **Les dimensions** : Pour une fraise deux tailles : diamètre et hauteur taillée. Pour une fraise trois tailles : diamètre de l'outil, épaisseur, diamètre de l'alésage. Pour une fraise conique pour queue d'aronde : l'angle, le diamètre de l'outil et l'épaisseur.
- **Le mode de fixation** : A trou lisse ou taraude, à queue cylindrique ou conique.
- **Construction** : Les fraises peuvent être à denture fraisée (ex : fraise conique deux tailles α 60°), ou à denture détalonnée et fraisée (ex : fraise-disque pour crémaillères). Elles sont en acier rapide. Pour les fraises à outils rapportés sur un corps de fraise, les dents fixées mécaniquement sont en acier rapide, ou le plus souvent en carbure métallique.

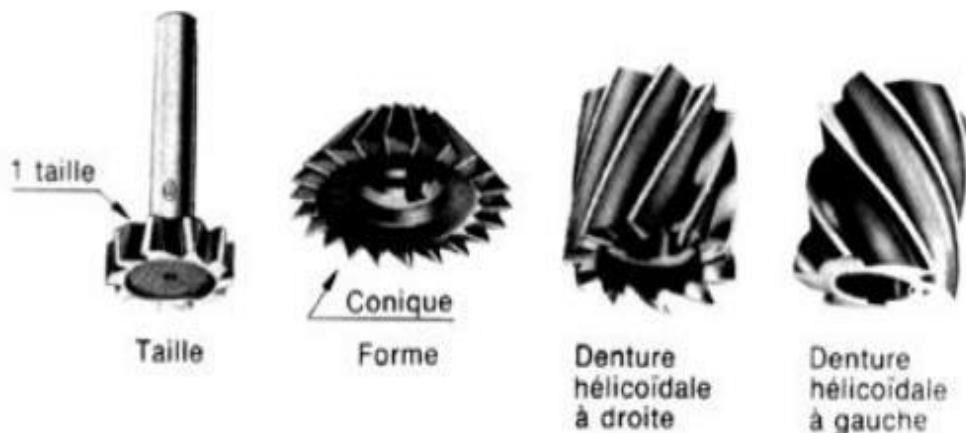


Figure. II.12. Caractéristiques des fraises [2]

II.2.1.6.6. Différents types des fraises

Il existe beaucoup types des fraises, la figure. II.13 présente les principaux types.



Figure. II.13. Types des fraises [2]

II.2.1.6.7. Modes de coupe

Il existe deux modes de coupe, selon le sens de rotation de la fraise et la direction du déplacement de la pièce à usiner. [1]

a). *Fraisage en avalant*

Le sens de rotation de la fraise et celui du déplacement de la pièce à fraiser vont dans la même direction. Les tranchants de la fraise attaquent le copeau au point d'épaisseur maximal. Cette façon de faire, en fraisage horizontal, plaque la pièce sur la table de la fraiseuse et donne des surfaces finies

de bonne qualité. Ce principe nécessite l'utilisation d'une machine robuste disposant d'une table équipée d'un système de translation avec rattrapage de jeu, ce qui est le cas sur les machines modernes. Ainsi on évite que la pièce soit "tirée" dans la fraise, voir figure. II.14.

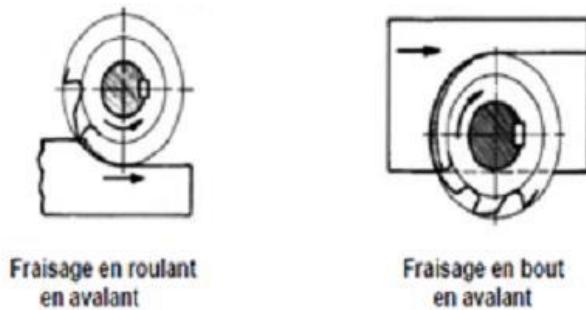


Figure. II.14. Fraisage en avalant [1]

b). Fraisage en opposition (ou conventionnel)

Le mouvement d'avance de la pièce à fraiser est opposé au sens de rotation de la fraise. Cette dernière attaque le copeau au point d'épaisseur minimal. Dans ce cas, les dents glissent sur la surface usinée avant rotation de la fraise. Cette façon de faire provoque un grand frottement d'où une usure plus rapide des tranchants de la fraise. De plus, l'effort de coupe en fraisage horizontal tend à soulever la pièce à usiner. Les copeaux peuvent également être entraînés par la fraise et se coincer entre la pièce et les arêtes de coupe, endommageant la pièce et la fraise (figure .II.15).

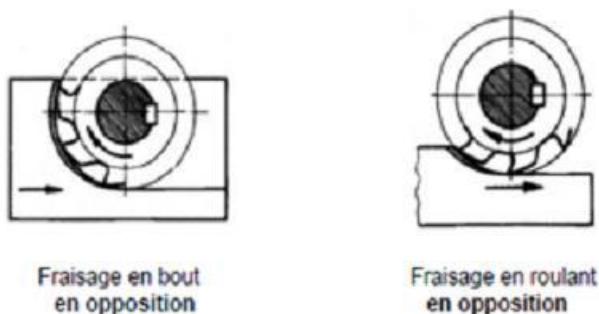


Figure. II.15. Fraisage en opposition

II.3. Description de la fraiseuse HURON MU

Les fraiseuses universelles à console HURON du type « MU » sont des machines de haute précision. Les fraiseuses HURON « MU » sont destinées au fraisage des pièces très variées d'acier, de fonte, et de métaux non ferreux particulièrement avec des fraises de face, en bout, cylindrique, à doigt pour la production des pièces séparées et en série. Elles permettent l'usinage des plans verticaux et horizontaux, des rainures, des angles, de taillage d'engrenages, le fraisage de roues dentées, des

alésoirs, des contours des cames et d'autres pièces dont l'usinage nécessite un pivotement autour de l'axe de la fraise, effectue à l'aide d'une tête de division ou d'un plateau circulaire amovible.

Les fraiseuses Français HURON de type « MU » peuvent être utilisées dans les lignes de transferts et les chaînes permettant ainsi le fraisage normal et en avalant aux régimes de coupe ordinaires aussi bien qu'aux régimes des cycles automatiques. Le rendement de la fraiseuse est maximum à l'usinage des pièces par la méthode du fraisage rapide grâce à la vitesse augmentée (jusqu'à 2066 tr/mn tr/min).

II.4. Composant de fraiseuses HURON MU

Les fraiseuses HURON MU se composent de :

- **Bâti** : Le bâti de la fraiseuse est un groupe de base portant les autres groupes et mécanismes, à l'intérieur du bâti est montée la boîte des vitesses ainsi que le réservoir d'huile, le bâti porte de la glissière verticale.
- **Console** : La console est un groupe de base qui unit tous les mécanismes de la chaîne d'avances et distribue le mouvement aux avances, verticale. La console porte les différents organes de commande et dispositifs. Dans la partie intérieure de la console il y a deux moteurs électriques moteurs des avances, moteur des avances rapides.

Le mouvement d'avances est transmis du moteur aux pignons de la console par l'intermédiaire de la boîte d'avances.

- **Table et Chariot** : Le chariot se déplace sur les glissières rectangulaires de la console à l'aide de la vis de l'avance transversale et de l'écrou fixé dans le support. La course longitudinale de la table est réalisée par une vis tournante au filetage trapézoïdale et un écrou fixe.
- **Tête porte-fraise pivotante** : Elle consiste en une broche universelle avec un rouleau porteur, monté dans une boîte séparée. La broche est montée dans une douille de serrage, sans déplacement.
- **Boîte de Vitesses** : La boîte de changement de vitesses est exécutée comme un groupe indépendant, elle assure 9 vitesses de rotation de la broche, celle-ci est actionnée par un moteur à courant alternatif.
- **Boîte d'avances** : La boîte d'avances est un groupe indépendant monté au côté gauche de console. La boîte d'avances offre 18 valeurs d'avances différentes elle comporte sur la partie inférieure ou supérieure un vernier portant les désignations des valeurs d'avances et une manette de commutation. [11]

II.5. Mise en route et fonctionnement de fraiseuse HURON MU

II.5.1. Mise en marche et arrêt

Les diverses opérations précédentes ayant été soigneusement effectuées, la machine est prête à fonctionner. Pour assurer la mise en route, il suffit d'appuyer sur le bouton MARCHE vert situé sur le pupitre. Ce bouton met en route les moteurs qui ont été présélectionnés par les boutons préparation marche de la plaque située sur le flanc gauche du bâti. En cas d'incident ou d'urgence on peut stopper la machine en appuyant sur l'un des boutons rouges (arrêt d'urgence) placés sur le pupitre à droite de la console, sur la plaque des boutons sur le bâti ainsi que sur le pendentif et la barre de sécurité. Ces boutons peuvent servir également à arrêter la machine en fonctionnement normal.

II.5.2. Fonctionnement

La fraiseuse possède (4) mouvements de travail, rotation de la broche et translation de la table, bâlier et la console. La rotation de la broche provient d'un moteur électrique, le mouvement transmit ensuite à partir de l'arbre du moteur vers la boite de vitesses par engrenage des roues dentées. Le mouvement de translation de la table, bâlier, et la console transmit par deux moteurs électriques, moteur des avances, et moteur des avances rapides. Le mouvement transmit ensuite à partir deux arbres des moteurs des avances et des avances rapides vers la boite d'avance à engrenage par le même principe de transmission.

La boite de vitesses comprend plusieurs rapports de transmission, selon le nombre de vitesses qu'on veut obtenir. La transmission du mouvement à partir de la boite de vitesses s'effectue par un engrenage des roues dentées coniques puis le mouvement et transmit à l'arbre de la broche d'un autre engrenage. Le mouvement de translation de la table, bâlier, et de la console comprend cinq mouvements. L'avance transversale, longitudinal, vertical de la table s'effectue par le système vis-écrou, cette dernière est fixée dans le support. L'avance longitudinal de bâlier et L'avance vertical de console s'effectue de la même façon que celui du mouvement de la table.

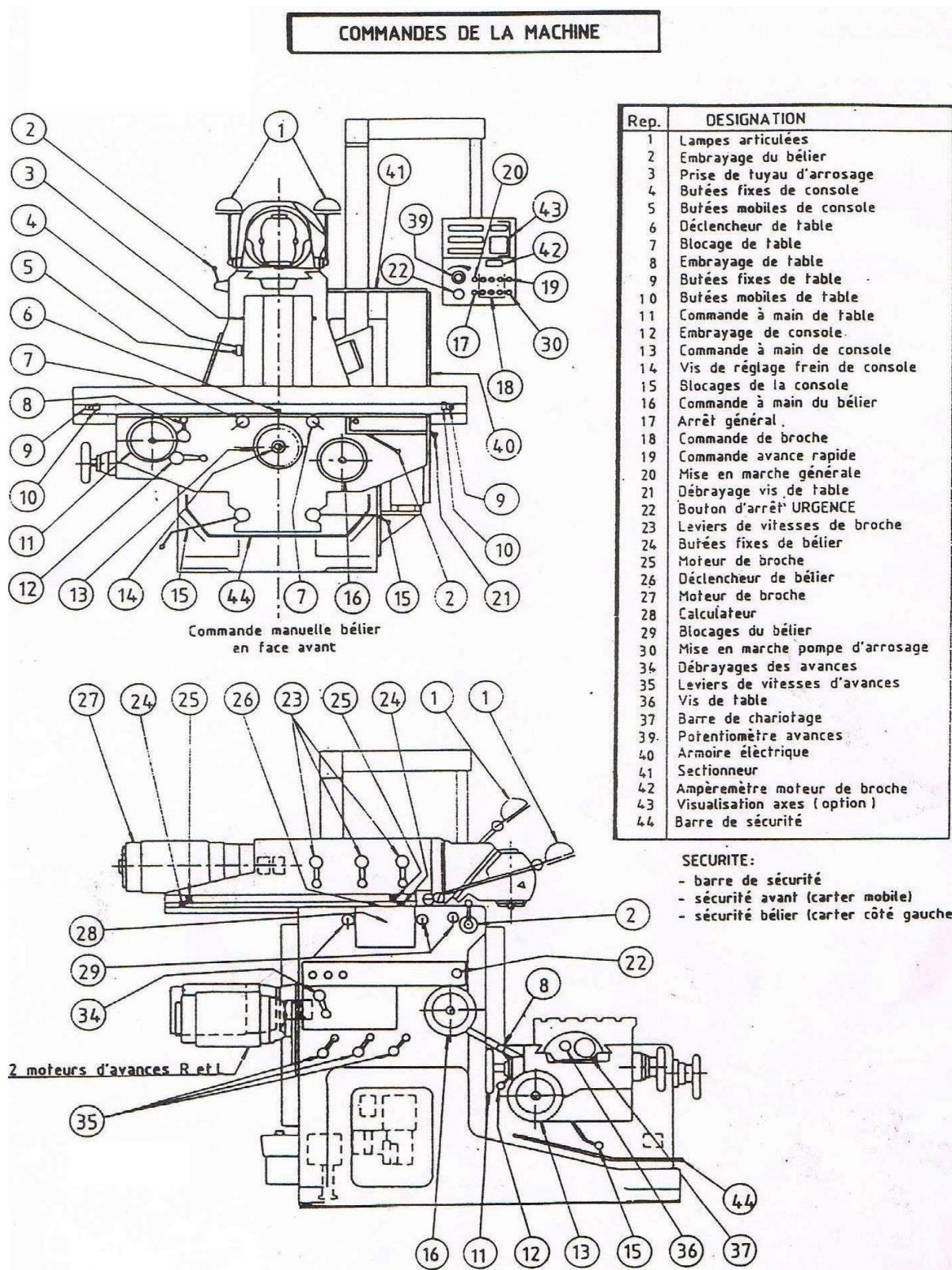


Figure. II.16. commandes de la machine HURON MU [11]

II.6. Charge de la machine

Avant d'établir un programme de maintenance préventive, il faut connaître avec précision le nombre exact d'heures de travail de la machine. Pour les fraiseuses HURON de type « MU », elles travaillent sept heures par jour, 35 heures par semaine et 140 heures par mois soit : (1800 heures par année).

II.7. Conclusion

Nous avons présentés dans ce chapitre une revue générale sur les machines-outils, dont le but de montrer les différents organes et techniques de chaque machine. Le développement de l'industrie exige une très bonne connaissance de la technicité de ces machines, pour cette raison l'intérêt, la nécessité de ces machines dans l'industrie est indispensable, et présentés la description générale de la fraiseuse HURON de type MU (composants,etc.), et le mode de fonctionnement de la fraiseuse.

Chapitre III

*Généralité sur la
maintenance*

III.1. Introduction

Les installations et équipements sont soumis à une dégradation progressive au cours de leur cycle de vie. Cette détérioration est la conséquence directe de l'usure mécanique et des déformations structurelles induites par leur fonctionnement, mais également des phénomènes de corrosion provoqués par l'exposition aux produits chimiques et à l'environnement.

Les implications de ces détériorations sont multiples et potentiellement graves : elles peuvent se traduire par des pannes entraînant des arrêts de production, une diminution significative des capacités opérationnelles, des dangers accrus pour la sécurité du personnel, une production de rebuts ou une dégradation de la qualité des produits finis, une augmentation notable des coûts d'exploitation (par exemple, une surconsommation énergétique), et une dépréciation de la valeur patrimoniale des équipements. Dans tous les cas, ces altérations génèrent inévitablement des coûts additionnels, qu'ils soient directs ou indirects.

Devant ce constat, la fonction maintenance doit évoluer. Elle ne saurait plus se contenter d'une approche réactive basée sur la surveillance et la réparation ponctuelle. Il devient impératif d'adopter des stratégies de maintenance plus sophistiquées et préventives. C'est ainsi que la maintenance moderne s'est enrichie de méthodologies intégrant à la fois les aspects techniques et organisationnels. Ces approches reposent sur une évaluation rigoureuse des risques, une analyse approfondie des retours d'expérience et une sélection logique des actions de maintenance à entreprendre. Parmi ces méthodes, l'**Optimisation de la Maintenance par la Fiabilité (OMF)** s'est imposée comme la référence au sein du secteur industriel européen.

III.2. La maintenance

III.2.1. Introduction

Les activités de maintenance se concrétisent par des interventions sur des équipements qui intègrent plusieurs technologies. Ces interventions nécessitent une maîtrise approfondie des connaissances scientifiques et techniques. Il s'agit de comprendre non seulement les systèmes, produits, processus, matériels et logiciels mis en œuvre, mais aussi leur dynamique de fonctionnement et les principes d'interaction qui les gouvernent.

La fonction maintenance, quelle que soit l'entreprise, est chargée d'effectuer toutes les tâches requises pour maintenir ou restaurer l'état opérationnel des équipements. L'objectif est clair :

- Permettre une exécution fluide des opérations (notamment en production) en optimisant les coûts, la sécurité et la qualité.
- Offrir un service de qualité supérieure (comme dans les transports ou les hôpitaux) en garantissant le meilleur confort et une gestion des coûts maîtrisée.

