

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR - ANNABA
BADJI MOKHTAR – ANNABA UNIVERSITY



جامعة باجي مختار - عاڭڻة

Faculté : Technologie

Département : Génie mécanique

Domaine : Sciences et techniques

Filière : Génie mécanique

Spécialité : Ingénierie de la maintenance

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Thème :

Étude de la Sûreté de Fonctionnement d'une Machine FICEP TIPO B254
-PROMECH ANNABA-

Présenté par : *SOLTANI Mohamed Akram*

Encadrant: *KHELIF Rabia*

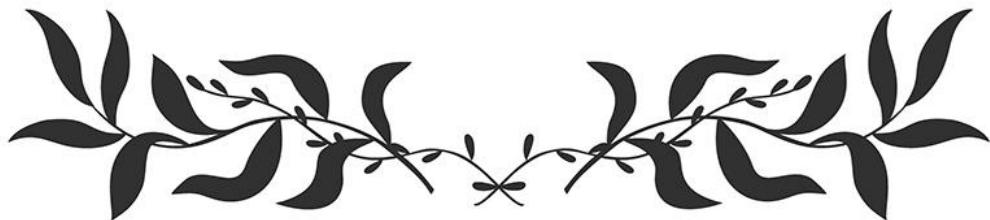
Grade PROF

Université Badji Mokhtar

DEVANT LE JURY :

<i>KHELIF Rabia</i>	<i>PROF</i>	<i>Encadrant</i>
<i>BENAMIRA Mohamed</i>	<i>MCA</i>	<i>Président</i>
<i>DERDAR Abderrahim</i>	<i>MCB</i>	<i>Examinateur</i>

Année Universitaire : 2024/2025



REMERCIEMENTS

JE REMERCIE DIEU TOUT-PUISSENT QUI M'A DONNÉ LA FORCE, LA PATIENCE, LE COURAGE ET LA VOLONTÉ DE SURMONTER TOUS LES OBSTACLES ET LES DIFFICULTÉS QUE J'AI RENCONTRÉS AU COURS DE MES ANNÉES D'ÉTUDES, CE QUI A CONTRIBUÉ À ÉCLAIRER LA VOIE VERS LA RÉALISATION DE CET HUMBLE TRAVAIL.

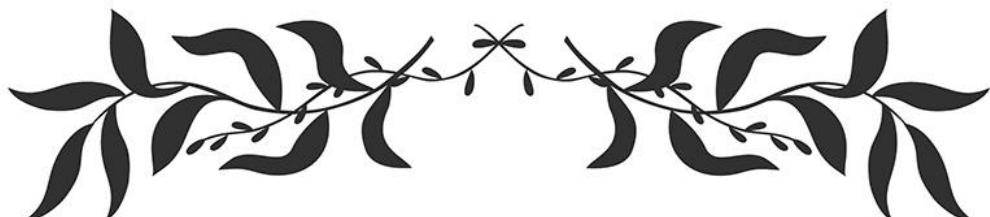
JE TIENS ÉGALEMENT À EXPRIMER MA GRATITUDE À MR. KHELIF RABIA QUI A ACCEPTÉ DE SUPERVISER CETTE THÈSE ET M'A PRODIGUÉ DE PRÉCIEUX CONSEILS.

JE REMERCIE LES MEMBRES DU COMITÉ DE JUGEMENT D'AVOIR ACCEPTÉ D'ÉVALUER MON TRAVAIL.

J'EXPRIME MA GRATITUDE À TOUS MES PROFESSEURS QUI ONT CONTRIBUÉ À MA FORMATION DEPUIS L'ÉCOLE PRIMAIRE JUSQU'AUX ÉTUDES UNIVERSITAIRES.

PAR AILLEURS, CE TRAVAIL N'AURAIT PU ÊTRE MENÉ À BIEN SANS LE SOUTIEN MORAL ET ACTIF DE MA FAMILLE.

ENFIN, TOUTES LES PERSONNES QUI ONT CONTRIBUÉ DIRECTEMENT OU INDIRECTEMENT À LA RÉALISATION DE CE TRAVAIL TROUVENT ICI L'EXPRESSION DE MA RECONNAISSANCE ET DE MES REMERCIEMENTS.





DÉDICACE



J'ai le grand plaisir de dédier ce modeste travail :
À ma chère mère et ma chère tante, qui me donnez toujours l'espoir dans la vie et qui n'avez jamais cessé de prier pour moi.

À mon très cher père, pour ses encouragements, son Soutien, surtout pour son amour et son sacrifice afin que rien n'entrave le déroulement de mes études.

Que dieu les protège et que la réussite soit toujours à ma Portée pour que je puisse vous combler de bonheur.

À Mes Sœurs,

À toute ma famille

À mes meilleurs amis

Et mes chers collèges

Et tout qui m'aide et compulse ce modeste travail

A L'ensemble de l'équipe pédagogique de département génie mécanique

Mohamed Akram

Résumé

Ce mémoire examine l'application de la sûreté de fonctionnement (SDF) à la machine industrielle FICEP Tipo B254, utilisée au sein de l'unité PROMECH Annaba. L'objectif principal est d'évaluer la fiabilité, la maintenabilité et la disponibilité de cette machine critique, et de proposer des améliorations pour optimiser ses performances. Une analyse approfondie a été réalisée en utilisant des outils tels que le modèle de Weibull, l'analyse fonctionnelle et l'étude des modes de défaillance. Les résultats mettent en lumière l'importance de la maintenance proactive et de la gestion des risques pour répondre aux exigences des normes industrielles et améliorer les processus de production.

Mots-clés : Sûreté de fonctionnement, Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité, FICEP Tipo B254, PROMECH Annaba, Maintenance Analyse de défaillance, modèle de Weibull.

Abstract

This thesis examines the application of dependability to the FICEP Tipo B254 industrial machine used at the PROMECH Annaba plant. The main objective is to assess the reliability, maintainability and availability of this critical machine, and to propose improvements to optimize its performance. An in-depth analysis was carried out using tools such as the Weibull model, functional analysis and failure mode analysis. The results highlight the importance of proactive maintenance and risk management in meeting the requirements of industrial standards and improving production processes.

Key words: Dependability, Reliability, Maintainability, Availability ,FICEP Tipo B254, PROMECH Annaba, Maintenance Failure analysis, Weibull model.

الملخص

الصناعية المستخدمة في وحدة بروميك FICEP Tipo B254 تبحث هذه الأطروحة في تطبيق الاعتمادية على ماكينة عنبة. ويتمثل الهدف الرئيسي في تقييم موثوقية هذه الماكينة الحساسة وإمكانية صيانتها وتوافرها، واقتراح تحسينات والتحليل الوظيفي ودراسة أنماط الفشل. Weibull لتحسين أدائها. تم إجراء تحليل متعمق باستخدام أدوات مثل نموذج سلط النتائج الضوء على أهمية الصيانة الاستباقية وإدارة المخاطر في تلبية متطلبات المعايير الصناعية وتحسين عمليات الإنتاج.

الكلمات المفتاحية: الاعتمادية والموثوقية وقابلية الصيانة والتوافر بروميك عنبة، تحليل فشل الصيانة، نموذج ويبلو

FICEP Tipo B254

SOMMAIRE

INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	13
CHAPITRE I :PRÉSENTATION ENTREPRISE PROMECH ANNABA	15
I .1. HISTORIQUE DE L ’UNITE :	16
I .2. PRINCIPALES MISSIONS DE PROMECH :.....	17
I .3. DENOMINATION :.....	17
I .4. ORGANIGRAMME DE L’ENTREPRISE :.....	18
I .5. MARCHE ACTUEL ET SECTEURS INDUSTRIELS SEGMENTATION :.....	19
I .6. STRATEGIES :.....	19
I .6.1. Stratégie des procédés Promech :	19
I .6.2. Stratégies des produits promech :.....	19
I .7. LES ACTIVITES DE PROMECH ANNABA :	19
I .7.1. Chaudronnerie Cuveries :.....	19
I .7.2. Charpente Métallique et Technologique :.....	21
I .7.3. Equipement de travaux publics :	22
I .7.4. Equipements de Cimenterie, Sidérurgie et Mines :	23
I .7.5. Equipements de briqueterie :.....	24
I .7.6. Equipement de sous-traitance :	24
I .7.7. Equipements pour stations de traitement d’eau et d’épuration :.....	24
I .8. DIFFERENT TYPES DE MAINTENANCES PREVENTIVES APPLIQUEES A PROMECH :.....	24
I .9. OBJECTIFS DU SERVICE MAINTENANCE :	24
I .10. MATERIEL DE LABORATOIRE ET DE CONTROLE :	26
I .11. CAPACITES DE LEVAGE :	27
I .12.LES IMAGES SUR LES ATELIERS :	27
I .13. CONSIGNES DE SECURITE ET LES PROTECTIONS :	30
CHAPITRE II : DES OUTILS AU SERVICE DE LA SURETE DE FONCTIONNEMENT	32
II.1. INTRODUCTION :	33
II.2. METHODOLOGIES DE SURETE DE FONCTIONNEMENT :	33
II.2.1. Définition de la sûreté de fonctionnement :	33
II.2.2. Les temps caractéristiques pour la Sûreté de Fonctionnement :	34
II.2.3. Fiabilité :	34
II.2.3.1. Indicateurs de fiabilité λ et MTBF :	35
II.2.3.1.1. Taux de défaillance λ :	35
II.2.3.1.2. Temps moyen de bon fonctionnement (MTBF) :.....	35
II.2.3.2. Fiabilité de système :	36
II 2.3.2.1. Système en série :	36
II.2.3.2.2. Système en parallèle :.....	37
II.2.4. Maintenabilité :.....	37
II.2.4.1. Taux de réparation μ :	38
II.2.5. La disponibilité :	38
II.2.5.1. Disponibilité intrinsèque :	38
II.2.5.2. Disponibilité instantanée :.....	39

II.2.5.3. Disponibilité asymptotique :	39
II.2.5.4. Disponibilité opérationnelle :	39
II.2.6. La sécurité :.....	40
II.2.6.1. La sécurité passive :	40
II.2.6.2. La sécurité active :.....	40
II.2.7. La logistique :.....	41
II.2.8. Etude générale du modèle de Weibull :.....	41
II.2.8.1 Les paramètres de Modèle de WEIBULL :	41
II.2.8.2. Domaine d'application :.....	42
II.2.8.3. Signification des paramètres :.....	42
II.2.9. Vérification de la validité de la loi par un test d'adéquation :	43
II.3. LES OUTILS AU SERVICE DU SDF :.....	44
II.3.1 L'AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leurs Criticités) :	44
II.3.1.1 Types d'AMDEC :.....	45
II.3.1.2 DEROULEMENT :.....	45
II.3.1.3 Evaluation de la criticité :	46
II.3.2. Arbre de défaillances :	47
II.3.2.1. Principe :.....	47
II.3.2.2. Construction d'un arbre de défaillance :.....	48
II.3.2.3. Traitement qualitatif :	48
II.3.2.4. Coupe minimale :	49
II.3.2.5. Cardinal ou ordre des coupes minimales :	50
II.3.3. Analyse préliminaire des risques :.....	50
II.3.3.1. Principe :.....	51
II.3.3.2. Déroulement :	52
II.3.3.3. Limites Et Avantages :.....	53
II.3.4. La méthode HAZOP :.....	54
II.3.4.1. Principe :.....	54
II.3.4.2. Déroulement :	55
II.3.5. La méthode What if :	57
II.3.6. Analyse fonctionnelle :	57
II.3.6.1. Analyse fonctionnelle externe (méthode APTE) :.....	58
II.3.6.1.1. Enoncé du besoin par l'outil bête à cornes :	58
II.3.6.1.2. Identification des fonctions par le diagramme Pieuvre :	59
II.3.6.2. Analyse fonctionnelle Interne :	61
II.3.6.2.1. Principe :	61
II.3.6.2.2. Diagramme FAST (Function Analysis System Technique) :.....	61
II.3.6.2.2. Diagramme SADT :	63
CHAPITRE III : MISE EN PLACE DE ISO 45001	67
III.1 INTRODUCTION :	68
III.2 POURQUOI ISO 45001 EST-ELLE ESSENTIELLE ? :	68
III.3 AVANTAGES :.....	69
III.4. IDENTIFICATION DES DANGERS ET EVALUATION DES RISQUES ET OPPORTUNITES	69
III.4.1 Identification des dangers :	69
III.4.2. Élimination des dangers et réduction des risques pour la S&ST :	71