Pour remplir cette mission stratégique, la maintenance déploie un éventail d'activités :

- **Interventions correctives rapides** : Il s'agit de dépanner les machines, les systèmes pluritechnologiques et l'ensemble des matériels dans les plus brefs délais, tout en maîtrisant les coûts.
- **Maintenance des moyens de production** : Cela inclut la réparation, la révision, la rénovation et le maintien en état opérationnel des machines et des systèmes complexes utilisés en fabrication. Cette activité est désignée comme la maintenance de fabrication ou de production.
- **Gestion et entretien des infrastructures et services généraux** : Cette facette de la maintenance englobe la réparation et le maintien en parfait état des bâtiments, des véhicules de transport, des équipements de communication (téléphonie, réseaux), des aménagements extérieurs (jardins, pelouses, parkings), des systèmes de confort (climatisation), et bien plus encore.
- **Optimisation et suivi des énergies** : Il est crucial de contrôler et de surveiller l'utilisation des différentes sources d'énergie (électricité, air comprimé, eau, gaz, vapeur...) indispensables au bon déroulement des activités de l'entreprise. C'est le champ d'action de la maintenance générale.
- **Pilotage de la maintenance externalisée** : Ce volet consiste à négocier les contrats d'assistance technique et de maintenance avec des prestataires externes, et à s'assurer que ces engagements sont scrupuleusement respectés. Cette approche est connue sous le nom de maintenance sous-traitée.

III.2.2. Rôle de la maintenance

La maintenance doit assurer la rentabilité des investissements matériels de l'entreprise en maintenant le potentiel d'activité et en tenant compte de la politique définie par l'entreprise. La fonction maintenance sera donc amenée à considérer alors les :

-Prévisions à long terme : liées à la politique de l'entreprise et permettant l'ordonnancement des charges, des stocks, des investissements en matériel

-Prévisions à moyen terme : la volonté de maintenir le potentiel d'activité de l'entreprise conduit à veiller à l'immobilisation des matériels à des moments qui perturbent le moins possible le programme de fabrication.

Dès lors il faut fournir nécessairement et suffisamment tôt le calendrier des interventions de maintenance. Celles-ci ayant une influence sur l'ordonnancement des fabrications.

- Prévisions à court terme : dans ce cas le service maintenance s'efforcera de réduire les durées d'immobilisation du matériel et les coûts de ses interventions.

Sachant que les réductions de coûts et d'immobilisation ne sont possibles que si le matériel et les interventions ont fait l'objet d'une étude préalable, il est donc nécessaire de préparer le travail et d'étudier les conditions de fonctionnement, les défaillances possibles, et les conditions d'exécution des interventions.

Le service technique lié à cette fonction doit fournir toutes les informations qualitatives et quantitatives susceptibles d'influencer les politiques particulières de l'entreprise.

III.3. Position du service maintenance au sein de l'entreprise

La fonction maintenance peut être assurée par un service indépendant appelé service maintenance ou par un service technique intégrant les fonctions de fabrication et de maintenance. Il existe deux tendances quant au positionnement de la maintenance dans l'entreprise :

- **La centralisation** où toute la maintenance est assurée par un service ;
- **La décentralisation**, où le service de maintenance est dépossédé de certaines responsabilités. C'est généralement la maintenance de fabrication qui passe sous le contrôle des services de production et fabrication.

Le service central de maintenance peut, à la demande des services ci-dessus, prêter à ceux-ci son atelier et/ou du personnel pour l'accomplissement de certains travaux.

III.4. Les fonctions et tâches associées à la maintenance

Les principales fonctions sont

III.4.1. La fonction « Études et méthodes »

a) Études techniques

- Rechercher des améliorations.
- Participer à la conception des travaux neufs.
- Participer à l'analyse des accidents du travail.

b) Préparation - Ordonnancement

- Établir les, fiches d'instruction pour la personne et constituer la documentation pour

interventions.

- Établir les plannings d'interventions et d'approvisionnements.
- Réceptionner et classer des documents relatifs à l'intervention et remise à jour des dossiers techniques

c) Études économiques et financières

- Gérer les approvisionnements.
- Analyser les coûts de maintenance ; de défaillance et de fonctionnement
- Rédiger le cahier des charges et participer à la rédaction des marchés de travaux.
- Gérer le suivi et la réception des travaux.

d) Stratégie et politiques de la maintenance

- Définir et choisir des procédures de la maintenance.
- Étudier des procédures de déclenchement des interventions.
- Assurer la sécurité dans l'organisation de l'environnement industriel.

III.4.2. La fonction « Exécution mise en œuvre »

Les principales tâches sont :

- Gérer et Piloter l'intervention de la maintenance.
- Appliquer les consignes d'hygiène-sécurité et des conditions de travail.
- Informer et/ou ré informer le personnel sur les équipements (consignes d'utilisation).
- Gérer l'ordonnancement.
- Gérer les stocks, pièces de rechange, outillages, appareils de contrôle.

III.4.3. La fonction « Documentation »

Elle consiste à créer ; organiser ; animer toute la documentation relative à la maintenance. Les principales tâches sont :

- Etablir et mettre à jour l'inventaire du matériel, des installations ;
- Constituer, compléter les dossiers techniques ; dossiers historiques dossiers économiques ; documentation générale et documentation fournisseurs.

III.5. Méthodes de maintenance.

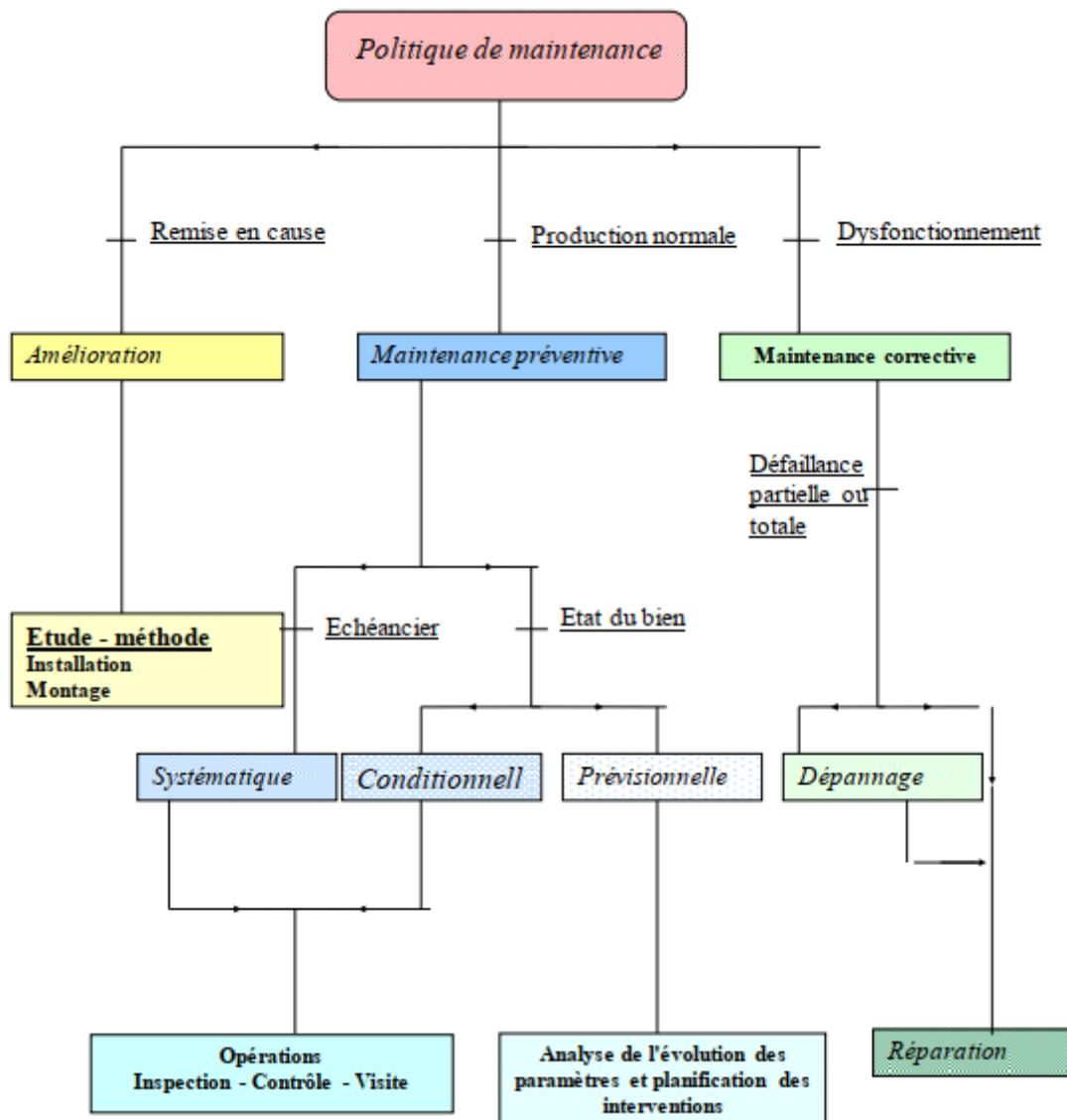


Figure III.1. Politique de maintenance

III.6. Types de maintenance.

La maintenance est un ensemble des activités destinées à maintenir, à rétablir un bien dans un état ou dans des conditions données de sûreté de fonctionnement, pour accomplir une fonction requise.

III.6.1. Maintenance corrective :

Maintenance effectuée après défaillance. Suivant la nature des interventions, on distingue deux types de remise en état de fonctionnement :

- La réparation : remise en état de fonctionnement conforme aux conditions données.
- Le dépannage : remise en état provisoire qui sera obligatoirement suivi d'une réparation.

III.6.2. Maintenance préventive :

Maintenance ayant pour objet de réduire la probabilité de défaillance ou de dégradation d'un bien ou d'un service rendu. Les activités correspondantes sont déclenchées selon un échéancier établi à partir d'un nombre prédéterminé d'unités d'usage (maintenance systématique) et/ou de critères prédéterminés significatifs de l'état de dégradation du bien ou du service (maintenance conditionnelle).

III.6.3. Maintenance préventive systématique :

Les remplacements des pièces et des fluides ont lieu quel que soit leur état de dégradation, et de façon périodique.

III.6.4. Maintenance préventive conditionnelle :

Les remplacements ou les remises en état des pièces, les remplacements ou les apponts en fluides ont lieu après une analyse de leur état de dégradation. Une décision volontaire est alors prise d'effectuer les remplacements ou les remises en état nécessaires.

III.6.5. Maintenance prévisionnelle :

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

III.7. Les niveaux de maintenance : (Extraits de la norme NF X 60-010) [1]

Tableau III.1: Les niveaux de maintenance

Niveaux	Nature de l'intervention	Compétence de l'intervenant	Lieu de l'intervention	Outilage nécessaire à l'intervention	Stock des pièces de rechange
1 ^e	<ul style="list-style-type: none"> REGLAGE SIMPLES prévus par le constructeur au moyen d'éléments accessibles sans aucun démontage ou ouverture d'équipement. ECHANGE d'éléments consommables accessibles en toute sécurité (voyants, certains fusibles...) 	Exploitant du bien	Sur place	Instructions d'utilisation sans outillage	Très faible en pièces consommables
2 ^e	<ul style="list-style-type: none"> DEPANNAGE par échange standard des éléments prévus à cet effet. OPERATION MINEURES de maintenance préventive (graissage, contrôle de bon fonctionnement...) 	Technicien habilité de qualification (pouvant travailler en sécurité sur une machine présentant certains risques potentiels)	Sur place	Instructions d'utilisation. Outilage portable défini par les instructions de maintenance.	Pièces de rechange nécessaire transportables sans délai et à proximité du lieu d'exploitation
3 ^e	<ul style="list-style-type: none"> IDENTIFICATION et DIAGNOSTIC des pannes REPARATIONS par échange de composants ou éléments fonctionnels REPARATIONS mécaniques mineures. Toutes opérations courantes de maintenance préventive (réglage général, réalignement...) 	Technicien spécialisé	Sur place ou Local de maintenance	Outilage prévu dans les instructions de maintenance. Appareils de mesure et de réglage. Bancs d'essais et de contrôle des équipements	Pièces approvisionnées par le magasin
4 ^e	<ul style="list-style-type: none"> Tous les travaux importants de maintenance corrective ou préventive à l'exception de la rénovation et de la reconstruction. REGLAGE des appareils de mesure utilisés pour la maintenance. VERIFICATION des étalons de travail. 	Equipe comprenant un encadrement très spécialisé	Atelier spécialisé	Outilage général. Bancs de mesure et étalons. Toute documentation	
5 ^e	<ul style="list-style-type: none"> RENOVATION RECONSTRUCTION ou exécution des réparations importantes 	Constructeur ou Reconstructeur	Atelier central ou Unité extérieure	Moyens proches de la fabrication.	

III.8. Les opérations de maintenance

1. Le dépannage

Action sur un bien en panne, en vue de le remettre en état de fonctionnement ; compte tenu de l'objectif, une action de dépannage peut s'accommoder de résultats provisoires et de conditions de réalisation hors règles de procédures, de coûts et de qualité, et dans ce cas sera suivie de la réparation. Ainsi le dépannage peut être appliqué par exemple sur des équipements fonctionnant en continu dont les impératifs de production interdisent toute visite ou intervention à l'arrêt.

2. La réparation

Intervention définitive et limitée de maintenance corrective après défaillance.

3. Les inspections

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

4. Les visites

Ce sont des opérations de surveillance qui, dans le cadre de la maintenance préventive systématique, s'opèrent selon une périodicité pré-déterminée. Ces interventions correspondent à une liste d'opérations définies au préalable qui peuvent entraîner des démontages d'organes et une immobilisation du matériel.

5. Les contrôles

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

Les opérations de surveillance (inspection, visite, contrôle) sont nécessaires pour maîtriser l'évolution de l'état réel du bien, effectuées de manière continue ou à des intervalles pré-déterminés ou non, calculés sur le temps ou le nombre d'unités d'usage,

6. Les révisions

Ensemble des actions d'examens, de contrôles et des interventions effectuées en vue d'assurer le bien contre toute défaillance majeure ou critique, pendant un temps ou pour un nombre d'unités d'usage donné.

7. Les échanges standards

Reprise d'une pièce, d'un organe ou d'un sous-ensemble usagé, et vente au même client d'une pièce, d'un organe ou d'un sous-ensemble identique, neuf ou remis en état conformément aux spécifications du constructeur, moyennant le paiement d'une soultre dont le montant est déterminé d'après le coût de remise en état.

Chapitre IV

*Notions de base de la
fiabilité*

IV. Notions de base de la fiabilité

IV.1. Introduction

L'analyse de la fiabilité constitue une phase indispensable dans toute étude de sûreté de fonctionnement. A l'origine, la fiabilité concerne les systèmes à haute technologie (centrales nucléaires, aérospatial). Aujourd'hui, la fiabilité est devenue un paramètre clé de la qualité et d'aide à la décision, dans l'étude de la plupart des composants, produits et processus « grand public » : Transport, énergie, bâtiments, composants électroniques, composants mécaniques...etc. De nombreux industriels travaillent à l'évaluation et l'amélioration de la fiabilité de leurs produits au cours de leur cycle de développement, de la conception à la mise en service (conception, fabrication et exploitation) afin de développer leurs connaissances sur le rapport Coût/Fiabilité et maîtriser les sources de défaillance.

Ce chapitre concerne l'étude de la théorie de la fiabilité, défini la fiabilité ainsi que les grandeurs qui la caractérisent. Nous verrons que ces paramètres pourront être estimés. Par la suite, on présente les notions de maintenabilité et de disponibilité.

La fiabilité nom féminin, de l'adjectif fiable, issu du verbe se fier, évolution du latin populaire « fidare » [3].

La maintenance est par analogie, l'équivalent de la médecine. La fiabilité correspond alors à la bonne santé d'un être humain [2].

Si pour l'homme la préoccupation a été toujours d'être en bonne santé, se nourrir bien et vivre longtemps, pour un chef d'entreprise sa principale préoccupation pour être compétitif est d'avoir un parc matériel « fiable », « disponible » et « durable ». Effet de mode peut être, la fiabilité ne cesse de prendre de l'importance et de connaître des progrès de jour en jour.

IV.2. Généralités

La maintenance est définie comme étant « l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé ».

III.2.1. Définition de la panne

C'est « l'état d'une entité inapte à accomplir une fonction requise, dans des conditions données d'utilisation » [1]. Ainsi, la panne est l'état dans lequel se trouve le système consécutivement à une défaillance. Lors de la remise en service, l'entité peut à nouveau accomplir sa fonction.

III.2.2. Définition de la défaillance

C'est « la cessation de l'aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise, qui passe dans l'état de panne » [1]. Donc c'est une perte partielle ou totale des propriétés d'un élément. On distingue selon la vitesse de variation de ces propriétés deux types de défaillance :

- ❖ **Les défaillances graduelles** : Elles se caractérisent par une variation progressive des paramètres déterminant la fiabilité du système. Ce type de défaillance est prépondérant pour le matériel mécanique, pour lequel se manifeste l'usure des composants après une certaine durée de fonctionnement.
- ❖ **Les défaillances subites** : Contrairement aux défaillances graduelles, les défaillances subites sont dues à une perte totale des propriétés du système entraînant son incapacité de fonctionnement. Ce type de défaillance caractérise spécialement le matériel électronique.

On peut aussi classer les défaillances selon la période de vie de l'équipement durant laquelle elles apparaissent. On distingue trois classes :

- **Les défaillances précoce**s : Elles surviennent durant la période de jeunesse du matériel, c'est-à-dire juste après sa mise en fonctionnement. Généralement, un contrôle rigoureux est effectué avant la mise en service pour détecter les éléments présentant ce type de défaillance.
- **Les défaillances aléatoires** : Elles apparaissent durant la période de vie utile du matériel. Ce sont des défaillances accidentelles. Elles ont la même probabilité d'apparition
- **Les défaillances par usure** : Ce sont des pannes progressives et elles apparaissent suite à la fatigue, l'usure et la dégradation du matériel après une longue période de fonctionnement.