III.4.3. Pilotage du changement :	71
III.5. ACQUISITION DE BIENS ET SERVICES :	72
III.5.1. Intervenants extérieurs :	72
III.5.2. Externalisation :	72
III.5.3 Préparation et réponse aux situations d'urgence :.....	73
III.6 SURVEILLANCE, MESURE, ANALYSE ET EVALUATION DE LA PERFORMANCE :.....	73
III.6.1 Généralités :.....	73
III.6.2 Évaluation de la conformité :.....	75
III.7. AUDIT INTERNE :	75
III.7.1 Généralités :.....	75
III.7.2 Programme d'audit interne :	75
III.7.3 Revue de direction :.....	76
CHAPITRE IV : APPLICITION : ETUDE DE MACHINE FCIEP TIPO B254.....	78
IV.1. METHODE DE PIEU (CHOIX MACHINE) :	79
IV.1.1. Définition de pieu :.....	79
IV.1. 2.But de Pieu :	79
IV.1.3 Principe de la méthode Pieu :	79
IV.1.4. Méthodologie de travail :	80
IV.2. LES CRITERES :	80
IV.3. LA GRILLE DE LA METHODE PIEU :	80
IV.3.1. Criticité par la méthode PIEU :.....	81
IV.4. APPLICATION LA GRILLE DE LA METHODE PIEU :.....	82
IV.5. DESCRIPTION DE LA FICEP TIPO B254.....	84
IV.5.1. Introduction :	84
IV.5.2. Caractéristiques de la machine:	84
IV.5.3. Principales caractéristiques techniques:.....	86
IV.5.4 Description de la machine:	87
IV.5.4.1. Banc de Chargement à Ripeurs :	87
IV.5.4.2 Structure de Support de la Motrice Porte-Pinces :	88
IV.5.4.3. Eléments à Rouleaux Fous :	88
IV.5.4.4. Unité de poinçonnage :	88
IV.5.4.4.1. Unité de poinçonnage :	88
IV.5.4.4.2. Poinçons et matrices :.....	88
IV.5.4.5. Dispositif de changement des outils de poinçonnage :.....	89
IV.5.4.6. Unité de perçage :	89
IV.5.4.7. Dispositif de changement des outils de perçage :.....	90
IV.5.4.8. Marqueuse à écriture à 38 positions :	91
IV.5.4.9. Magasin d'outils de poinçonnage :	91
IV.5.4.10. Dispositif de nettoyage des copeaux avec brosse:	91
IV.5.4.11. Système d'aspiration des copeaux de perçage:	91
IV.5.4.12. Unité de coupe au plasma :	92
IV.5.4.13. Torche pour oxycoupage:	92
IV.5.4.14. Système d'aspiration des fumées pour l'unité de coupe thermique:	92
IV.5.4.15. Installation hydraulique :	92
IV.5.4.16. Installation pneumatique :	93
IV.5.4.17. Installation électrique :	93

IV.5.4.18. Unité de commande numérique (CNC) :	93
IV.5.4.19. Dispositif de déchargement pièces finies :.....	94
IV.5.4.20. Convoyeur automatique déchets de poinçonnage :	95
IV.5.4.21. Convoyeur automatique déchets de coupe thermique :	95
IV.5.4.21. Convoyeur automatique pour pièces 500 x 500 :	95
IV.5.4.22. Evacuateur de coupeaux pour perceuse :	95
IV.5.5. Axes contrôlés :	95
IV.5.6. Précision du Système :	96
IV.6. APPLICATION DE L'ANALYSE FONCTIONNELLE A MACHINE FICEP TIPO B254 :....	97
IV.6.1. Introduction :	97
IV.6.2. Analyse fonctionnelle externe :	97
IV.6.2.1. Diagramme Bête Corne :.....	97
IV.6.2.2. Diagramme Pieuvre :.....	97
IV.6.3. Analyse fonctionnelle Interne :	99
IV.6.3.1. Diagramme FAST :.....	99
IV.6.3.2. Diagramme SADT :.....	99
IV.7. ETUDE FMDS DE LA MACHINE :	101
IV.7.1. Historique des pannes du TIPO B254 FICEP :	101
IV.7.2. Application du model de WEIBULL :	102
IV.7.2.1. Détermination des paramètres de WEIBULL :.....	103
IV.7.2.2. Test de KOLMOGOROV-SMIRNOV :	103
IV.7.2.3 Calcule MTBF :	104
IV.7.3. Etude graphique des fonctions $F(t)$, $f(t)$, $R(t)$:.....	105
IV.7.4. Maintenabilité de FICEP TIPO B254 :	108
IV.7.4.1. Calcul la Maintenabilité de TIPO B254 FICEP :	108
IV.7.4.1. Courbe de La maintenabilité :	109
IV.7.5. Disponibilité de FICEP TIPO B254 :	109
IV.7.5.1 Calcul la Disponibilité de TIPO B254 FICEP :	109
IV.7.5.2.Courbe de disponibilité :	110
IV.8. SUGGESTIONS POUR AMELIORER LA SURETE DE FONCTIONNEMENT DE LA MACHINE TIPO B254 FICEP :	111
IV.8.1. Amélioration de la fiabilité :	111
IV.8.1.1. Renforcement de la Maintenance Préventive :.....	111
IV.8.1.2. Amélioration des Composants et de la Conception :.....	112
IV.8.1.3. Mise en Place de la Maintenance Prédictive :.....	112
IV.8.1.4. Formation et Sensibilisation des Opérateurs :	113
IV.8.1.5. Optimisation de la Gestion des Pièces Détachées :	113
IV.8.1.6. Collaboration avec le Fabricant (FICEP) :.....	113
IV.8.1.7. Amélioration de la Traçabilité et de l'Analyse des Données :.....	114
IV.8.1.8. Conformité aux Normes et Sécurité :.....	114
IV.8.2. AMELIORATION DE DISPONIBILITE :	115
IV.8.2.1. Amélioration de la Disponibilité Intrinsèque (D_i) :.....	115
IV.8.2.1.1. Réduire les pannes (MTBF) :.....	115
IV.8.2.1.2. Optimiser les temps de réparation (MTTR) :	115
IV.8.2.2. Amélioration de la Disponibilité Instantanée $D(t)$:.....	115
IV.8.2.2.1. Optimiser le taux de réparation (μ) :.....	115
IV.8.2.2.2. Réduire le taux de défaillance (λ) :	115

IV.8.2.3. Actions complémentaires :.....	116
IV.8.2.3.1. Suivi et analyse continue :.....	116
IV.8.2.3.2. Collaboration avec le fabricant :	116
IV.8.3. Amélioration de maintenabilité :	116
IV.8.3.1.Réduire le MTTR (Mean Time To Repair):.....	116
IV.8.3.2. Mettre en place une maintenance prédictive :.....	117
IV.8.3.3. Améliorer la traçabilité des interventions :.....	117
IV.8.3.4. Optimiser la maintenabilité via des améliorations techniques :	117
IV.8.4. AMELIORATION DE SECURITE :	118
IV.9.CONCLUSION:	119
CONCLUSION GÉNÉRALE	120
Bibliographie	
Annexes	

Liste des figures

FIGURE I .1 : IMPLANTATION GÉOGRAPHIQUE	16
FIGURE I .2 : ORGANISATION DE L'ENTREPRISE	18
FIGURE I .3 : CHAUDRONNERIE COMPLEXE CAPACITÉ 100T/MOIS.....	20
FIGURE I .4 : BÂTIMENTS INDUSTRIELS.....	21
FIGURE I .5 : CONCASSAGE	22
FIGURE I .6 : ORGANIGRAMME DE DÉPARTEMENTS MAINTENANCE.....	25
FIGURE I .7 : ATELIER DÉBUT PROFILE	27
FIGURE I .8 : ATELIER CHAUDRONNERIE	28
FIGURE I .9 : ATELIER DÉBUT TÔLERIE.....	28
FIGURE I .10 : ATELIER DE MÉCANIQUE INDUSTRIEL.....	29
FIGURE I .11 : ATELIER CHARPENTE MÉTALLIQUE	29
FIGURE I .12 : PROTECTION OBLIGATOIRE DE TÊTE.....	30
FIGURE I .13 : PROTECTION OBLIGATOIRE DES YEUX.....	30
FIGURE I .14 : PROTECTION OBLIGATOIRE DES MAINS.....	31
FIGURE I .15 : PROTECTION OBLIGATOIRE DES PIES	31
FIGURE. II.1 : REPRÉSENTATION DE LA DISPOSITION RÉPARABLE.....	34
FIGURE. II.2: COMPOSANTS EN SÉRIE.....	36
FIGURE. II.3 : COMPOSANTS EN PARALLÈLE	37
FIGURE. II.4 : COURBE DE BAIGNOIRE	42
FIGURE. II.5 : LES COURBES DE F(T).....	43
FIGURE. II.6 : CONSTRUCTION ET ÉCRITURE DE L'ÉQUATION DE L'ARBRE	49