IV.2.3. Paramètres d'identification des défaillances : On pourra identifier les défaillances et les classer à partir d'une combinaison de paramètres repartis en six groupes en fonction de :

a. Causes fondamentales d'apparition :

- *La faiblesse inhérente (intrinsèque)* : Défaillance attribuable à une faiblesse inhérente au matériel lui-même lorsque les contraintes sont dépassées les capacités du matériel au-delà des possibilités données de celui-ci.
- *Le mauvais emploi (extrinsèque)* : Défaillance attribuable à l'application de contraintes au-delà des possibilités données du matériel.
- *Défaillance première* : Défaillance d'un matériel dont la cause directe ou indirecte n'est pas due à la défaillance d'un autre équipement.
- *Défaillance seconde* : Défaillance d'un matériel dont la cause directe ou indirecte est due à la défaillance d'un autre équipement.

b. La vitesse de manifestation des défaillances :

- *Les défaillances graduelles* : Elles se caractérisent par une variation progressive des paramètres déterminant la fiabilité du système.
- *Les défaillances subites* : Elles sont dues à une perte totale des propriétés du système.

c. En fonction de leur amplitude :

- *Les défaillances partielles* : Elles résultent de déviation d'une ou des caractéristiques au-delà des limites spécifiées.

IV.2.4. Matériel réparable : C'est un matériel qui peut être remis en fonctionnement après avoir subi une défaillance. La vie d'un tel matériel peut être décrite à l'aide du chronogramme (voir la figure III.1) :

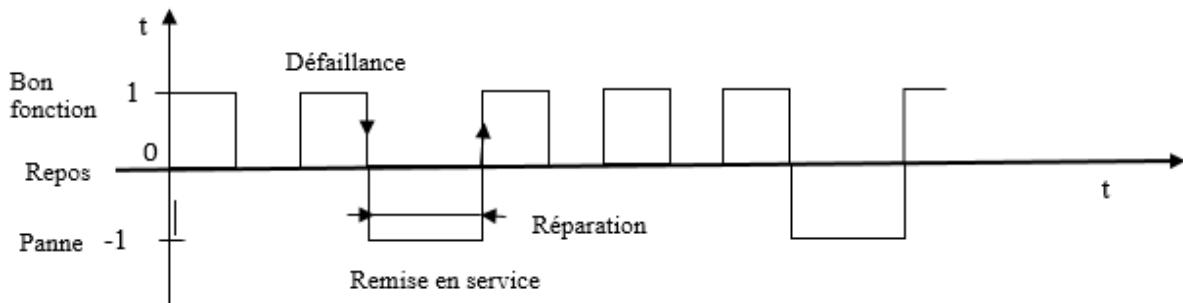


Figure IV.1. Chronogramme d'un matériel réparable.

IV.2.5. Matériel irréparable : C'est le matériel qui ne peut être remis en fonctionnement que ce soit pour des raisons techniques ou économiques. La figure (III.2) représente la vie d'un matériel irréparable.

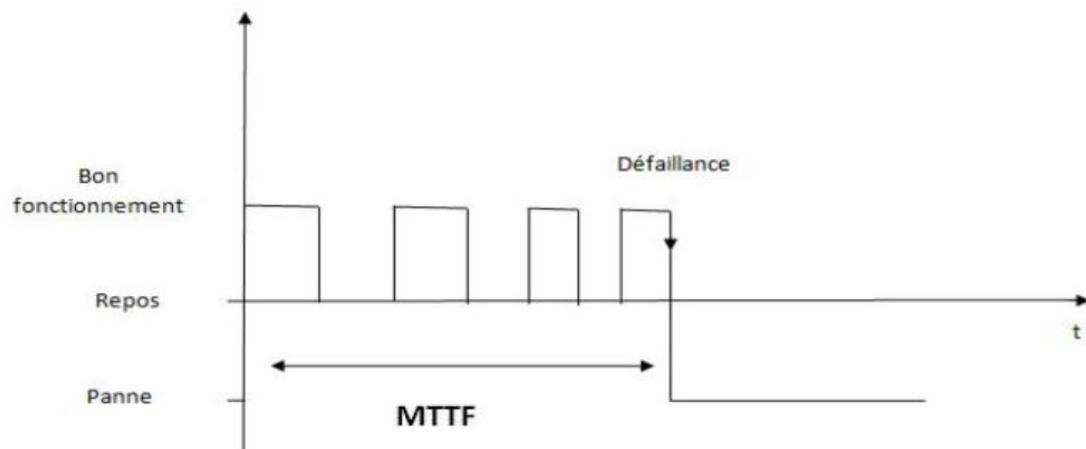


Figure IV.2. Chronogramme d'un matériel irréparable.

Avec : **MTTF** est la moyenne des temps jusqu'à la panne (Mean Time To Failure).

IV.2.6. Les grandeurs de temps

La vie d'un composant comporte des cycles de fonctionnement. Au cours d'un cycle, l'état du composant passe de l'état « en fonction » à l'état « hors d'usage ». Si nous analysons ce cycle,

nous remarquons qu'il est composé de temps moyen entre panne (MTBF). Elle comporte la MUT (Mean Up Time) la moyenne de temps de fonctionnement, calculée à partir de l'Espérance mathématique de la variable aléatoire X en utilisant une loi de probabilité $R(t)$ ajustée à un échantillon de n valeurs de TBF relevés. L'expression du MUT est donnée par l'équation :

$$MUT = E(t) = \int_0^{\infty} t f(t) dt = \int_0^{\infty} R(t) dt$$

Et la MDT (Mean Down Time) qui est la moyenne de temps de panne. Cette dernière est composée de la moyenne de temps technique de réparation MTTR (Mean Time To Repair) qui est le principal indicateur de maintenabilité. Elle peut être obtenue par la moyenne statistique d'un échantillon de valeurs TTR ou par l'espérance mathématique de TTR obtenue à partir d'un modèle probabiliste.

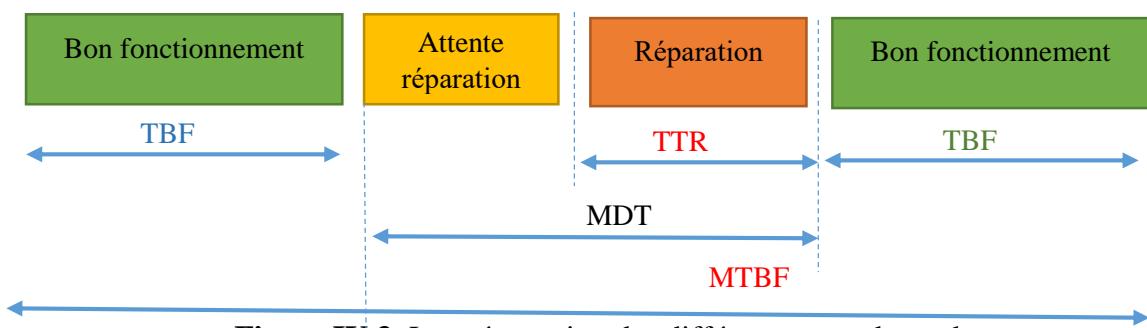


Figure IV.3. La présentation des différentes grandeurs de temps.

MTTF - Mean Time To Failure Durée moyenne de fonctionnement d'une entité avant la première défaillance $MTTF = \int [0; +\infty] (R(x).dx)$

MTTR - Mean Time To Repair Durée moyenne de réparation $MTTR = \sum \text{Temps d'arrêt} / \text{Nombre d'arrêts}$

MUT - Mean Up Time Durée moyenne de fonctionnement après réparation

MDT - Mean Down Time Durée moyenne d'indisponibilité (temps de détection de la panne + temps de réparation + temps de remise en service)

MTBF - Mean Time Between Failure Durée moyenne des temps de bon fonctionnement entre deux défaillances consécutives

$MTBF = \sum \text{Temps de bon fonctionnement} / \text{Nombre de défaillances}$ ou nombre de période de bon fonctionnement.

IV.3. Fiabilité et sûreté de fonctionnement

La Sûreté de Fonctionnement (SdF) représente au sens large la science des défaillances. Elle vise à mettre en place des systèmes dans lesquels les défaillances sont prévues et tolérables.

Derrière ce concept, la notion de confiance est fondamentale. La SdF d'un système est la propriété qui permet de placer une confiance justifiée dans le service qu'il délivre.

IV.3.1. Définition de la SdF

La SdF correspond à l'ensemble des aptitudes d'un bien qui lui permet de remplir une fonction requise au moment voulu, pendant la durée prévue, sans dommage pour lui-même et son environnement.

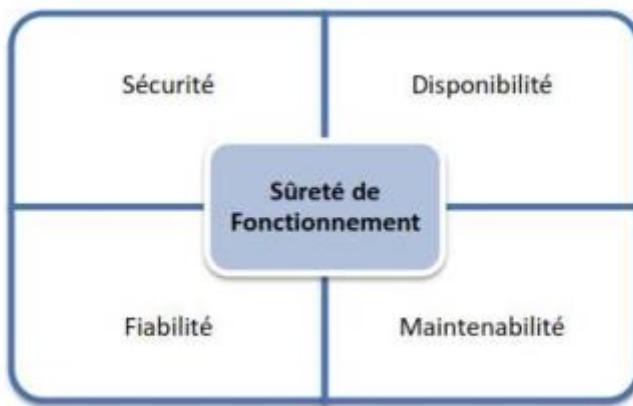


Figure IV.4. Les concepts associés à la SdF.

La SdF s'appuie généralement sur quatre concepts majeurs : la sécurité, la disponibilité, la fiabilité et enfin la maintenabilité (figure IV.4). Il convient de définir succinctement ces différents concepts pour replacer la fiabilité dans son contexte.

IV.3.2. Définition de la sécurité

La sécurité d'une entité est définie comme son aptitude à éviter de faire apparaître, dans des conditions données, des événements critiques ou catastrophiques. Cette composante de la SdF s'avère primordiale pour les entités où le risque de dommages corporels à l'encontre de l'utilisateur ou de l'environnement est jugé important.

IV.3.3. Définition de la disponibilité

La disponibilité d'une entité est définie comme son aptitude à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données, à un instant donné, en supposant que la fourniture de moyens extérieurs nécessaires soit assurée (AFNOR, 1988).^[1]

A partir du moment où l'on constate un problème au niveau de la sécurité ou de la disponibilité de l'entité, la fiabilité se retrouve au centre des débats. "Aptitude d'un bien, sous les aspects combinés de sa fiabilité, maintenabilité et de l'organisation de la maintenance, à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions de temps déterminées" (NF X60-010). ^[1]

Remarque

Pour qu'un équipement présente une bonne disponibilité, il doit :

- **Avoir le moins possible d'arrêts de production**
- **Etre rapidement remis en bon état s'il tombe en panne**

La disponibilité d'un équipement dépend de nombreux facteurs :

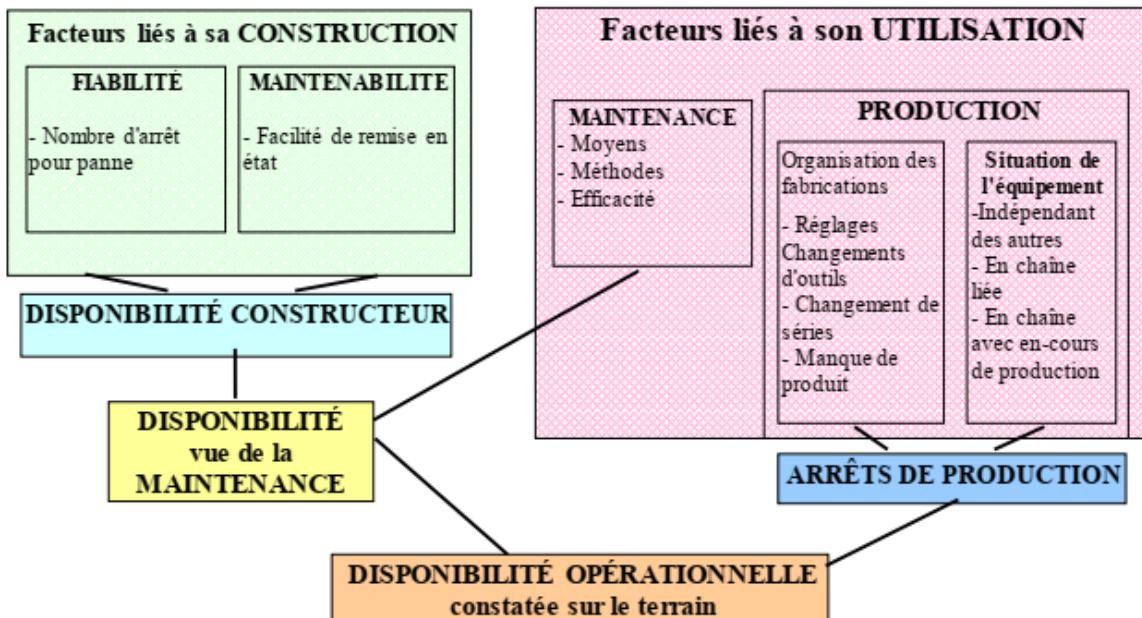


Figure IV.5. Facteurs influents la disponibilité.

La disponibilité allie donc les notions de fiabilité et de maintenabilité

IV.3.4. Définition de la fiabilité

La fiabilité est l'aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise ou à satisfaire les besoins des utilisateurs, dans des conditions données, pendant une durée donnée (AFNOR, 1988). Cette aptitude se mesure par la probabilité que l'entité remplisse sa fonction sur une période de temps donnée (Smith, 1997). Enfin, quand un dysfonctionnement apparaît sur l'entité et qu'il faut intervenir pour rétablir ses fonctionnalités, le concept de la maintenabilité est introduit.

Aptitude d'un bien à accomplir une fonction acquise dans des conditions données pendant un temps donné ou "caractéristique d'un bien exprimée par la probabilité qu'il accomplisse une fonction requise dans des conditions données pendant un temps donné » NF * 50 - 500. [1] La notion de temps peut prendre la forme :

- De nombre de cycles effectués = **machine automatique**
- De distance parcourue = **matériel roulant**
- De tonnage produit = **équipement de production**

La défiabilité

A l'inverse de la fiabilité, la défiabilité est la probabilité que l'entité ait connu une défaillance pendant une durée donnée. Elle est notée $F(t)$

$F(t)$ = probabilité que l'entité soit défaillante dans l'intervalle de temps $[0; t]$

$$F(t) = 1 - R(t)$$

La fiabilité d'un équipement dépend de nombreux facteurs :

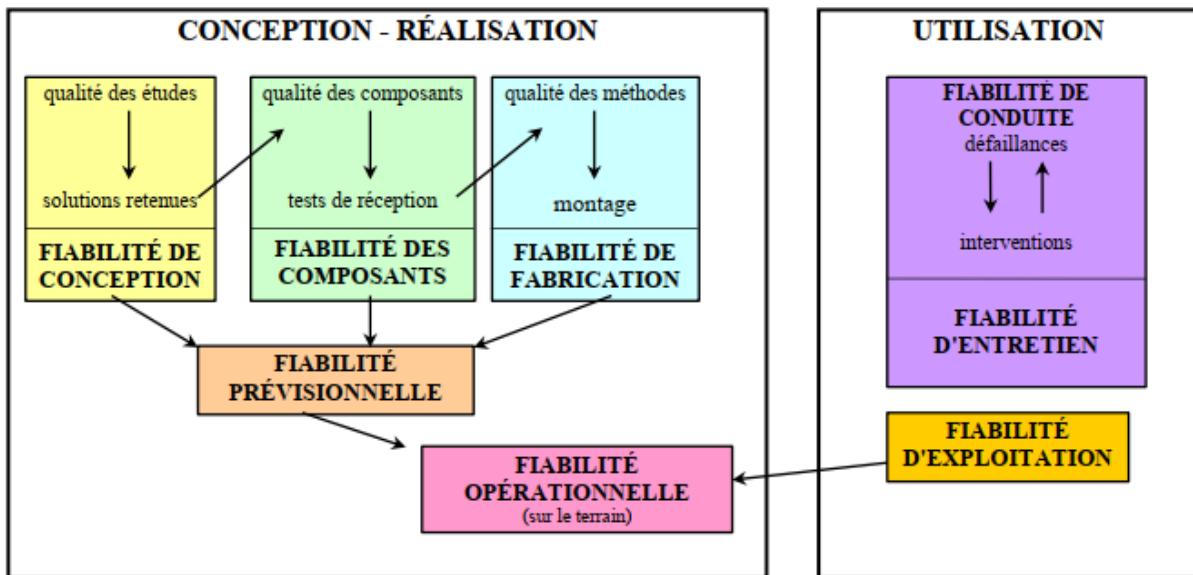


Figure IV.6. Facteurs influents la fiabilité.

La fiabilité se distingue selon l'étape étudiée de la vie du système :

1. **La fiabilité prévisionnelle** : c'est celle qui est déterminée, durant la phase de conception, sur la base d'un modèle mathématique défini à partir des données de fiabilité de ses composantes.
2. **La fiabilité estimée** : c'est la fiabilité mesurée après avoir conçu le système et ceci à l'aide d'un ensemble d'essais.
3. **La fiabilité opérationnelle** : c'est la fiabilité mesurée sur un matériel en exploitation.

Elle dépend des conditions réelles d'exploitations et du support logique.