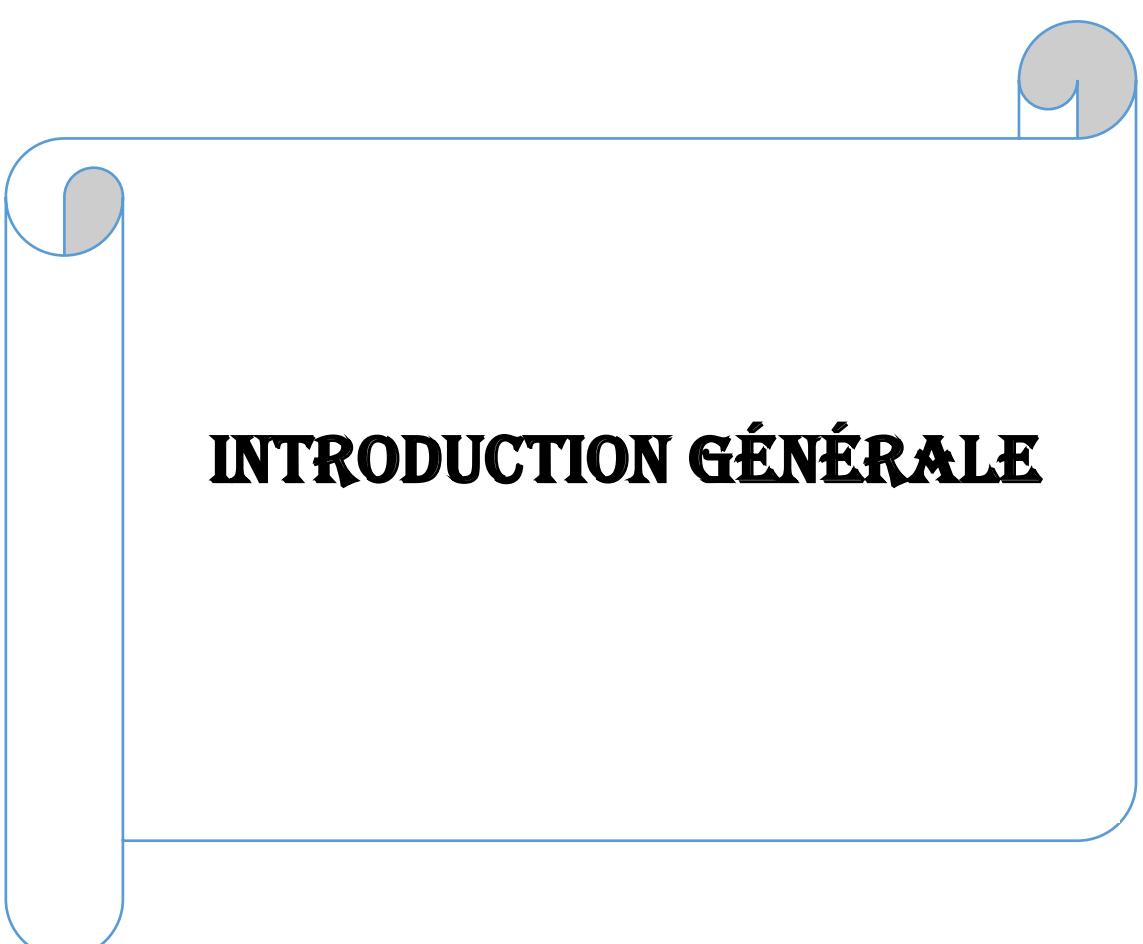
FIGURE. II.7 : DIAGRAMME BÊTE À CORNES	59
FIGURE. II.8 : EXEMPLE LE DIAGRAMME PIEUVRE	60
FIGURE. II.9 : EXEMPLE DE DIAGRAMME FAST	62
FIGURE. II.10 : RÈGLES DE CONSTRUCTION D'UN DIAGRAMME FAST	63
FIGURE. II.11 : DIAGRAMME SADT DE NIVEAU A-0	64
FIGURE. II.12 : HIÉRARCHIE ENTRE LES DIAGRAMMES.....	65
FIGURE. II.13 : RÈGLE DE CONSTRUCTION DES DIAGRAMMES SADT.....	65
FIGURE. IV.1 : PRÉSENTE LA MACHINE FICEP TIPO B254	84
FIGURE. IV.2 : DESSIN DE LAY-OUT DES 16934.....	86
FIGURE. IV.3 : APPLICATION DE DIAGRAMME BÊTE CORNE.....	97
FIGURE. IV.4 : APPLICATION DE DIAGRAMME PIEUVRE.....	98
FIGURE. IV.5 : APPLICATION DE DIAGRAMME FAST	99
FIGURE. IV.6 : APPLICATION DE DIAGRAMME SADT DE NIVEAU A-0.....	99
FIGURE. IV.7 : APPLICATION DE DIAGRAMME SADT.....	100
FIGURE. IV.8 : PAPIER DE WEIBULL	103
FIGURE. IV.9 : LA COURBE DENSITÉ DE PROBABILITÉ.....	106
FIGURE. IV.10 : LA COURBE DE LA FONCTION FIABILITÉ.....	107
FIGURE. IV.11 : LA COURBE DE FONCTION RÉPARTITION	107
FIGURE. IV.12 : LA COURBE DE MAINTENABILITÉ	109
FIGURE. IV.13 : LA COURBE DE DISPOSIBILITÉ.....	110

Liste des tableaux

TABLEAU I .1 : MATÉRIEL DE LABORATOIRE ET DE CONTRÔLE	27
TABLEAU I .2 : CAPACITÉS DE LEVAGE.....	27
TABLEAU. II.1 : LES TYPE AMDEC	45
TABLEAU. II.2 : EXEMPLE D'UN TABLEAU DE TYPE AMDEC	46
TABLEAU. II.3 : SYNTAXE DES ARBRES DE DÉFAILLANCES	48
TABLEAU. II.4: EXEMPLE DE TABLEAU POUR L'HAZOP.....	56
TABLEAU. II.5 : EXEMPLE DE TABLEAU D'APPLICATION DE LA MÉTHODE WHAT-IF	57
TABLEAU IV.2 : APPLICATION DU MODÈLE DE WEIBULL.....	102
TABLEAU IV.3 : TEST DE KOLMOGOROV SMIRNOV	104
TABLEAU IV.4 : ÉTUDE DE MODÈLE DE WEIBULL	106
TABLEAU IV.5 : LA MAINTENABILITÉ DE LA FICEP TIPO B254.....	108
TABLEAU IV.6 : LA DISPOSIBILITÉ DE LA FICEP TIPO B254.....	110