Calcul de la MTBF

La fiabilité peut se caractériser par la Moyenne des temps de bon fonctionnement ou MTBF (Mean Time Between Failure).

Il se calcule ainsi :

Si le MTBF est calculé suite à un TBF

MTBF = Temps total d'opération / Nombre d'arrêts + 1

Si le MTBF est calculé suite à un TA

MTBF = Temps total d'opération / Nombre d'arrêts

IV.3.5. Définition de la maintenabilité

La maintenabilité d'une entité est définie comme son aptitude à être maintenue ou rétablie, sur un intervalle de temps donné, dans un état dans lequel elle peut accomplir une fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, avec des procédures et moyens prescrits (AFNOR, 1988).

"Dans les conditions d'utilisation données pour lesquelles il a été conçu, aptitude d'un bien à être maintenu ou rétabli dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, avec des procédures et des moyens prescrits." (NF X60-010). [1]

Commentaires

- La maintenabilité caractérise la facilité à remettre ou de maintenir un bien en bon état de fonctionnement.
- Cette notion ne peut s'appliquer qu'à du matériel maintenable ; donc réparable.
- "Les moyens prescrits" englobent des notions très diverses : moyens en personnel, appareillages, outillages, ...

La maintenabilité d'un équipement dépend de nombreux facteurs :

Tableau IV.1. Facteurs influents la maintenabilité

Facteurs liés à l'EQUIPEMENT	Facteurs liés au CONSTRUCTEUR	Facteurs liés à la MAINTENANCE
-Documentation	-Conception	-Préparation et formation des personnels
-Aptitude au démontage	-Qualité du service après-vente	-Moyens adéquats
-Facilité d'utilisation	-Facilité d'obtention des pièces de rechange	-Etudes d'améliorations (maintenance améliorative)
	-Cout des pièces de rechange	

On peut améliorer la maintenabilité en :

- Développant les documents d'aide à l'intervention
- Améliorant l'aptitude de la machine au démontage (modifications risquant de coûter cher)
- Améliorant l'interchangeabilité des pièces et sous ensemble.

Calcul de la maintenabilité

La maintenabilité concerne l'action de maintenance comme telle. Par la maintenabilité, on recherche l'optimisation du temps d'intervention afin d'augmenter le temps de production en diminuant les délais dû au :

- ✓ Temps pour l'attente de pièce de remplacement
- ✓ Temps pour compléter les documents
- ✓ Temps de préparation de l'action.

Son indice est le MTTR et se calcule de manière suivante :

MTTR = Temps total d'arrêts / Nombre d'arrêts

La maintenabilité peut se caractériser par sa MTTR (Mean Time To Repair) ou encore Moyenne des Temps Techniques de Réparation

Taux de réparation μ

Il est égal à l'unité de temps sur la MTTR :

$$\mu = 1 / \text{MTTR}$$

IV.4. Etude de FMD

Avant d'aborder les notions de FMD, fiabilité, Maintenabilité et disponibilité, il est important d'apporter quelque rappel d'une part sur les lois de probabilité puisqu'elles sont la base de calcul de la fiabilité, et d'autre part sur les paramètres de calcul de Maintenabilité et disponibilité.

IV.4.1. Loi de probabilité

Les principales lois de probabilité utilisées sont

❖ Lois Discrètes :

- Loi binomiale.
- Loi de poisson.
- Loi hypergéométrique.

❖ Lois continues :

- Loi exponentielle.
- Loi normale.
- Loi de Weibull.

IV.4.2. Loi de weibull

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

Weibull : a donné au taux d'avarie $\lambda(t)$ une formule générale dépendant de trois (3) paramètres. η , β , γ qui rend compte avec une bonne précision dans une gamme étendue.

❖ Les différentes formules utilisées pour la distribution de Weibull sont :

a) La densité de probabilité des défaillances :

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

$f(t)$: probabilité d'avarie au temps (t). (Probabilité d'avoir un seul avarie au temps (t)).

b) La fonction de répartition :

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^\beta} \quad (2)$$

$F(t)$: probabilité d'avarie cumulée au temps de 0 à t.

c) La fonction de fiabilité :

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^\beta} = 1 - F(t) \quad (3)$$

$R(t)$: probabilité de non-défaillance dans l'intervalle de temps [0,t] c'est-à-dire la probabilité de défaillance au-delà du temps (t) .c'est la fonction complémentaire de la fonction de réparation.

d) Taux de défaillance :

C'est la probabilité de défaillance à l'instant (t + td), sachant que le dispositif bon à l'instant t.

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \quad (4)$$

IV.4.2.1. Signification des paramètres du modèle de WEIBULL

- $\beta \rightarrow$ Paramètre de forme >0 sans dimension :

La figure 1.3. montre la courbe de l'enroule de taux de défaillance λ en fonction de temps celle est caractérisé par une forme baignoire par rapport l'allure β est de forme comme suit :

➤ Si $\beta > 1$, le taux de défaillance est croissant, caractéristique de la zone de vieillesse :

✓ $1,5 < \beta < 2,5$: fatigue.

✓ $3 < \beta < 4$: usure, corrosion.

➤ Si $\beta = 1$, le taux de défaillance est constant, caractéristique de la zone de maturité.

➤ Si $\beta < 1$, le taux de défaillance est décroissant, caractéristique de la zone de jeunesse

Et dans la figure 1.4 on voit l'influer à de β sur la fonction de probabilité, la fiabilité

et le taux de défaillance. [12]

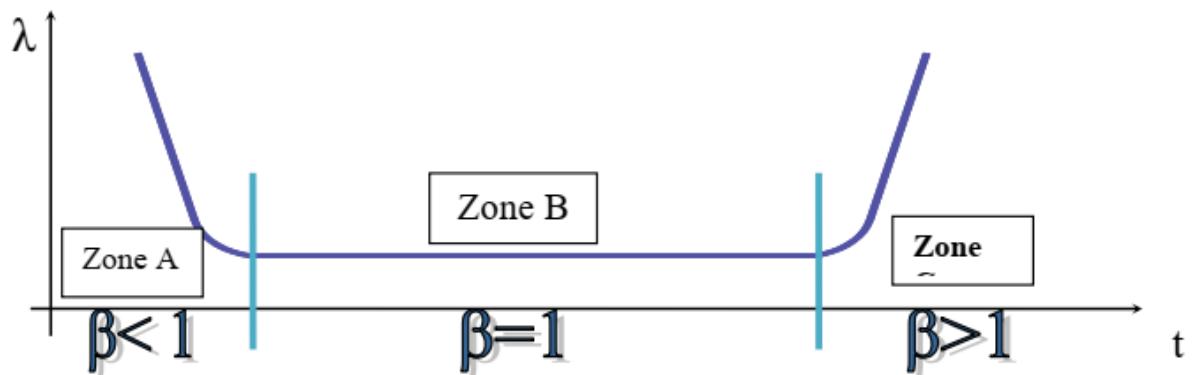


Figure. IV.7. Courbe en baignoire du taux de défaillance λ fonction de temps.

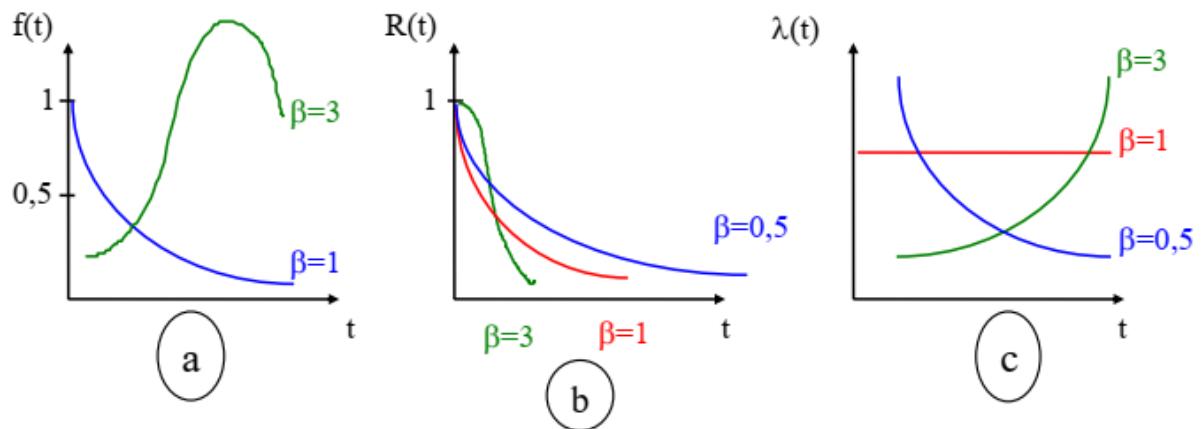
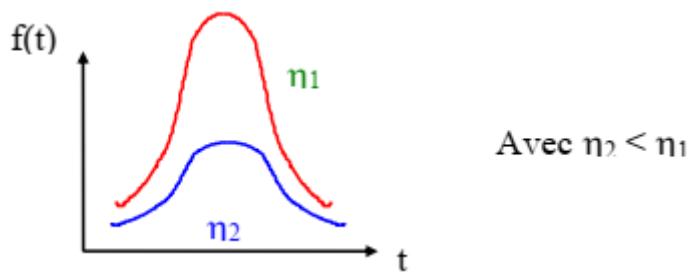


Figure. IV.8. Influence de β sur : a) densité de probabilité, b) la fiabilité, c) le taux de défaillance.

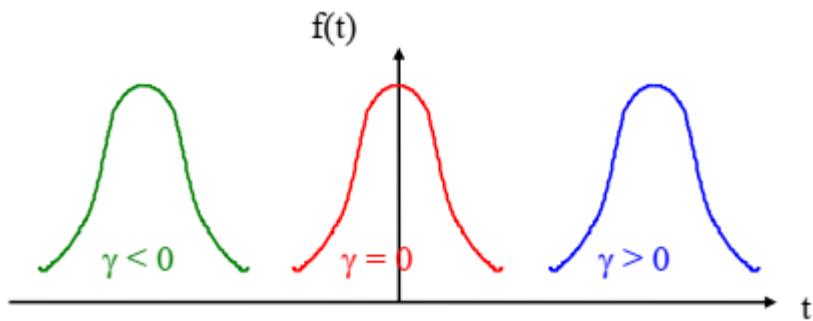
Remarque : pour $\gamma=0$ et $\beta=1$, on retrouve la distribution exponentielle, cas particulier de la loi de Weibull : $\lambda = \frac{1}{\eta} = \frac{1}{MTBF}$

➤ $\eta \rightarrow$ Paramètre d'échelle >0 qui s'exprime dans l'unité de temps



En unité de temps qui est associé à l'échelle utilisée sur le graphe d'Alliant plat.

- γ → paramètre de position, $-\infty < \gamma < +\infty$, qui s'exprime dans l'unité de temps :



- $\gamma > 0$: survie totale sur l'intervalle de temps $[0, \gamma]$.
- $\gamma = 0$: les défaillances débutent à l'origine des temps.
- $\gamma < 0$: les défaillances ont débuté avant l'origine des temps ; ce qui montre que la mise en service de l'équipement étudié a précédé la mise en historique des TBF.

IV.4.3. Test de KOLMOGOROV – SMIRNOV :

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

Ainsi, il reste à vérifier la validité de cette loi, la vérification est obtenue par un test. Aucune restriction n'est nécessaire, quel que soit la taille (n) on peut l'appliquer [12]

L'idée du test est de comparer la fonction réelle de répartition des défaillances à la fonction de répartition théorique. Il consiste à mesurer l'écart point par point entre ces deux fonctions :

$$D_{n,\max} = |F_{\text{e}}(t) - F(t)| \quad (5)$$

$F(t)$: la fonction de réparation théorique.

$F_{\text{e}}(t)$: la fonction de réparation réelle.

$$F(t) = \sum \frac{N_i}{N+1} \quad (6) \quad F_{\text{e}}(t) = 1 - e^{-\left[\frac{t-\gamma}{n}\right]^\beta} \quad (7)$$

On montre que : $D_{n,\max} = |F(t) - F(t)|$ suite une loi ne dépendant que de η et écrit

que : $(\max|F_{\text{e}}(t) - F(t)| < D_{n,\alpha}) = 1 - \alpha$.

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

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

La valeur de $D_{n,\alpha}$ est donnée par la table de KOLMOGOROV – SMIRNOV.

IV.5. La relation entre les notions FMD [12]

Pour qu'un matériel soit disponible il faut s'assurer que sa fiabilité est optimum et qu'il est aussi maintenable.

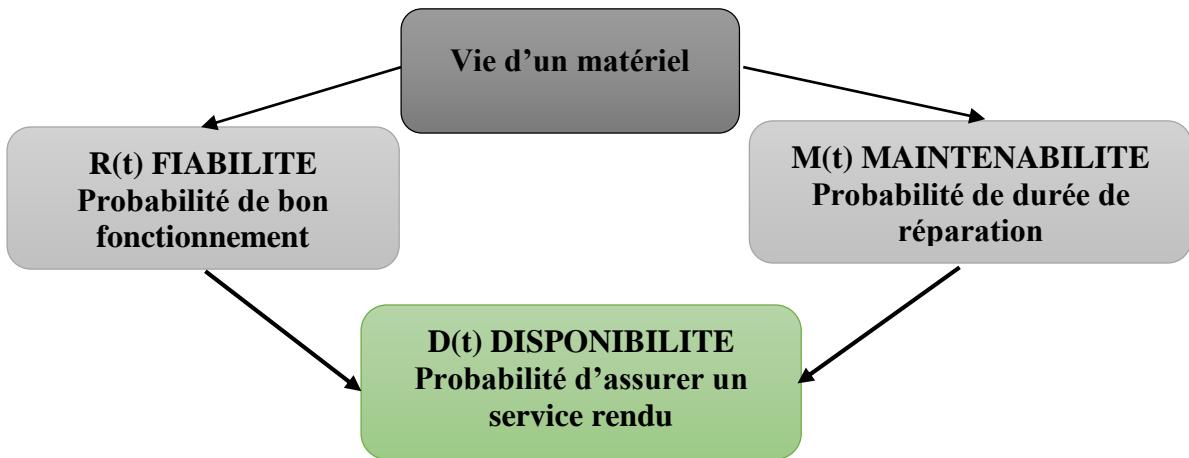


Figure. IV.9. La relation entre les notions FMD

Chapitre V

Résultats et discussions

V.1. Introduction

Dans ce chapitre on va faire l'étude FMD sur la fraiseuse HURON MU en se basant sur l'historique des pannes que nous avons récupéré de l'unité AMM du complexe Sider.

V.2. Analyse ABC ou la loi de Pareto

L'analyse de Pareto consiste à déterminer la minorité de causes responsables de la majorité des effets. La démarche de la méthode se décline en 4 étapes principales :

1) définir la nature des éléments à classer Ces éléments à classer dépendent du caractère étudié. Ces éléments peuvent être : des matériels, des causes de panes, des natures de pannes, des bons de travail, des articles en stocks etc.

2) Choisir le critère de classement Les critères les plus fréquents sont les coups et les temps, selon le caractère étudié, d'autres critères peuvent être retenus tels que : le nombre d'accidents, le nombre d'incidents.

- Le nombre de rebuts, le nombre d'heures d'utilisation.
- Le nombre de kilomètres parcourus.
- La valeur consommée annuellement.

3) Tracé la courbe pourcentage des valeurs cumulées du critère en fonction du pourcentage des éléments cumulés qui en sont responsables.

4) Détermination des seuils des classes **A**, **B** et **C** des éléments.

La classe **A** est celle de la minorité d'éléments (en général 20 %) responsable de la majorité des effets (en général 80%).