Liste des abréviations

- SDF** : Sûreté de Fonctionnement
FICEP : Fabricant de la machine Tipo B254
PROMECH : Unité de Production Mécanique et de Chaudronnerie, Annaba
ENCC : Entreprise Nationale de Charpente et Chaudronnerie
ISO : Organisation Internationale de Normalisation (notamment ISO 45001)
MTFF : Temps moyen avant la première défaillance
MTBF : Temps moyen entre deux défaillances
MDT : Mean Down Time (Temps moyen d'indisponibilité)
MTI : Mean Time of Indisponibility (Temps moyen d'arrêt propre, équivalent à MDT)
MUT : Mean Up Time (Temps moyen de bon fonctionnement)
MTTR : Temps moyen de réparation
FMDS : Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité, Sécurité
AMDEC : Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité
AMDE : Analyse des Modes de Défaillance et de leurs Effets
APR : Analyse Préliminaire des Risques
APD : Analyse Préliminaire des Dangers
HAZOP : Hazard Operability (Étude des dangers et de l'opérabilité)
P&ID : Schéma de tuyauterie et d'instrumentation
PIE : Pannes, Importance des équipements, État de l'équipement, Utilisation
CR : Criticité (calculée par la méthode PIEU)
CNC : Commande Numérique par Calculateur
IoT : Internet des Objets
GMAO : Gestion de Maintenance Assistée par Ordinateur
S&ST : Santé et Sécurité au Travail
TRG : Taux de Rendement Global
F(t) : Fonction de répartition (probabilité de panne à l'instant t)
R(t) : Fonction de fiabilité (probabilité de bon fonctionnement à l'instant t)
M(t) : Fonction de maintenabilité (probabilité de réparation à l'instant t)
 λ : Taux de défaillance
 μ : Taux de réparation
 β : Paramètre de forme (modèle de Weibull)
 η : Paramètre d'échelle (modèle de Weibull)
 γ : Paramètre de position (modèle de Weibull)
TBF : Temps entre deux défaillances
TTR : Time to Repair (Temps de réparation)
EPE : Entreprise Publique Économique
UMLC : Unité de Mécanique Lourde et Chaudronnerie
MTO : Make To Order (Fabrication sur commande)
ETO : Engineer To Order (Ingénierie sur commande)



INTRODUCTION GÉNÉRALE

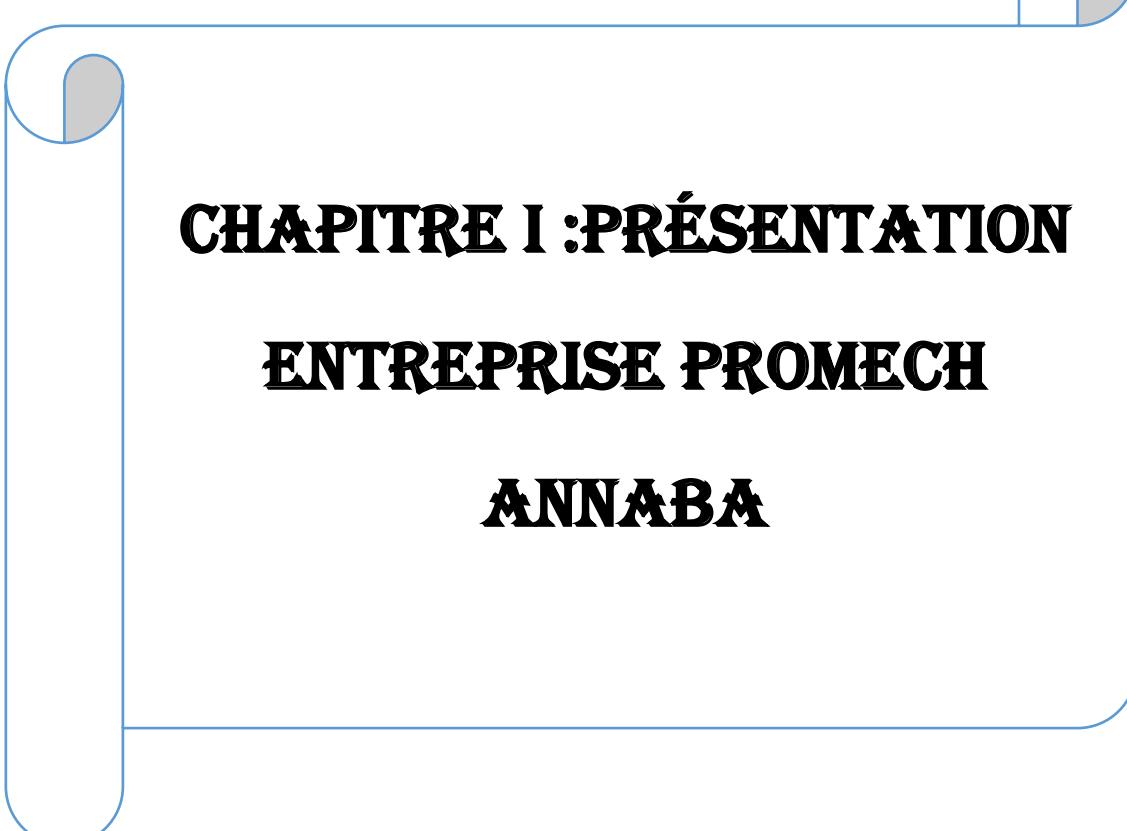
Introduction générale

Introduction générale

Dans le contexte industriel actuel, caractérisé par une quête constante d'efficacité, de fiabilité et de sécurité, la sûreté de fonctionnement (SDF) des systèmes constitue un enjeu majeur. Cette discipline, souvent qualifiée de science des défaillances, vise à analyser, prévoir et maîtriser les pannes afin de garantir la performance optimale des équipements tout en minimisant les risques pour les opérateurs et l'environnement. Dans le cadre de ce mémoire, nous nous intéressons à l'application de la sûreté de fonctionnement à une machine industrielle spécifique, la FICEP Tipo B254, utilisée au sein de l'unité PROMECH Annaba, une entité de l'Entreprise Nationale de Charpente et Chaudronnerie (ENCC).

L'objectif principal de ce travail est d'évaluer la fiabilité, la maintenabilité et la disponibilité de la machine FICEP Tipo B254 avec des éléments liés à la sécurité, identifiée comme critique par la méthode PIEU, afin de proposer des améliorations concrètes pour optimiser ses performances. Pour ce faire, une analyse approfondie basée sur des outils tels que le modèle de Weibull, l'analyse fonctionnelle, et l'étude des modes de défaillance sera réalisée. Ce mémoire s'articule autour de plusieurs axes : une présentation de l'unité PROMECH Annaba, une exploration théorique des concepts de sûreté de fonctionnement, une étude des normes de sécurité telles que ISO 45001, et une application pratique à la machine étudiée.

En outre, ce travail met en lumière l'importance d'une maintenance proactive et d'une gestion rigoureuse des risques pour répondre aux exigences des normes industrielles et aux attentes des parties prenantes. À travers une démarche méthodique et des analyses quantitatives, nous ambitionnons de contribuer à l'amélioration des processus de production et à la réduction des temps d'arrêt, tout en renforçant la sécurité au sein de l'entreprise. Cette introduction pose ainsi les bases d'une étude qui allie théorie et pratique pour répondre aux défis de l'industrie moderne.



CHAPITRE I :PRÉSENTATION

ENTREPRISE PROMECH

ANNABA

CHAPITRE I :Présentation entreprise PROMECH Annaba

I .1. Historique de l'unité :

L'entité actuellement connue sous le nom de PROMECH Annaba fut initialement établie sous la dénomination SN-METAL Annaba II en 1972, en vertu de la Décision Ministérielle N° 22227 D182 en date du 1er juin 1972.

- 1979 : L'entrée en exploitation des installations de l'entité, alors opérant sous la dénomination SN MÉTAL, eut lieu.
- 1983 : Une restructuration conduisit à sa transformation en Unité de Mécanique Lourde et Chaudronnerie (UMLC). Cette dernière fut alors rattachée à l'Entreprise Nationale de Charpente et Chaudronnerie (ENCC), elle-même issue de la restructuration de SN METAL.
- 2001 : Suite à une réorganisation du Groupe ENCC, l'UMLC fut érigée en filiale et prit la forme d'une Société Par Actions (SPA) sous la dénomination PROMECH ANNABA. Son capital social s'élevait à 6 906 450 000,00 DA, les participations majoritaires étant détenues par l'Entreprise Publique Économique (EPE) ENCC, agissant en tant que société mère.
- 2016 : PROMECH ANNABA fut intégrée à l'EPE ENCC par une fusion-absorption, devenant dès lors une unité de cette dernière.

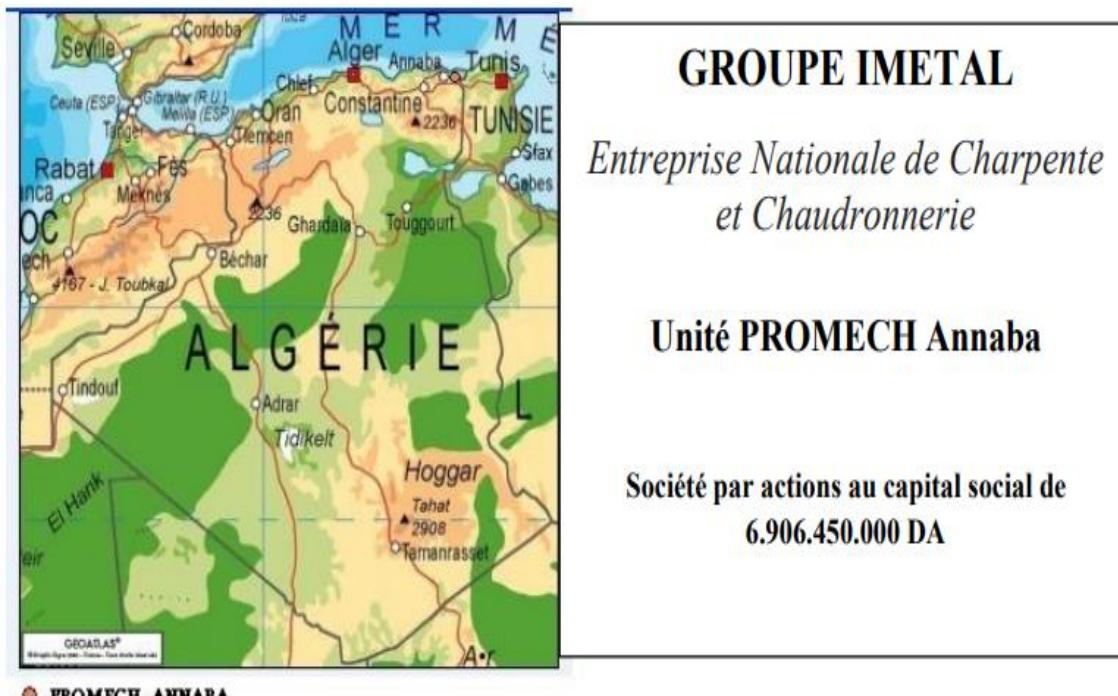


Figure I .1 : Implantation géographique

CHAPITRE I :Présentation entreprise PROMECH Annaba

I .2. PRINCIPALES MISSIONS DE PROMECH :

PROMECH réalisation à pour vocation la d'études et la fabrication dans le domaine des constructions métalliques et des équipements industriels variés, ainsi que la prestation de services après-vente dans les secteurs d'activités suivants :

- ✓ **Équipement des travaux publics** : Installations de Concassage, transporteur à bandes. Sauterelles et Centrales à Béton fixes.
- ✓ **Equipements de stockage** : Réservoirs sous - pression, Bacs de stockage du crude oil, carburants, Citerne et Cuves, Silos, Colonnes, Cheminées et autres.
- ✓ **Charpente métallique et technologique** : Halles industriels, bâtiments de production avec ou sans ponts roulants, les Hangars de stockage, Hangars industriels, structures pour Centrales électriques, Usines pour la pétrochimique, les Cimenteries, les briqueteries, les minoteries, les mines, la sidérurgie.
- ✓ Tabliers de ponts routiers et ferroviaires en profilés reconstitués soudés.

I .3. Dénomination :

Groupe I METAL

Entreprise Nationale de Charpente et Chaudronnerie « E.N.C.C »

Unité de Production Mécanique et de Chaudronnerie « PROMECH ANNABA »

PROMECH-ANNABA est une Unité de l'Entreprise Nationale de Charpente et Chaudronnerie « ENCC » au capital social de 6.906.450.000.00 DA, du Groupe Industriel I.Métal. .

La société est implantée sur une superficie totale de 299.124,50 M² dont :

- Capacité de production : 10 000 T/An
- Implantée sur une superficie de : 299 124 M²
- Superficie bâtie : 55 598 M²
- Ateliers de production : 43 400 M²
- Aire de stockage pour matière première : 24 233 M²
- Aire de stockage pour produit finit : 48 685 M²

CHAPITRE I :Présentation entreprise PROMECH Annaba

I .4. Organigramme de l'entreprise :

Un organigramme est une représentation graphique schématisant la structure organisationnelle interne d'une entité. Il met en évidence les divers départements ou unités fonctionnelles, ainsi que les liens hiérarchiques et les lignes d'autorité qui les régissent.