La classe **C** est celle de la majorité d'éléments (en général 50%) responsable de la minorité des effets (en général 20%)

V.3. L'application Pratique des méthodes d'analyse :

Le dépouillement du fichier historique des pannes de la fraiseuse durant sa durée de vie, nous a permis de réaliser les résultats suivants et de les classer selon la règle de la loi ABC dans le tableau dressé ci-après :

Tableau V.1. Historique des pannes de la fraiseuse Huron MU

Rang	Les pannes	La date	H.A Fin d'intervention	TTR	TBF
01	Problème au niveau moteur des avances	03/01/2023 à 05 :00	03/01/2023 à 7 :00	02 :00	139
02	Bruit anormale au niveau boite de vitesse bélier	09/01/2023 à 02 :10	09/01/2023 à 09 :15	07 :05	93:40
03	Bruit anormale pendant la rotation des vitesses	13/01/2023 à 02 :45	13/01/2023 à 19 :45	17 :00	45:15
04	Défaut au niveau montée-descente de la table (mécanisme de freinage)	15/01/2023 à 07 :15	15/01/2023 à 19 :15	07 :15	64 :45
05	Rupture interne/blocage de la pompe centrale	18/01/2023 à 02 :00	18/01/2023 à 15 :30	13 :30	70
06	Embrayage défectueux	21/01/2023 à 11 :35	21/01/2023 à 19 :35	07 :40	517:25
07	Déclenchement électrique	12/02/2023 à 10 :00	12/02/2023 à 10 :00	00 :00	14
08	Blocage de la table	13/02/2023 à 04 :15	13/02/2023 à 23 :30	19 :15	1843:45
09	Fissure et encrassement la glissière de bélier	01/05/2023 à 02 :30	01/05/2023 à 20 :30	18 :00	117:30
10	Bruit anormale au niveau tête de broche	06/05/2023 à 00 :30	06/05/2023 à 15 :30	06 :30	87 :00
11	Défaut au niveau déclencheur bélier	10/05/2023 à 09 :00	10/05/2023 à 11 :00	15 :00	647 :30
12	Problème au niveau circuit hydraulique (système de graissage)	06/06/2023 à 01 :05	06/06/2023 à 12 :45	11 :40	94 :55
13	Usure sur les billes et la vis sans fin de déplacement de la table	10/06/2023 à 08 :00	10/06/2023 à 15 :00	07 :00	208 :00
14	Arbre de transmission du mouvement cisaillé (bélier)	19/06/2023 à 01 :00	19/06/2023 à 15 :30	14 :30	191 :00
15	Usure d'arbre de transmission	27/06/2023 à 00 :15	27/06/2023 à 14 :00	13 :45	167 :45
16	Contacteur inverseur de rotation broche défectueux	04/07/2023 à 00 :30	04/07/2023 à 03 :30	03 :00	551 :30
17	Arbre de transmission du mouvement cisaillé (bélier)	27/07/2023 à 02 :18	27/07/2023 à 22 :23	20 :05	789 :42
18	Blocage au niveau rotation broche	29/08/2023 à 02 :55	29/08/2023 à 02 :25	19 :30	141 :05
19	Embrayage défectueux	04/09/2023 à 02 :00	04/09/2023 à 08 :30	06 :30	310 :00
20	Défaut au niveau rotation broche	17/09/2023 à 01 :00	17/09/2023 à 13 :00	12 :00	263 :00
21	Défaut freinage broche	28/09/2023 à 02 :00	28/09/2023 à 09 :10	07 :10	70 :00
22	Usure des pignons au niveau boite des vitesses bélier	01/10/2023 à 06 :10	01/10/2023 à 23 :00	16 :50	473 :40
23	Bruit anormale au niveau tête de broche	21/10/2023 à 03 :15	21/10/2023 à 10 :30	07 :15	164 :45
24	Blocage de la table	28/10/2023 à 02 :05	28/10/2023 à 10 :30	08 :25	333 :55
25	Défauts au niveau vis et noix de la table (montée-descente)	11/11/2023 à 05 :00	11/11/2023 à 00 :00	19 :00	115 :00
26	Défaut au niveau levier de changement de vitesse	16/11/2023 à 12 :00	16/11/2023 à 01 :30	13 :30	324 :00

Tableau V.2. L'analyse ABC (Pareto)

Nbr	NI	Σ NI	% Σ NI	TTR	Cumul TTR	% Cumul TTR
1	1	1	3.846	20 :05	20 :05	6.838
2	1	2	7.692	19 :30	39 :35	13.420
3	1	3	11.538	19 :15	58 :50	19.952
4	1	4	15.384	19	77 :50	26.432
5	1	5	19.230	18	95 :50	32.571
6	1	6	23.076	17	112 :50	38.369
7	1	7	26.923	16 :50	129 :40	44.133
8	1	8	30.769	15	144 :40	49.249
9	1	9	34.615	14 :30	159 :10	54.263
10	1	10	38.461	13 :45	172 :55	58.850
11	1	11	42.307	13 :30	186 :20	63.506
12	1	12	46.153	13 :30	199 :50	68.042
13	1	13	50	12	211 :50	72.135
14	1	14	53.846	11 :40	223 :30	76.159
15	1	15	57.692	8 :25	231 :55	78.973
16	1	16	61.538	7 :40	239 :35	81.633
17	1	17	65.384	7 :15	246 :50	84.072
18	1	18	69.230	7 :15	254 :05	86.647
19	1	19	73.076	7 :10	261 :15	89.068
20	1	20	76.923	7 :05	268 :20	91.473
21	1	21	80.769	7	275 :20	93.860
22	1	22	84.615	6 :30	281 :50	96.009
23	1	23	88.461	6 :30	288 :20	98.294
24	1	24	92.307	3	291 :20	99.317
25	1	25	96.153	2	293 :20	100
26	1	26	100	00	293 :20	100

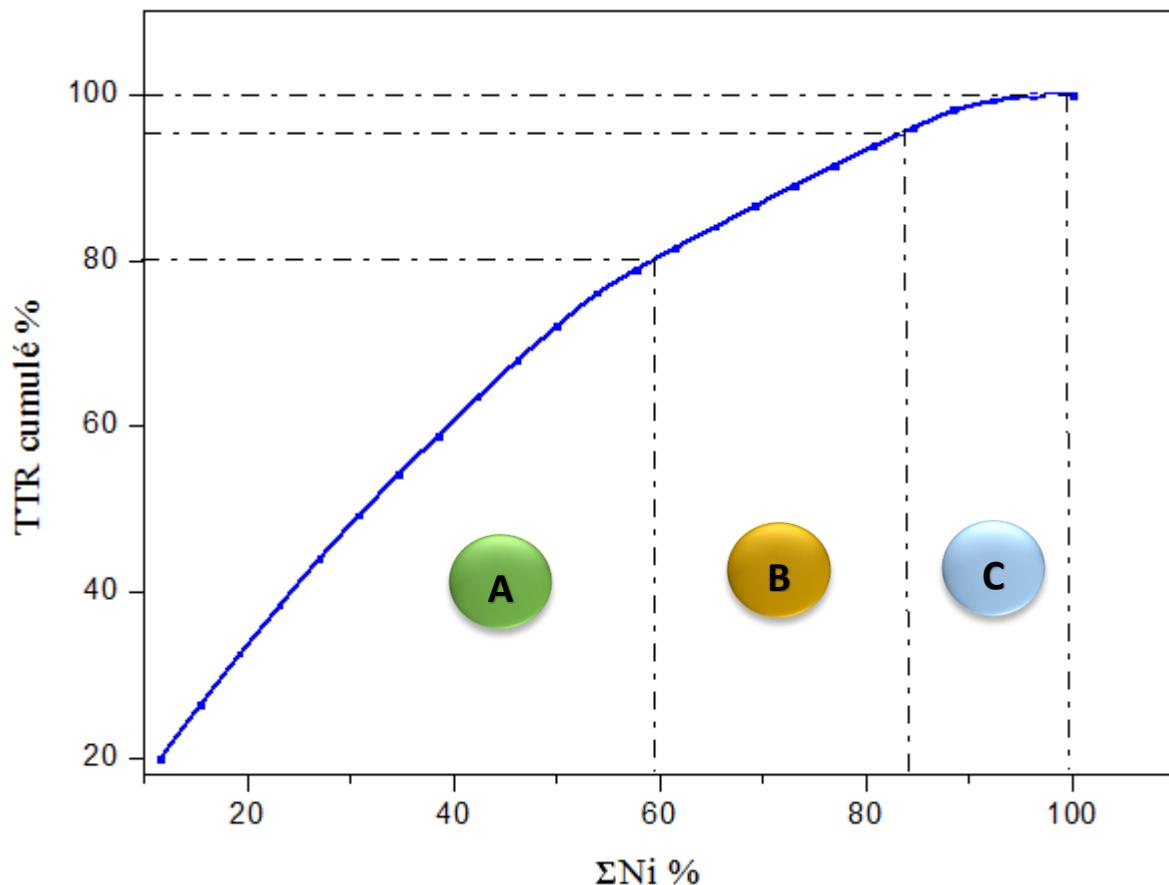


Figure.V.1. Histogramme de Pareto

Zone « A »: on a environ 61.53% des pannes représente 81.63% des heures d'arrêts, On peut organiser une politique de maintenance préventive systématique ou bien preventive conditionnelle avec une surveillance permanente de la fraiseuse.

- Améliorer les conditions de fonctionnement de la fraiseuse.
- Prévoir des stocks des pièces de rechange.

Zone « B »: les 30.77% des pannes suivantes ne couvrent 17.68% supplémentaire.

On sera moins exigeant sur les méthodes de prévention on utilise le préventive systématique

Zone « C »

Les 7.7% des pannes restantes ne représentent que 0.69% des heures d'arrêts. 0.69% seulement donc des arrêts moindres alors on utilisera le correctif.

V.4. Application du modèle de WEIBULL :

Les valeurs ascendantes du TBF nous permettent de déterminer la fonction de répartition $F(t)$ qui nous servira à utiliser le papier d'Allen Plait (ou de Weibull) afin de déterminer les paramètres de Weibull: β , puis η et γ (figure .1).

Le tableau suivant comporte les TBF classés par ordre croissant, et les $F(t)$ calculés par la méthode des ranges medians $F(t) = \sum ni/N+1$ (dans notre cas $N = 26 > 20$) et on trace la courbe de WeiBull :

Tableau.V.3. Détermination la fonction de répartition $F(t)$

Rang	TBF croissant	TBF/20	NI	ΣNI	$F(T_i)$ théorique	$F(T_i)$ théorique%
01	14	0.70	1	1	0.0357	3.57
02	45:15	2.25	1	2	0.0714	7.14
03	64:45	3.22	1	3	0.1071	10.71
04	70	3.5	2	5	0.1785	17.85
05	87	4.35	1	6	0.2142	21.42
06	93:40	4.67	1	7	0.25	25
07	94:55	4.72	1	8	0.2857	28.57
08	115	5.75	1	9	0.3214	32.14
09	117:30	5.86	1	10	0.3571	35.71
10	139	6.89	1	11	0.3928	39.28
11	141:05	7.05	1	12	0.4285	42.85
12	164:45	8.22	1	13	0.4642	46.42
13	167:45	8.37	1	14	0.5	50
14	191	9.55	1	15	0.5357	53.57
15	208	10.40	1	16	0.5714	57.14
16	263	13.15	1	17	0.6071	60.71
17	310	15.50	1	18	0.6428	64.28
18	324	16.22	1	19	0.6785	67.85
19	333:55	16.67	1	20	0.7142	71.42
20	473:40	23.67	1	21	0.75	75
21	417:25	25.86	1	22	0.7857	78.57
22	551:30	27.56	1	23	0.8214	82.14
23	647:30	32.36	1	24	0.8571	85.71
24	744	37.2	1	25	0.8928	89.28
25	781:42	39.07	1	26	0.9285	92.85
26	1843:45	92.17	1	27	0.9642	96.42

Pour fiabilité l'étude nous divisons le temps par 20 après avoir rapporté les valeurs TBF, $f(t)$ sur le papier Weibull ; on a obtenu une droite (voire le graphe) .On déduire les paramètres: β, η et γ .

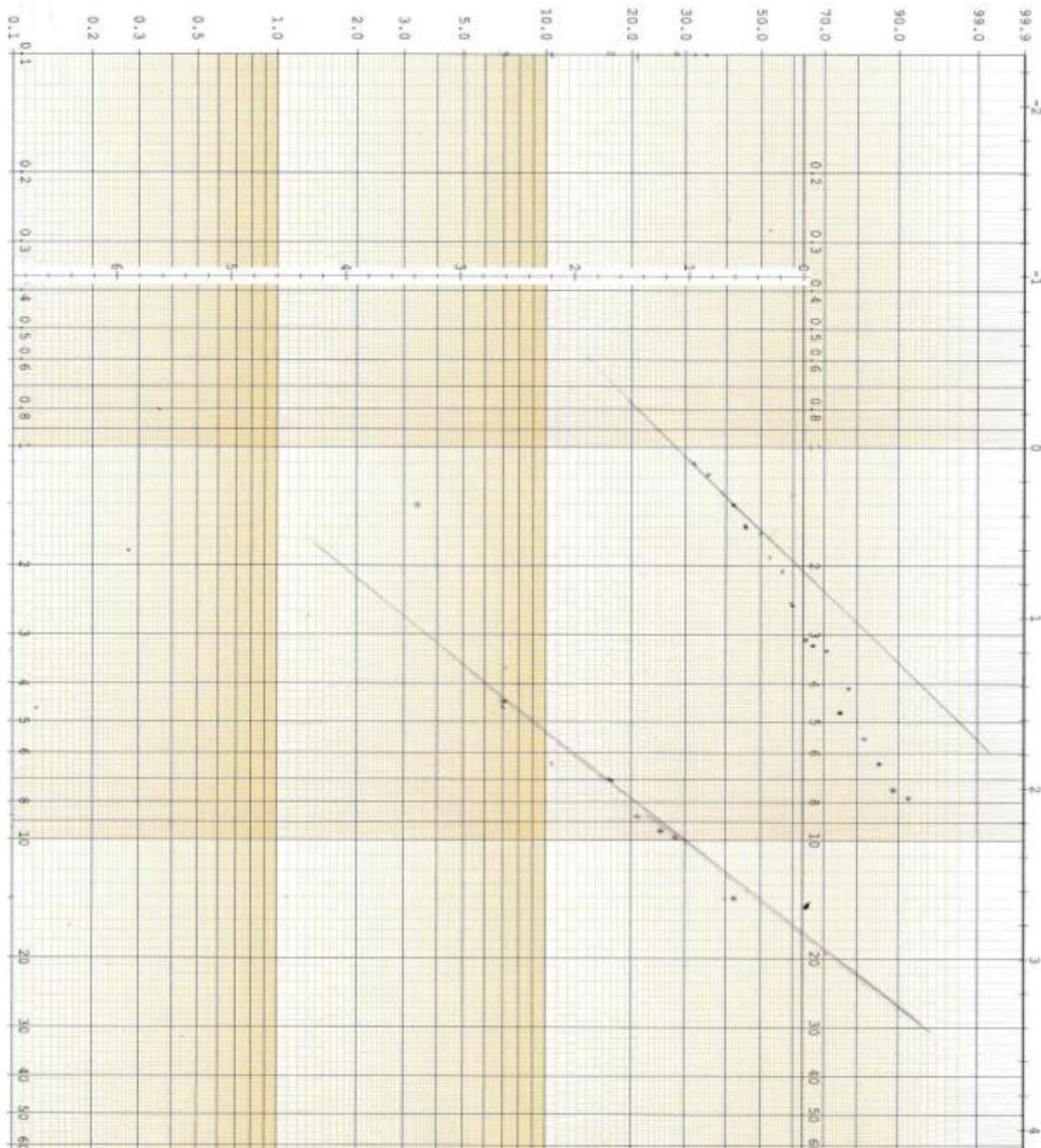


Figure.V.2. Papier Weibull

V.5. Test (KOLMOGOROV SMIRNOV)

Ce teste consiste de calculer l'écart entre la fonction théorique $f_e(t_i)$ et la fonction réelle $F(t_i)$ et prendre le maximum en valeur absolue $D_{n,\max}$ cette valeur est comparée avec $D_{n,\alpha}$ qui est donnée par la table de **KOLMOGOROV SMIRNOV** si $D_{n,\alpha} < D_{n,\max}$ on refuse l'hypothèse

Tableau. V.4. test de kolmogrov-smirnov

Rang	TBF(h)	F(t)	Fe (ti)	F(t)-fe(ti)
01	14	0.064	0.0357	0.029
02	45:15	0.171	0.0714	0.100
03	64:45	0.228	0.1071	0.121
04	70	0.243	0.1785	0.065
05	87	0.288	0.2142	0.074
06	93:40	0.303	0.25	0.053
07	94:55	0.306	0.2857	0.021
08	115	0.353	0.3214	0.032
09	117:30	0.358	0.3571	0.001
10	139	0.404	0.3928	0.012
11	141:05	0.408	0.4285	0.020
12	164:45	0.457	0.4642	0.007
13	167:45	0.457	0.5	0.043
14	191	0.497	0.5357	0.038
15	208	0.524	0.5714	0.047
16	263	0.600	0.6071	0.007
17	310	0.655	0.6428	0.013
18	324	0.669	0.6785	0.009
19	333:55	0.679	0.7142	0.035
20	473:40	0.789	0.75	0.039
21	417:25	0.815	0.7857	0.030
22	551:30	0.832	0.8214	0.011
23	647:30	0.873	0.8571	0.016
24	744	0.904	0.8928	0.012
25	781:42	0.915	0.9258	0.013
26	1843:45	0.995	0.9642	0.031

$$\alpha = 0.05 = 5\% \quad D_{n,\alpha} = D_{26,0.05} = 0.27$$

$$0.121 < 0.27 \Rightarrow D_{max} < D_{n,\alpha}$$

Donc le model de weibull est acceptable.

V.6. Calcul du MTBF

Entre deux défaillances successives du même composant, la MTBF est souvent considéré comme moyenne des temps de bon fonctionnement. Elle est donnée par la formule suivante :

Le tableau de MTBF donne A=1,1330 B=17.5 $\eta = 350$ h $\beta = 0.8$

MTBF=A. $\eta + \gamma$.

MTBF= $0+1, 1330 \times 350$

MTBF = 396,55 h.

Calcule de la fiabilité en fonction (MTBF) :

$$R(MTBF) = R(396.55) = e^{-\frac{\beta}{\eta} t} = \left(\frac{MTBF}{\eta}\right)^{\beta} = 0.2859$$

- On a 28.59% de chance pour que notre **fraiseuse HURON-MU** ne tombe pas en panne en $t= 350.08$ h

Calcule de fonction de répartition en fonction (MTBF)

$$F(MTBF) = F(396.55) = 1 - e^{-\left(\frac{MTBF - \gamma}{\eta}\right)^{\beta}} = 0.7141$$

- On a 71.41% de chance pour que notre **fraiseuse HURON-MU** ne tombe pas en panne en $t= 350.08$ h.

Calcule de taux de défiance en fonction (MTBF)

$$\lambda(MTBF) = \frac{f(MTBF)}{R(MTBF)} = \frac{\beta}{\eta} \left[\frac{t - \gamma}{\eta} \right]^{\beta-1} = 0.00431$$

- On a 0.431 de chance pour que notre **fraiseuse HURON-MU** ne tombe pas en panne en $t= 350.08$ h.