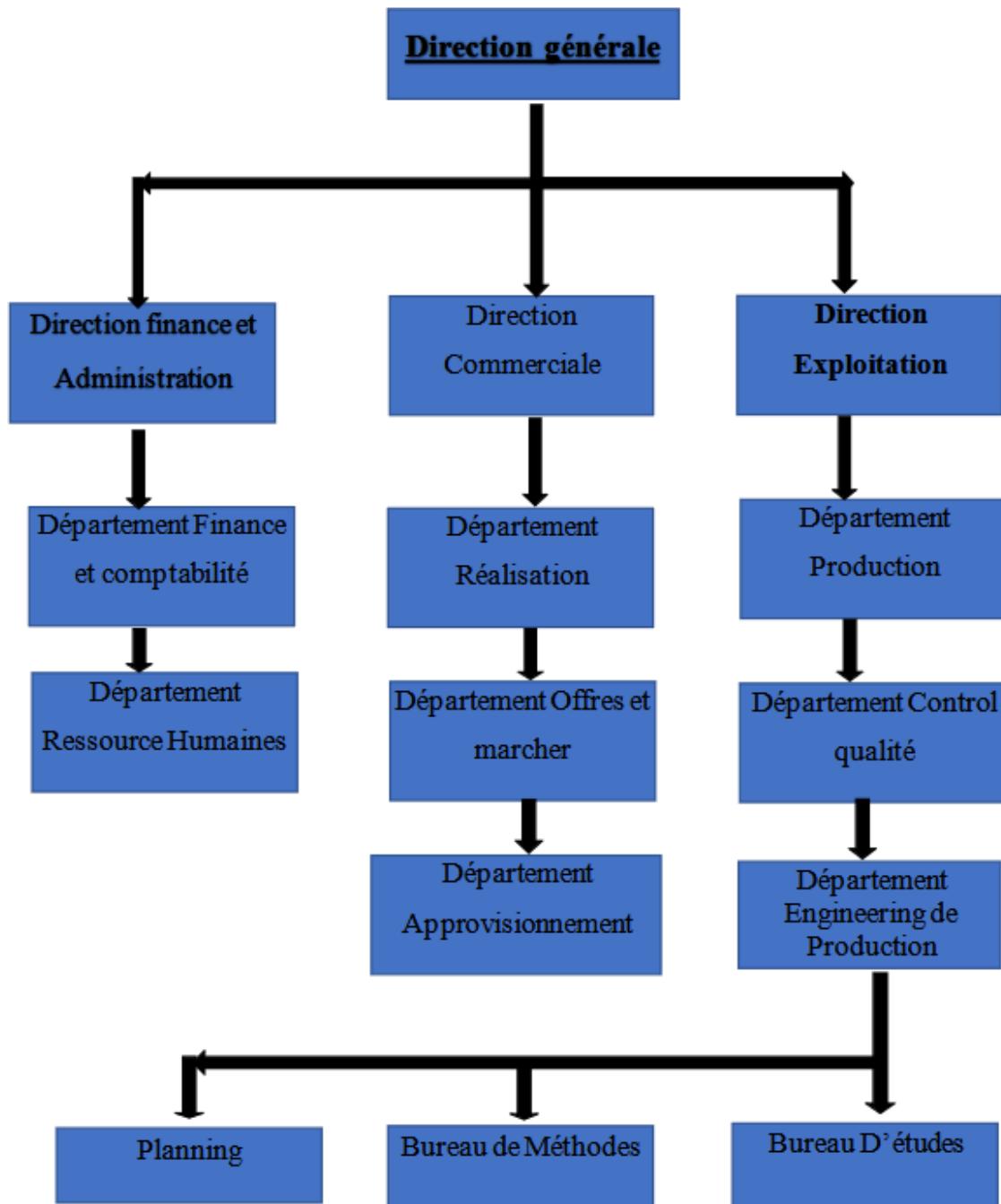


Figure I .2 : organisation de l'entreprise

I .5. Marché actuel et secteurs industriels segmentation :

- Le secteur industriel ;
- Le secteur de l'habitat ;
- Le secteur des équipements publics, avec une expertise particulière dans les ouvrages d'art ;
- Le secteur de l'énergie ;
- Le secteur des matériaux de construction.

I .6. Stratégies :

I .6.1. Stratégie des procédés Promech :

La stratégie JOB SHOP est mise en œuvre au sein de l'entreprise. Cette approche repose sur un agencement fonctionnel des équipements de production (layout fonctionnel), organisés en départements spécialisés (tels que le débitage, la mécanique, etc.). Le modèle Job Shop permet la fabrication d'une large gamme de produits, traités par lots, suivant un parcours spécifique à travers les différents ateliers.

I .6.2. Stratégies des produits Promech :

Les stratégies de production adoptées par PROMECH se déclinent en deux types principaux :

- Make to Order (MTO) : Les produits sont fabriqués et assemblés en réponse à des commandes spécifiques des clients.
- Engineer to Order (ETO) : Les produits, hautement personnalisés, sont conçus et réalisés sur mesure selon les exigences particulières des commandes.

I .7. Les activités de Promech Annaba :

- Charpente Métallique
- Chaudronnerie Concassage.
- Mécanique Usinage
- Maintenance Industrielle

I .7.1. Chaudronnerie Cuveries :

- Cuves simples ou (à double enveloppes),

CHAPITRE I :Présentation entreprise PROMECH Annaba

- Cuves de stockage (eau, gasoil) de 5 à 100 m³,
- Bacs de stockage allant jusqu'à 52 000 m³, à toit flottant ou fixe (hydrocarbures, eau et divers liquides industriels),
- Bacs à boues pour stations de forage
- Four sécheur



Atelier de Chaudronnerie



Cuve 100 m³ pour stockage de carburant



Station d'Epreuve Hydraulique et Barimage



Figure I. 3 : Chaudronnerie Complexe Capacité 100t/mois

I .7.2. Charpente Métallique et Technologique :

- Halls universels à structure métallique.
- Hangars destinés au stockage, équipés ou non de ponts roulants.
- Hangars à usage industriel, comprenant des structures métalliques pour bâtiments administratifs.
- Structures métalliques conçues pour des supermarchés.
- Salles sportives à ossature métallique.
- Structures métalliques pour tribunes de stades.
- Tabliers métalliques pour ponts routiers.
- Tabliers métalliques pour ponts ferroviaires.
- Passerelles métalliques destinées aux piétons et autres usages.
- Ouvrages d'art réalisés en structures métalliques.



Figure I .4 : Bâtiments Industriels

CHAPITRE I :Présentation entreprise PROMECH Annaba

I .7.3. Equipement de travaux publics :

- Installations de concassage d'une capacité de 80 m³/h, 120 m³/h, 200 m³/h, 400 m³/h et au-delà, avec un taux d'intégration nationale de 30 %.
- Centrales à béton d'une capacité de 60 à 80 t/h et plus, présentant un taux d'intégration nationale de 30 %.



Figure I .5 : Concassage

CHAPITRE I :Présentation entreprise PROMECH Annaba

I .7.4. Equipements de Cimenterie, Sidérurgie et Mines :

- Viroles destinées aux fours industriels.
- Carters pour broyeurs ou concasseurs.
- Électrofiltres pour la filtration des gaz.
- Séparateurs pour le tri des matériaux.
- Cyclones pour la séparation des particules.
- Réchauffeurs pour le traitement thermique.
- Ventilateurs industriels.
- Trémies de tous types pour le stockage ou l'alimentation.
- Conduites variées, incluant les transporteurs et convoyeurs.