Calcule de la densité de probabilité en fonction (MTBF)

$$f(MTBF) = \frac{\beta}{\eta} \left[\frac{MTBF - \gamma}{\eta} \right]^{\beta-1} \cdot e^{-\left[\frac{MTBF - \gamma}{\eta} \right]^{\beta}} = 0.00123$$

- On a 0.123 de chance pour que notre **fraiseuse HURON-MU** ne tombe pas en panne suit à $t= 350.08$ h

V.7. Etude de modèle de weibull

C'est un modèle mathématique particulièrement bien adapté à l'étude statistique des défaillances. La loi de Weibull est utilisée en fiabilité, en particulier dans le domaine mécanique, cette loi a l'avantage d'être très souple et de pouvoir s'ajuster à différents résultats d'expérimentations. Weibull a donné au taux d'avarie $\lambda(t)$ une formule générale dépendant de trois paramètres η , β , γ qui rend compte avec une bonne précision dans une gamme étendue. Les différentes formules utilisées pour la distribution de weibull sont :

Rang	TBF (h)	F(t)	R(t)	f(t)	$\lambda(t)$
01	14	0.064	0.936	0.0038	0.0041
02	45:15	0.171	0.829	0.0030	0.0037
03	64:45	0.228	0.772	0.0070	0.0036
04	70	0.243	0.757	0.0026	0.0035
05	87	0.288	0.712	0.0024	0.0034
06	93:40	0.303	0.697	0.00236	0.0034
07	94:55	0.306	0.694	0.00235	0.0034
08	115	0.353	0.647	0.00213	0.0033
09	117:30	0.358	0.642	0.00211	0.0033
10	139	0.404	0.596	0.00196	0.0033
11	141:05	0.408	0.592	0.00195	0.0033
12	164:45	0.457	0.578	0.00179	0.0031
13	167:45	0.457	0.543	0.00173	0.0032
14	191	0.497	0.503	0.00160	0.0032
15	208	0.524	0.476	0.00152	0.0032
16	263	0.600	0.400	0.00124	0.0031
17	310	0.655	0.345	0.00103	0.0030
18	324	0.669	0.331	0.00099	0.0030
19	333:55	0.679	0.321	0.00096	0.0030
20	473:40	0.789	0.211	0.00061	0.0029
21	417:25	0.815	0.185	0.00053	0.0029
22	551:30	0.832	0.168	0.00048	0.0029
23	647:30	0.873	0.127	0.00035	0.0028

24	744	0.904	0.096	0.00026	0.0028
25	781:42	0.915	0.085	0.00023	0.0028
26	1843:45	0.995	0.005	0.0001	0.0025

❖ Résultats de la fonction fiabilité $R(t)$:

La fonction fiabilité de celle de répartition : $R(t)=1-F(t)$, après calcul de la fiabilité de **fraiseuse HURON-MU** aux temps $t=MTBF$, on déduit que la valeur n'est pas satisfaisante donc on peut dire que la fraiseuse HURON-MU n'est pas fiable à $t=MTBF$.

$R(MTBF)=0.2859$ (soit une fiabilité de 28.59%).

❖ Résultats de la fonction répartition $F(t)$:

D'une façon générale, la probabilité cumulé de défaillance est croissante sur la **fraiseuse HURON-MU** pour $t=MTBF$; $F(MTBF)=0.7141$.

❖ Résultats de la fonction défaillance :

Le taux de défaillance décroît d'abord et à devenir par la décroissance, on comprend que la **fraiseuse HURON-MU** est enfin de phase et constante de $\lambda(t)$, on comprend que la **fraiseuse HURON-MU** est en début de la phase.

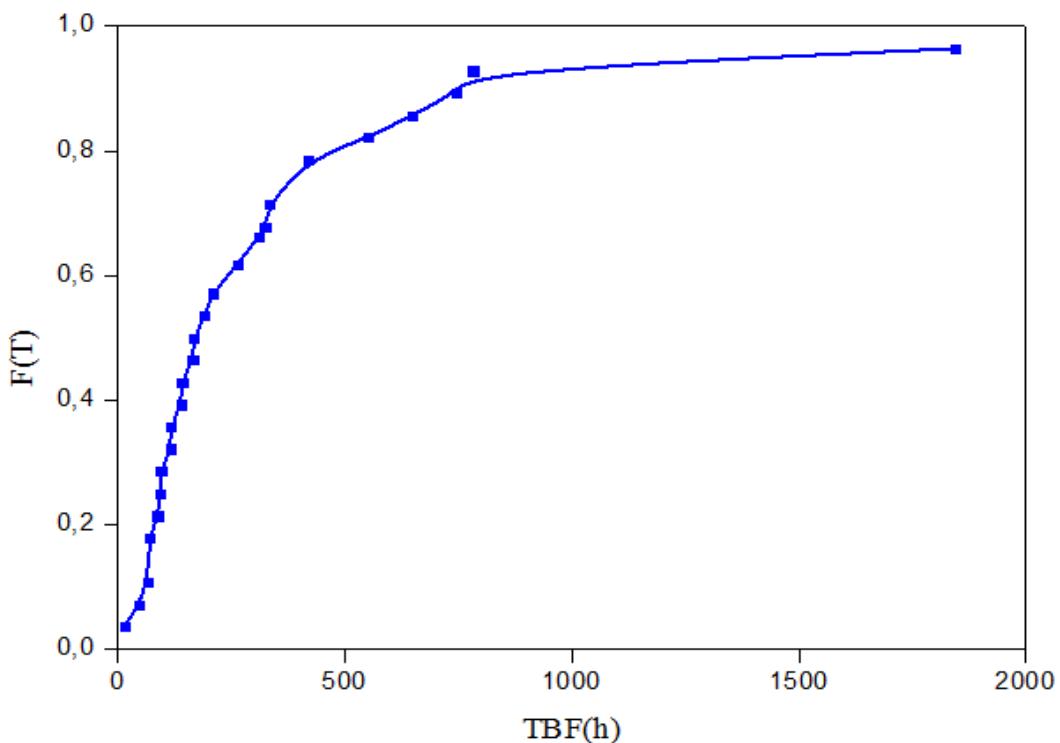


Figure.V.3. La Courbe de Fonction Répartition

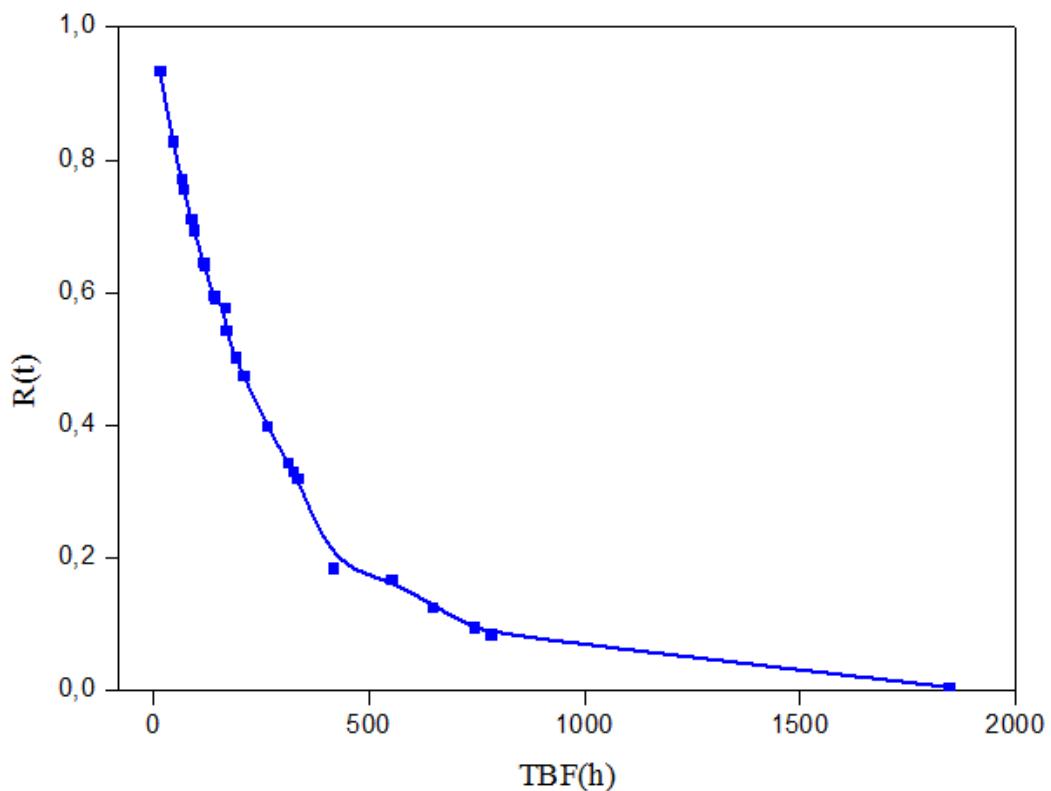


Figure. V.3. La Courbe De la Fonction Fiabilité.

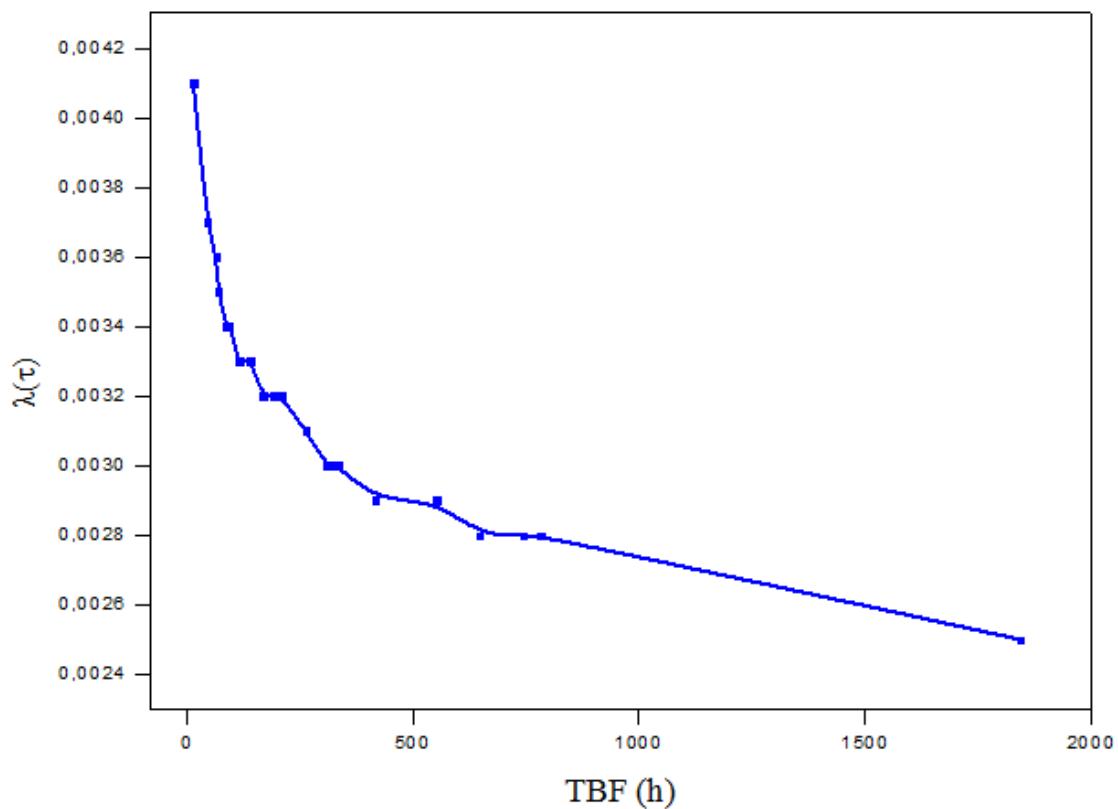


Figure. V.4. La Courbe De la Fonction de défaillance.

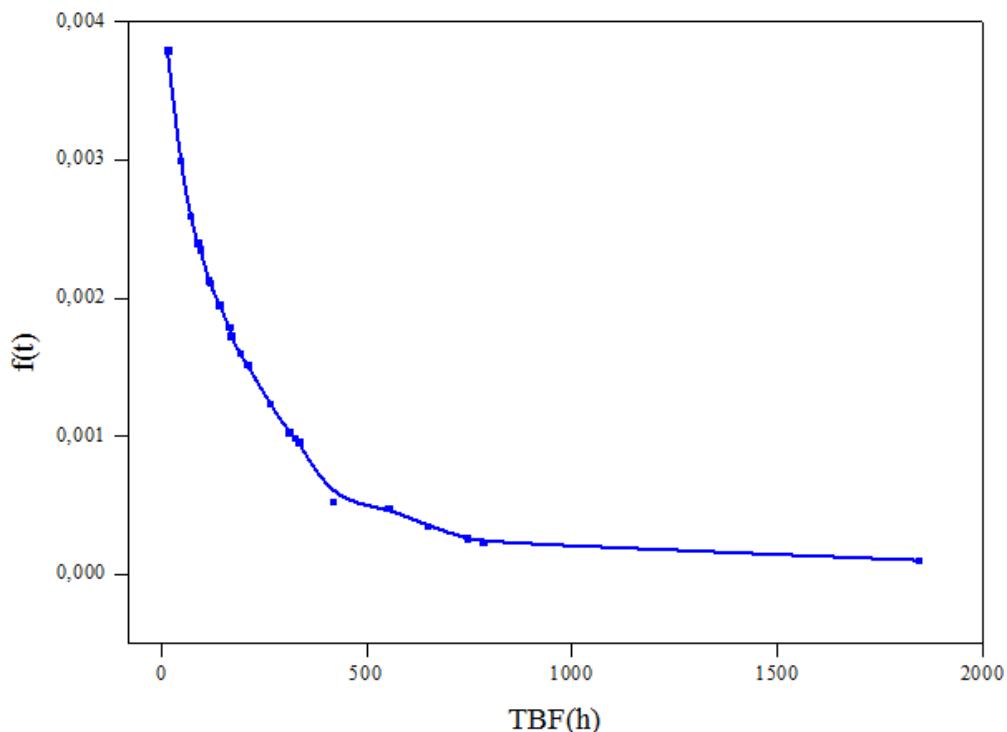


Figure. V.5. La Courbe De taux de défaillance.

V.8. Maintenabilité de la fraiseuse HURON-MU

Rang	Temps de réparation	$M(t)$
01	0.10	0.0566
02	0.14	0.0784
03	0.15	0.0837
04	0.30	0.1605
05	0.35	0.1846
06	1.00	0.4420
07	1.18	0.4976
08	1.25	0.5177
09	1.30	0.5315
10	2.00	0.6886
11	2.45	0.7605
12	3.00	0.8262
13	3.35	0.9862

$$MTTR = \frac{\sum ti}{\sum deg} = \frac{22.28}{13} = 1.713 \text{ h/int}$$

$$\mu = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{1.713} = 0.5834 \text{ int/h}$$

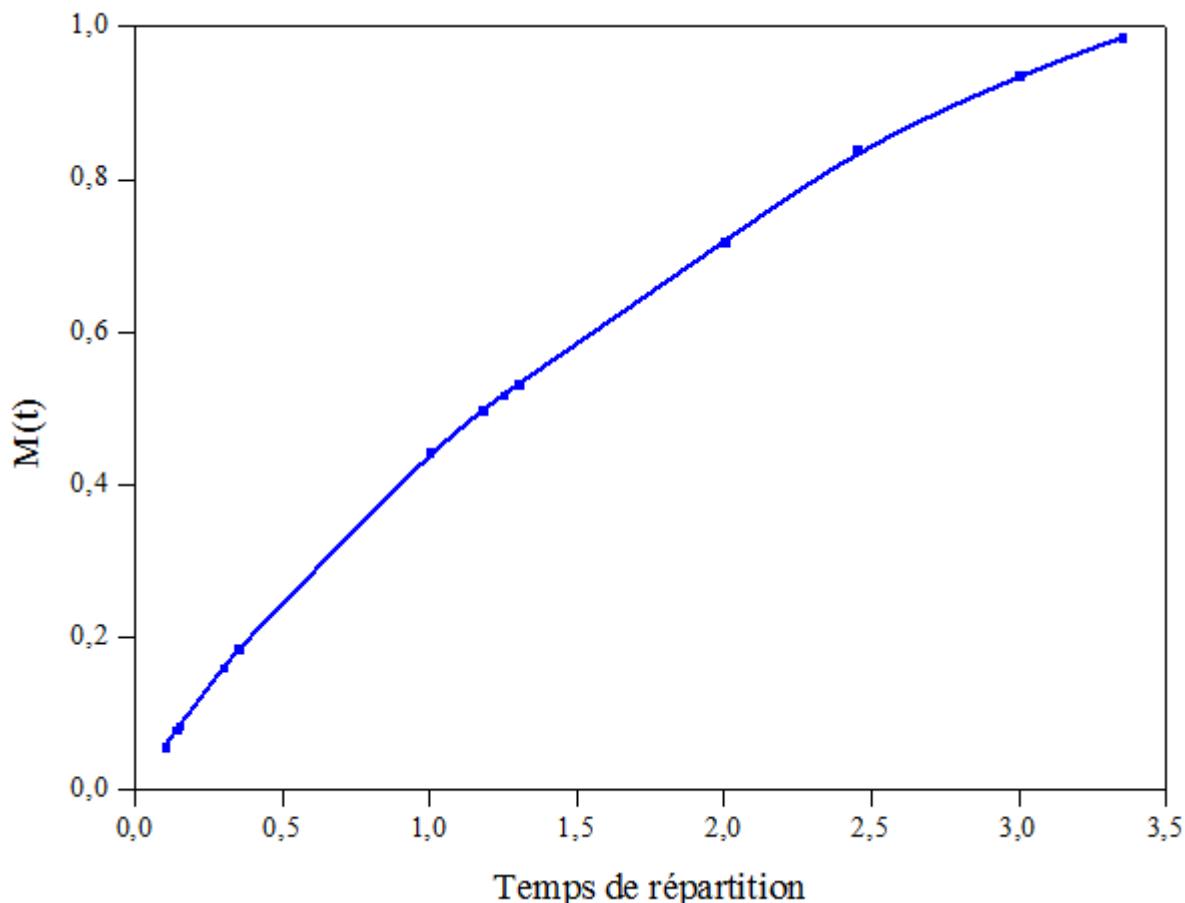


Figure. V.6. La Courbe De maintenabilité.

Résultats de la maintenabilité

Après l'observation de graphe de maintenabilité on déduit que nous avons peu de chance pour la répartition se fasse dans les meilleures conditions possible.

Amélioration de la maintenabilité

Pour améliorer la maintenabilité, il faut diminuer l'allongement du temps de réparation.

V.9. Calcul la disponibilité de la fraiseuse :

1. **Disponibilité intrinsèque :** Cette disponibilité est évaluée en prenant en compte les moyennes des temps de bon fonctionnement et les moyennes des temps de réparation.

$$Di = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR} = \frac{396.55}{396.55+1.713} = 0.9957$$

2. Disponibilité instantanée

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{1}{MTBF} = \frac{1}{396.55} = 0.00252$$

$\eta = 0.5847$

$$\frac{\eta}{\lambda + \eta} = \frac{0.5847}{0.00252 + 0.5847} = 0.9957$$

$$\frac{\lambda}{\lambda + \eta} = \frac{0.00252}{0.00252 + 0.5847} = 0.00429$$

$$D(t) = 0.9957 + 0.00429 \times e^{-0.5872t}$$

TBF (jours)	D(t)
0.583	0.9987
1.875	0.9971
2.666	0.9965
2.916	0.9964
3.891	0.9961
3.939	0.9961
4.7916	0.9959
4.887	0.9958
5.791	0.9958
5.877	0.9958
6.977	0.9957
7.958	0.9957
8.666	0.9957
10.958	0.9957
12.91	0.9957
13.5	0.9957
13.89	0.9957
19.72	0.9957
21.55	0.9957
22.97	0.9957
26.97	0.9957
31.00	0.9957
32.55	0.9957
76.81	0.9957

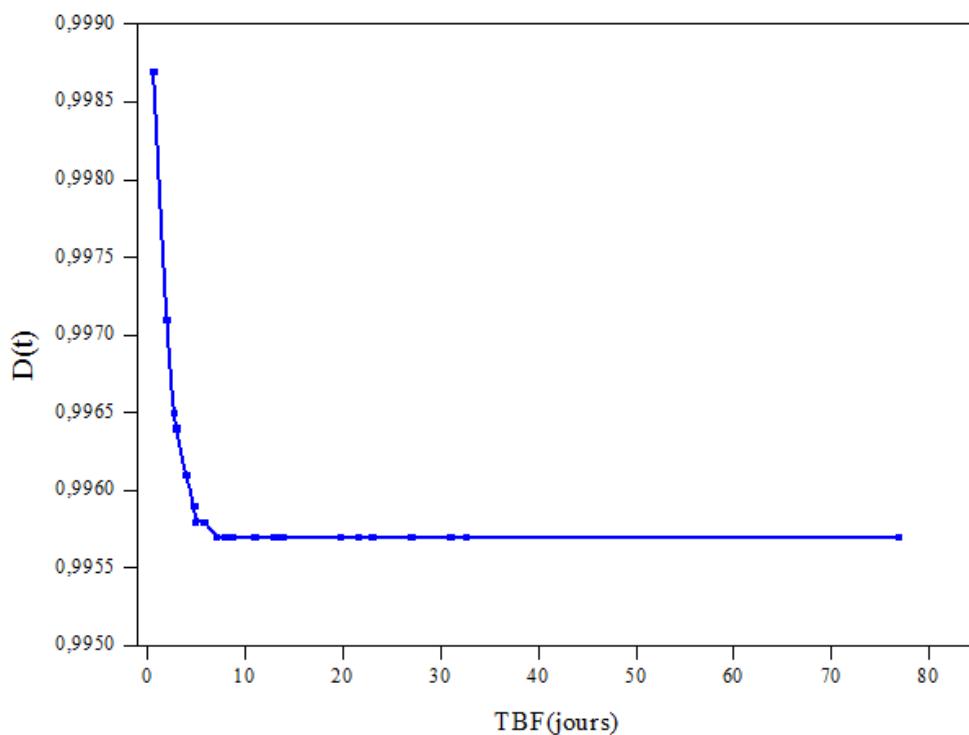


Figure. V.7. La Courbe De disponibilité.

Résultat de la fonction de disponibilité instantanée :

-Nous pouvons constater que la fraiseuse HURON-MU représentent une meilleur disponibilité instantanée prévisionnelle car elle est égale à 99.57% donc on doit maintenir ce seuil se $D(t)$.

Tableau V.4

Rang	Organe	H-A	Cumul H-A	H-A%	Nombre de panne	Cumul N-P	Nbr Panne %
A	Pompe centrale	50.55	50.55	14.8	13	13	13.40
B	Moteur avances rapide	49.05	100	29.28	9	22	22.68
C	Moteur broche	47.30	147.30	43.13	11	33	34.02
D	Circuit pompe	39.04	186.34	54.56	14	47	48.45
E	Broche	28.20	214.54	62.82	5	52	53.60
F	Boite de vitesse	22.35	237.29	69.48	12	64	65.97
G	Armoire électrique	21.15	258.44	75.67	1	65	67.01
H	Vis et noix (table)	19.30	278.44	81.44	8	73	75.25
I	Freinage (table)	16.43	294.57	86.25	7	80	82.47
J	Déclencheur de bélier	14.45	309.42	90.6	2	82	84.53
K	Glissière	11.15	320.57	93.87	4	86	88.65
L	Embrayage de console	10.45	331.42	97.04	3	89	91.75
M	L'avance automatique table	3.33	335.15	98.14	4	93	95.87
N	Commande d'avance rapide	3.00	338.15	99.01	2	95	97.93
O	Calculateur	2.05	340.20	99.61	1	96	98.96
P	Sectionner	1.30	341.50	100	1	97	100

V.10. Périodicités

La périodicité d'intervention T se détermine à partir :

- Des préconisations du constructeur dans un 1er temps
- De l'expérience acquise lors d'un fonctionnement correctif
- De l'exploitation fiabiliste réalisée à partir d'essais, d'historiques ou de résultats fournis par des visites préventives initiales ; les lois de Weibull et exponentielles permettent de déterminer la MTBF associée à un intervalle de confiance.
- D'une analyse prévisionnelle de fiabilité (quantification d'un arbre de défaillance).

Cependant, en général, "améliorer la périodicité" peut souvent se traduire par rendre les intervalles entre des événements ou des actions plus réguliers, plus fiables, ou plus adaptés aux besoins.

Voici quelques interprétations possibles et des pistes d'amélioration associées :

1. Rendre les cycles de fonctionnement plus réguliers et prévisibles :

- **Maintenance préventive** : Mettre en place un programme de maintenance préventive rigoureux basé sur des données fiables (historique des pannes, recommandations du fabricant, analyses vibratoires, etc.). Cela permet d'anticiper les défaillances et d'éviter les arrêts imprévus, rendant les périodes de fonctionnement plus longues et plus régulières.
- **Optimisation des réglages** : S'assurer que l'équipement est correctement réglé et calibré pour éviter les dérives qui pourraient entraîner des arrêts ou des dysfonctionnements irréguliers.
- **Formation du personnel** : Former correctement les opérateurs et le personnel de maintenance pour qu'ils comprennent le fonctionnement de l'équipement et puissent détecter les signes avant-coureurs de problèmes.
- **Systèmes de surveillance** : Utiliser des systèmes de surveillance en temps réel (capteurs, IoT) pour suivre les performances de l'équipement et identifier les anomalies potentielles avant qu'elles ne causent des arrêts.

2. Augmenter la fréquence des cycles si nécessaire :

- **Optimisation des processus** : Analyser le processus global pour identifier les goulets d'étranglement qui pourraient limiter la fréquence d'utilisation de l'équipement.
- **Automatisation** : Automatiser certaines tâches pour réduire les temps morts et permettre à l'équipement de fonctionner plus fréquemment.
- **Amélioration de la vitesse de fonctionnement** : Si cela est possible sans compromettre la fiabilité, optimiser les paramètres de fonctionnement pour augmenter la vitesse des cycles.

3. Diminuer la fréquence des interventions de maintenance si possible :

- **Utilisation de composants plus fiables** : Remplacer les pièces sujettes à des défaillances fréquentes par des composants de meilleure qualité et plus durables.
- **Lubrification et entretien appropriés** : Mettre en place un programme de lubrification rigoureux avec les bons produits pour réduire l'usure et prolonger la durée de vie des composants.
- **Amélioration de l'environnement de fonctionnement** : S'assurer que l'équipement fonctionne dans des conditions optimales (température, humidité, propreté) pour minimiser les contraintes et l'usure.

4. Adapter la périodicité des tâches de maintenance aux besoins réels :

- **Maintenance conditionnelle** : Mettre en place une maintenance basée sur l'état réel de l'équipement (mesures vibratoires, analyses d'huile, thermographie, etc.) plutôt que sur des intervalles de temps fixes. Cela permet d'intervenir uniquement lorsque c'est nécessaire.
- **Analyse de la fiabilité** : Effectuer des analyses de défaillance (AMDEC, etc.) pour identifier les composants critiques et optimiser la périodicité des actions de maintenance en fonction de leur risque de défaillance.

Il est intéressant de chercher à améliorer la périodicité d'une fraiseuse Huron. Comme nous l'avons évoqué, cela peut concerter différents aspects. Concentrons-nous sur les interprétations les plus courantes dans le contexte d'une machine-outil comme une fraiseuse :

1. Améliorer la régularité et la fiabilité du fonctionnement :

- **Maintenance Préventive Rigoureuse** : C'est la clé pour éviter les arrêts imprévus. Cela inclut :
 - **Inspections régulières** : Vérifier l'état des composants mécaniques (vis, roulements, glissières), électriques (moteurs, câblages), et du système de refroidissement.
 - **Lubrification** : Suivre scrupuleusement le programme de lubrification recommandé par Huron, en utilisant les huiles et graisses appropriées. Un graissage centralisé, si présent, doit être vérifié.
 - **Nettoyage** : Maintenir la machine propre pour éviter l'accumulation de copeaux et de poussière qui peuvent affecter les performances et accélérer l'usure.
 - **Contrôles fonctionnels** : Tester régulièrement les mouvements des axes, la rotation de la broche, et les systèmes de sécurité.
 - **Resserrage** : Vérifier et resserrer périodiquement les fixations qui pourraient se desserrer avec les vibrations.
- **Surveillance de l'état (Maintenance Conditionnelle)** : Si possible, intégrer des techniques de surveillance de l'état pour détecter les problèmes potentiels avant qu'ils ne deviennent critiques:
 - **Analyse vibratoire** : Pour surveiller l'état des roulements de broche et d'autres composants rotatifs.
 - **Analyse d'huile** : Pour vérifier la qualité de la lubrification et détecter la présence de particules d'usure.
 - **Thermographie infrarouge** : Pour identifier les points chauds indiquant des problèmes électriques ou mécaniques.
- **Utilisation Correcte** : S'assurer que les opérateurs sont correctement formés à l'utilisation de la fraiseuse Huron, en respectant les capacités de la machine et les procédures de travail. Une mauvaise utilisation peut entraîner des contraintes excessives et des pannes.

2. Adapter la périodicité des interventions de maintenance :

- **Historique des pannes :** Analyser l'historique des pannes de la fraiseuse Huron pour identifier les composants les plus critiques et ajuster la fréquence des inspections et des remplacements en conséquence.
- **Recommandations du fabricant :** Se référer au manuel de maintenance fourni par Huron pour connaître les intervalles de maintenance recommandés.

Adaptation de la périodicité des tâches de maintenance aux besoins réels (Maintenance Basée sur la Fiabilité - RCM) :

- **Analyse de la fiabilité (AMDEC/FMEA) :** Bien qu'il ne s'agisse pas de calculs numériques directs, l'AMDEC implique une évaluation des modes de défaillance potentiels, de leurs effets, de leurs causes et de leur probabilité d'occurrence. Cette analyse permet de prioriser les actions de maintenance et d'adapter leur périodicité en fonction du risque. Des scores de criticité sont calculés en multipliant la probabilité, la gravité et la détectabilité des défaillances.
- **Calcul de la maintenabilité et de la disponibilité :** Ces indicateurs clés de performance (KPI) peuvent être calculés en collectant des données sur les temps d'arrêt (MTTR - Temps Moyen de Réparation) et les temps entre les pannes (MTBF). L'amélioration de la périodicité vise à augmenter la disponibilité de la machine en réduisant la fréquence et la durée des arrêts.

Dans tous les cas, la périodicité n'est pas une valeur fixe « une fois pour toute ». Elle doit évoluer en fonction du retour d'expérience et de l'évolution de l'équipement. En général, un cycle de maintenance.

V.11. Mettre en place un programme d'entretien préventif

L'élaboration d'un programme adapté demande la participation de tous les intervenants (direction, département de production, département de l'entretien et travailleurs). La bonne compréhension du rôle d'entretien préventif est essentielle au succès d'une telle entreprise. Voici donc la suite logique des étapes à suivre pour élaborer un programme d'entretien préventif efficace qui peut très bien fonctionner sur papier sans passer nécessairement à l'étape d'informatisation. Les étapes suivantes sont :

1. Dresser l'inventaire des équipements.
2. Choisir les équipements à entretenir
3. Déterminer le type d'entretien préventif et les activités qui en découlent
4. Structurer le dossier d'entretien des équipements
5. Établir un calendrier d'entretien et déterminer les responsabilités des personnes concernées

6. Former le personnel. Le programme d'entretien doit être connu et compris de tous les acteurs du milieu de travail.
7. Évaluer le programme
8. Effectuer un suivi continu
9. Compiler les fiches techniques des équipements
12. Structurer le dossier d'entretien des équipements
13. Contrôler l'inventaire des pièces de rechange

Les étapes en gras, ont été choisies du fait de leur importance :

ÉTAPE 2 Choisir les équipements à entretenir

Cette étape est l'une des plus importantes dans l'implantation d'un programme d'entretien préventif. En effet, il est recommandé de commencer l'entretien avec un minimum d'équipements et de s'assurer du bon fonctionnement du programme plutôt que d'inclure toutes les machines dès le début et de ne pouvoir effectuer l'entretien préventif correctement.

L'implantation doit donc se faire graduellement en commençant par les équipements critiques dont la défaillance entraînerait:

- Un danger pour la santé et la sécurité du personnel
- Un arrêt de production
 - Une diminution de la qualité
 - Damages et coûts considérables
 - Danger pour l'environnement.

Pour justifier l'entretien préventif d'un équipement, il est indispensable d'en évaluer le coût et de comparer celui-ci aux coûts suivants :

- Coût de l'entretien curatif (dépannage et réparation).
- Coût des accidents de travail (coûts directs et indirects).
- Coût des pertes de production.
- Coût des rebuts (mauvaise qualité du produit).

Choix du type d'entretien

Il est également important de discerner le choix des équipements selon la spécialisation du personnel d'entretien et selon ce qu'on veut accomplir. Par exemple, donner en sous-traitance les équipements de manutention (chariots élévateurs et ponts-roulants) pour se concentrer davantage sur les machines de production. Après avoir sélectionné les équipements qui feront partie du programme d'entretien préventif, on doit cerner les types d'interventions et de soins à leur apporter.

ÉTAPE 3 Choisir le type d'entretien pour ces équipements

L'entretien préventif de type conditionnel est sans compromis le plus intéressant pour suivre l'évolution des paramètres sur une machine et de là, solliciter de façon optimale la durée de vie des pièces et des groupes de composantes. Par contre, l'efficacité d'une maintenance conditionnelle est subordonnée à l'efficacité et à la fiabilité des paramètres de mesure qui la caractérisent. Ainsi ce type d'entretien sera réservé aux équipements dont l'évolution des défauts est facilement détectable et mesurable avec des capteurs fiables ou des instruments spécialisés.

Le choix du type d'entretien résultera toujours d'un compromis financier et technique. De ce fait, le responsable du choix devra effectuer pour chaque équipement la comparaison des avantages et des inconvénients inhérents à chaque type d'entretien.

L'entretien correctif sera généralement réservé aux équipements dont la non disponibilité a peu d'impact sur la production (machine doublée ou non liée à la production), sur la sécurité des travailleurs et dont le coût annuel supposé des réparations et des pannes imprévisibles demeure acceptable.

L'entretien systématique sera généralement employé pour le remplacement des pièces d'usure de faible coût (joints, garnitures, fusibles, filtres, courroies, ...) ou des pièces critiques dont on connaît avec précision la longévité (relais, coussinets, sabots de frein,...).

L'entretien périodique conviendra aux équipements nécessitant des vérifications obligatoires périodiques, des ajustements réguliers, des inspections fréquentes ou chaque fois que des mesures fiables seront impossibles à obtenir autrement qu'en procédant à des étapes de vérifications spécifiques. Pour les opérations de graissage, de lubrification, de calibration ou d'ajustements légers, on peut procéder davantage à des rondes spécifiques sur un groupe d'équipements donné. Ou encore, demander la participation de l'opérateur à ces tâches (auto maintenance).

V.12. Démarche pratique d'une fraiseuse HURON MU

V.12.1. Analyse Fonctionnelle de la fraiseuse

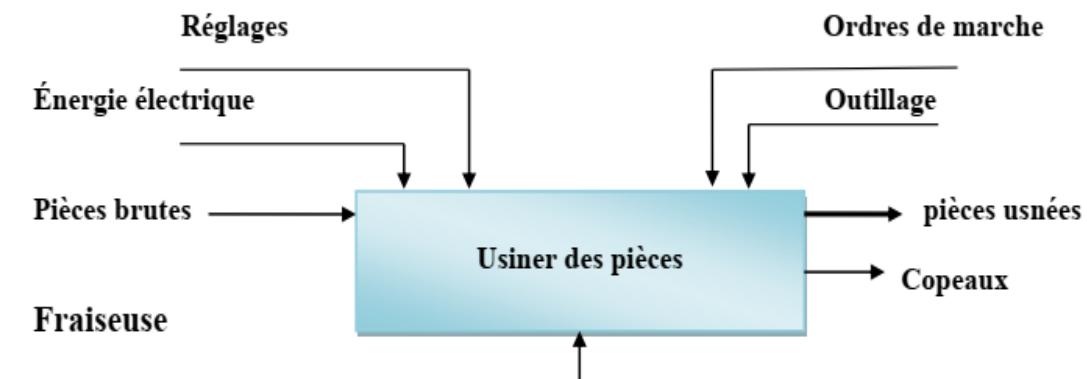


Figure. V.9. Analyse Fonctionnelle d'une fraiseuse HURON MU

V.12.2. Décomposition fonctionnelle

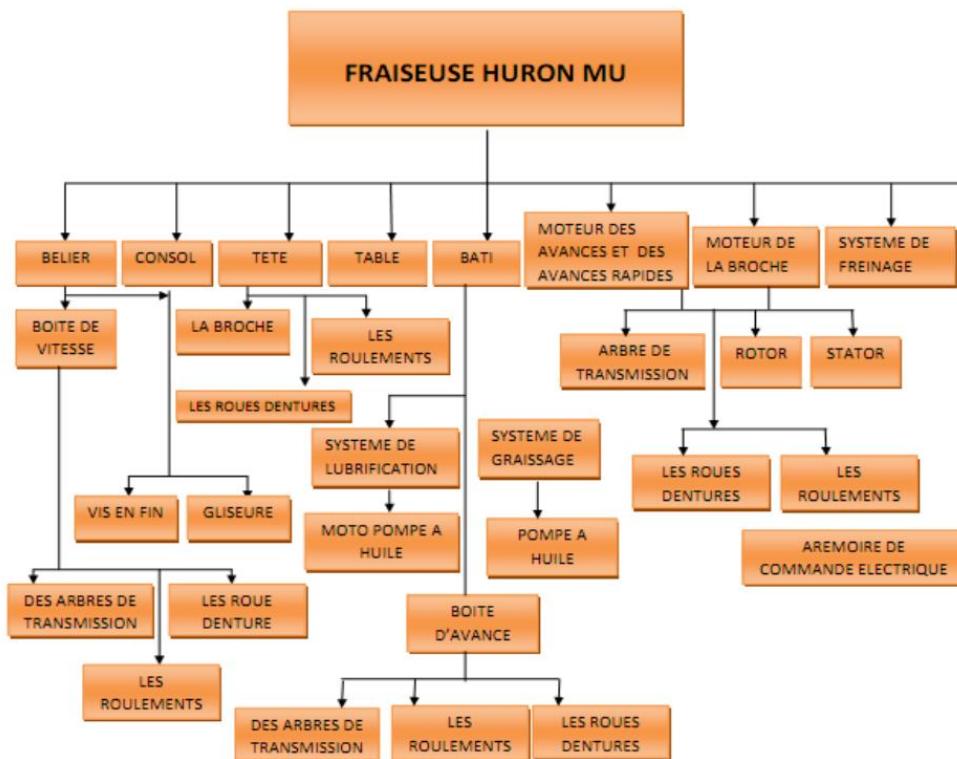


Figure. V.10. Décomposition fonctionnelle d'une fraiseuse HURON MU

V.12.3. L'analyse externe de la fraiseuse HURON MU

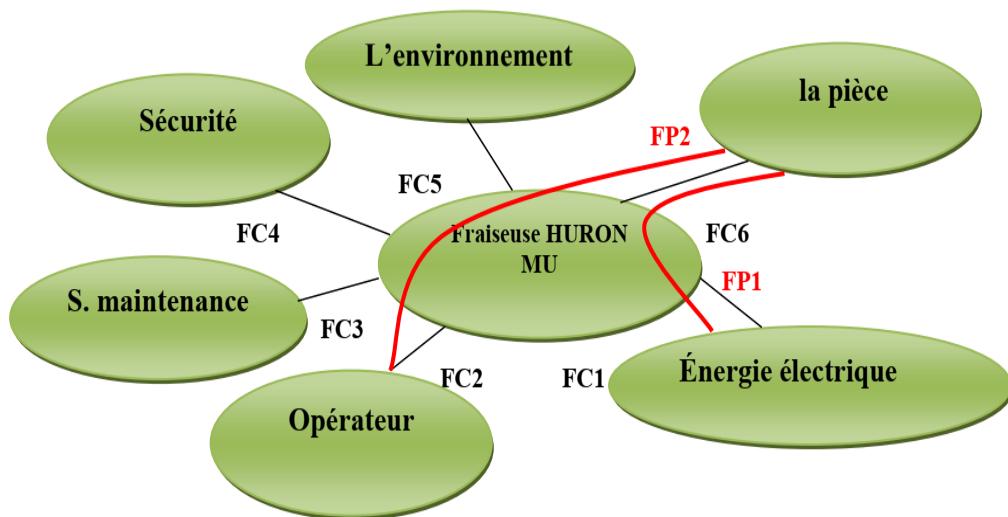


Figure. V.11. L'analyse externe de la fraiseuse HURON MU.

FP1 Tailler les surfaces des pièces

FP2 Etre compatible et simple a utilisé

FC1 Etre compatible avec les réglages

FC2 Manipuler sans danger

FC3 Accessibilité aux travaux de maintenance

FC4 Respecter les normes de la sécurité

FC5 Respecter le milieu de travail

FC6 Qualité de la pièce

V.12.4. L'analyse interne de la fraiseuse HURON MU

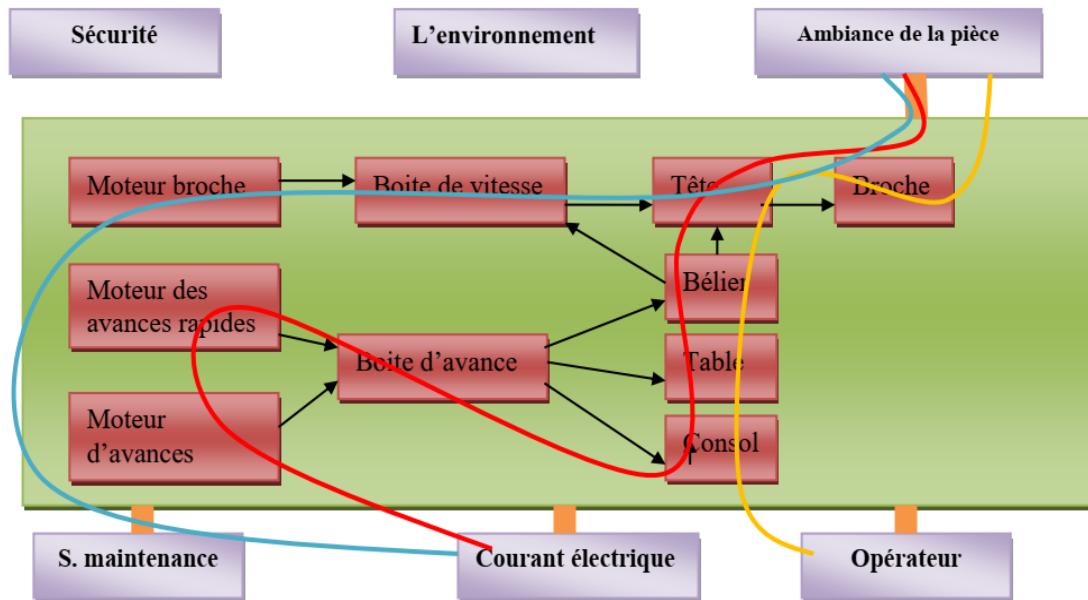


Figure. V.12. L'analyse interne de la fraiseuse HURON MU

V.12.5. Diagramme causes-effet

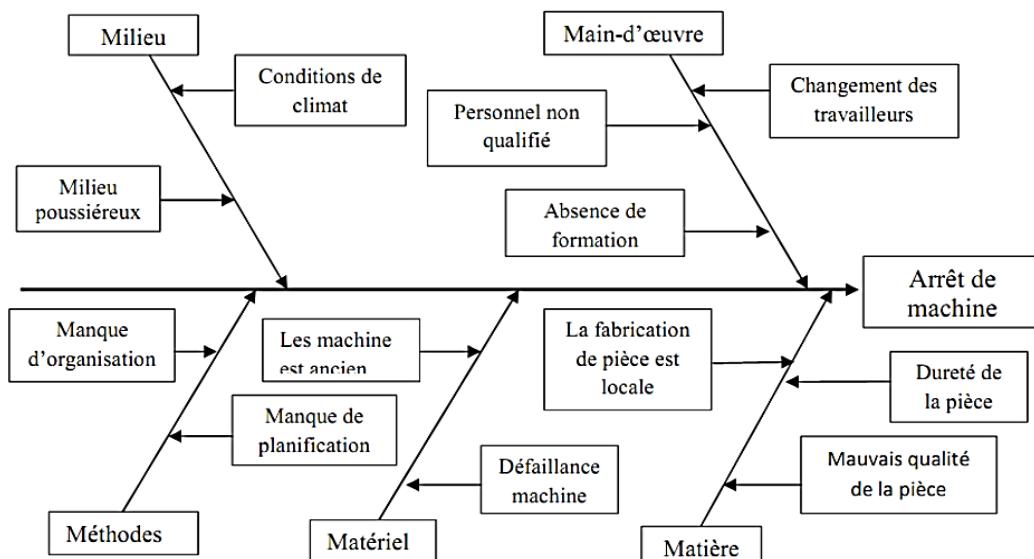


Figure. V.13. Diagramme causes-effet

Tableau V.9. Stratégie d'un plan de maintenance

N°	Désignation Opération	Périodicité (h)	Niveau de maintenance	PDR et Consommable			Intervenant		Outillage	
					méc	élec	hyd	Autre spécialité		
1	Nettoyage	24h=1jour	1	Solution liquide					✓	Manuel
2	Inspection	120h=5 jours	1	Visuel	✓	✓				Manuel
3	Contrôle	168h=7 jours	1	Visuel	✓	✓				
4	Visite	168h=7 jours	1	Visuel +Mesure			✓			
5	Vidange et nettoyage la tête	450h de travail	1	Visuel			✓			Manuel
6	Bélier graissage	450h de travail	1	Huile			✓			Manuel
7	Pompe de graissage	450h de travail	1	Huile			✓			Manuel
8	Vidange réservoir liquide	450h de travail	1	Huile			✓			Manuel
9	Contrôle vibratoire	240h de travail	4		✓					Vibromètre
10	Contrôle boite de vitesse	450h de travail	4		✓					Vibromètre
11	Glissière nettoyage	12h de travail	1	Solution liquide					✓	Manuel
12	Système freinage usure galet	450h	3		✓					Pied à coulisse
13	Graissage vis sens fin et nettoyage	360h=15jours	1	Graisse			✓			Manuel
14	Moteur électrique d. rapide	450h de travail	3			✓				Contrôle vibratoire

15	Roulement guidage	450h de travail	3		✓					Contrôle vibratoire
16	Broche vibration	450h de travail	4		✓					Contrôle vibratoire
17	Desserrage écrous mécanisme de freinage	360h=15jours	1		✓					Clé
.										

Conclusion Générale

Ce mémoire a permis d'explorer en profondeur les enjeux liés à la fiabilité et à la maintenance d'une fraiseuse HURON MU au sein de l'unité AMM du complexe SIDER El-Hadjar. Dans un contexte industriel marqué par des exigences croissantes de performance, la maîtrise de la maintenance devient un levier stratégique pour assurer la continuité de la production et réduire les coûts liés aux arrêts imprévus.

À travers l'analyse des données de défaillance et l'application des outils de la fiabilité (notamment l'étude FMD et le modèle de Weibull), nous avons pu identifier les éléments critiques, déterminer les types de maintenance les plus adaptés, et proposer un plan de maintenance préventive pertinent. L'approche méthodologique a mis en évidence l'importance d'une organisation rigoureuse de la maintenance, appuyée par des indicateurs de performance tels que le MTBF, le MTTR, et la disponibilité.

Les résultats obtenus soulignent que l'anticipation des pannes, via une maintenance préventive bien ciblée, permet non seulement d'améliorer la disponibilité des équipements, mais aussi de prolonger leur durée de vie utile. Le recours à une stratégie de maintenance basée sur la fiabilité (RCM) s'avère donc particulièrement pertinent pour optimiser les performances globales de la machine et de l'atelier.

Enfin, ce travail ouvre des perspectives intéressantes pour des recherches futures, notamment en ce qui concerne l'intégration de systèmes de surveillance en temps réel et l'automatisation des interventions de maintenance. Une approche plus poussée, basée sur l'analyse prédictive, pourrait également améliorer encore davantage l'efficacité des plans de maintenance mis en œuvre.

Références bibliographiques

- [1] RABIA KHELIF, Cours de la Maintenance Basée sur la Fiabilité, Département Génie Mécanique, Université Badji Mokhtar, Annaba, 2016
- [2] KALLOUCHE Abdelkader, Cours FMD et sureté de fonctionnement, Département Génie Mécanique, Université Badji Mokhtar, Annaba, 2015.
- [3] Jacques RIOUT - Le guide de l'AMDEC machine Edition centre technique des industries mécanique -1994-
- [4] BENBEKHTI Ahmed, «Etude de réalisation d'un support pour affutage des forets sur une machine à commande numérique.», master, Universite Abou Bekr Belkaid-Tlemcen, 2013. <http://dspace.univ-tlemcen.dz/bitstream/112/3808/1/msgm2.pdf>
- [5] BOUANIK FOUAD, Simulation de l'usinage d'un guidage longitudinal sous le logiciel SINUTRAIN 828D ShopMill, mémoire master, université Annaba, 2017
- [6] MAMMAR Omar, mémoire de master en génie mécanique université de Tlemcen, 2015
- [7] F. Monchy. La fonction maintenance : formation à la gestion de la maintenance industrielle, collection technologies de l'université à l'industrie. Masson, 1991.
- [8] A. Benouareth. Contribution à l'étude de la fiabilité des postes de distribution électrique (application des processus semi-markoviens). Thèse de Magister, université M'Hamed Bougera de Boumerdes, 2005.
- [9] Documentation d'historique de l'unité (AMM) ateliers maghrébin mécanique
- [10] O. Tebbi. Estimation des lois de fiabilités en mécanique par les essais accélèrent. Thèse Doctorat, Ecole Doctorale D'Angers, 2005
- [11] Samir Benarabi, Chouchani Abidi Brahim, « *Optimisation du choix des outils de coupe pour l'usinage des poches quadrilatères en 2D½* », mémoire de fin d'étude, université Kasdi Merbah, Ouargla, 2010.
- [12] Gilles Prod'Homme, « *Commande numérique des machines-outils* » technique de l'ingénieur, traité génie mécanique, B 7130, pp.3, 1997.
- [13] Y. Schoefs, S. Fournier, J. C. Leon, « *Productique mécanique* », Delagrave, 1994, France.
- [14] J.C. Tanguy, « *Rectification, conditions de base et données pratiques* », centre technique des industries mécaniques, CETIM 2001, France.
- [15] G. Spinnler, « *Conception des machines principes et applications* », tome 3, presses polytechniques et universitaires romandes, 1998.
- [16] A. Toumine, éléments de cours : usinage v1.1, Cours de Fabrication, « *usinage par enlèvement de copeaux* ».
- [17] Documentations technique de la machine HURON.
- [18] Mohamed SOUSSAN & Tarik DIB, mémoire de MASTER : « Etude critique et propositions d'amélioration de la gestion de la maintenance », Année 2012.

[19] merzgane mohamed, mémoire de MASTER : « Analyse des statistiques de la maintenance avec la projection FMD au niveau de la TSS », Année 2013.

[20] Souaiaia hakim, Etude de maintenance du système moteur-voix rouleaux "TSS" sider-Annaba, mémoire master, université Annaba 2017

[21] Chalal abdelaziz, Etude AMDEC de la fraiseuse huron mu par les outils de la maintenance industrielle au niveau de l'unité AMM Arcelormittal –Annaba, mémoire master, université Annaba

[22] Mahfoud Brahim, analyse de la fonction maintenance à l'unite TSS - sider annaba, mémoire master, université Annaba, 2017