CHAPITRE I :Présentation entreprise PROMECH Annaba

I .7.5. Equipements de briqueterie :

- Wagonnets destinés au processus de cuisson.
- Wagonnets conçus pour les opérations de séchage.
- Équipements divers pour applications industrielles.

I .7.6. Equipement de sous-traitance :

- Poche de coulée
- Répartiteurs
- Cuillère à ferrailles
- Bacs d'avaries Lingotière
- Pièces mécaniques

I .7.7. Equipements pour stations de traitement d'eau et d'épuration :

- Décanteurs-floculateurs pour le traitement des eaux.
- Filtres d'un diamètre de 1600 mm, de type AQUASID 40.
- Stations d'épuration de type AEROSID.

I .8. Différent types de maintenances préventives appliquées à promech :

- **Visite systématique** : les visites sont effectuées selon un échéancier établi suivant sera exprimé par une valeur de mesure (niveau d'huile, température) ou par une appréciation visuelle, et même il se renseigne de l'état de machine grâce à l'opérateur qui travaille là-dessus.
- **Remplacement systématique**.
- **Visite en marche** : la visite effectuée pendant le fonctionnement.

I .9. Objectifs du service maintenance :

- Augmentation de la fiabilité des équipements.
- Assurance de la qualité des produits fabriqués.
- Optimisation de l'ordonnancement et de la planification du travail.
- Garantie de sécurité humaine.
- Amélioration de l'environnement de travail et des relations interpersonnelles.

CHAPITRE I :Présentation entreprise PROMECH Annaba

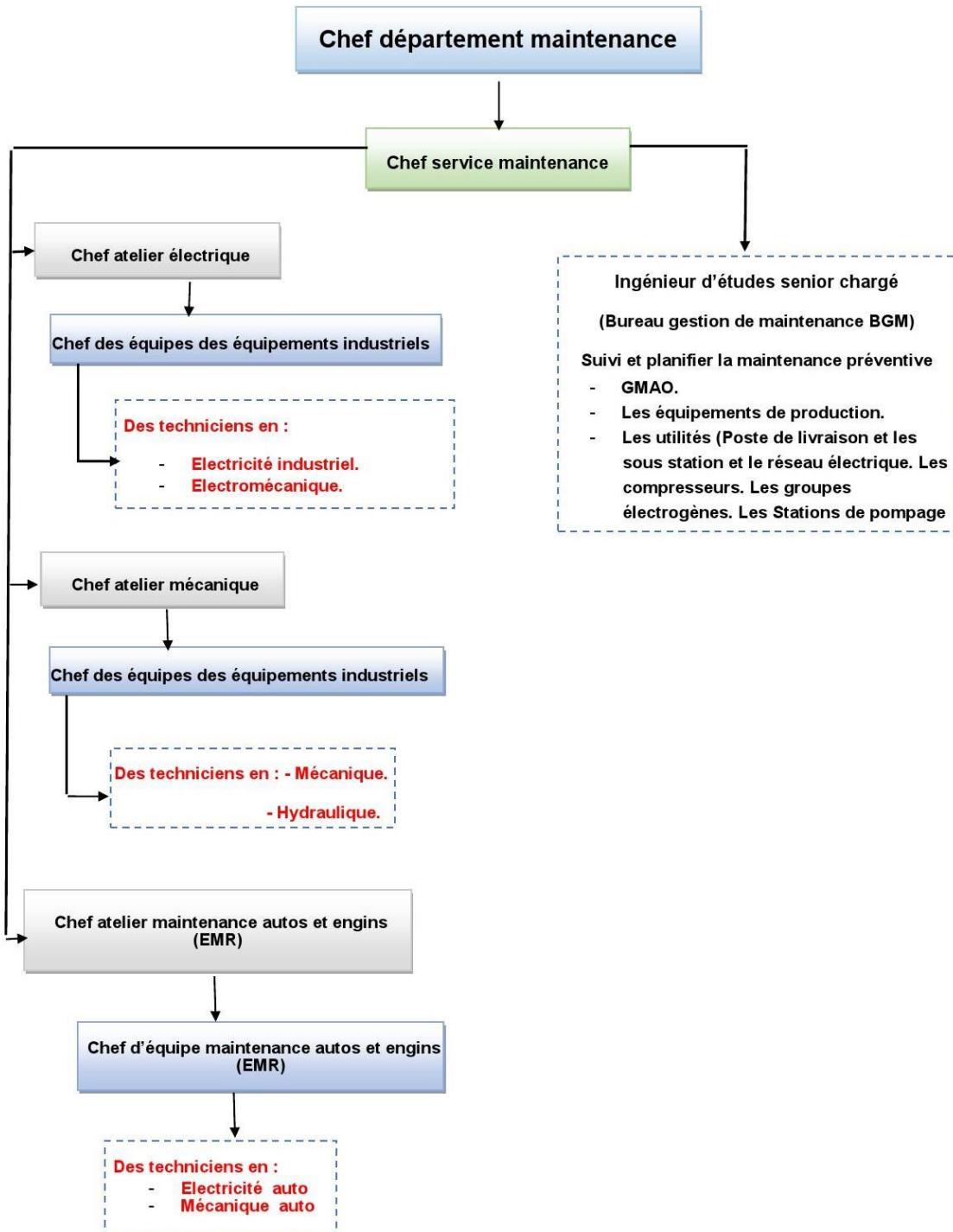


Figure I. 6 : Organigramme de départements maintenance

CHAPITRE I :Présentation entreprise PROMECH Annaba

I .10. Matériel de laboratoire et de contrôle :

Type d'équipement origine	QTE	Spécifications techniques
Mouton pendule type PS W 300N -France	01	Puissance de travail 300 J
Polisseuse KARL KOLB- -Allemagne	01	-
Machines pour essai ultrason- -Allemagne	01	-
Mégascope a haute intensité – -France		-
Machine d'essai universelle- -Allemagne	02	Balteau
Doseur carbone souffre- -Allemagne	02	Puissance de travail 60T
Machine de dureté -Allemagne	01	Colombat 702
Microscope - Allemagne	01	-
Projecteur de profil - -Allemagne	02	Im 35
Machine de marquage Scripta – France	01	-
Dispositif frigorifique -Allemagne	01	Appareil de résilience (frigo)
Balance analytique Testut -Allemagne	01	-
Appareil de radiologie – France	01	Panoramique
Pompe à pression PMH TF 50 - France	01	Pour épreuve hydraulique

CHAPITRE I :Présentation entreprise PROMECH Annaba

Four de traitement thermique Ripoche – France	01	Pour traitement de détente, Ø de la pièce a traité 5m, longueur 19m
---	----	---

Tableau I .1 : Matériel de laboratoire et de contrôle

I .11. Capacités de levage :

Type d'équipement et origine	QTE	Spécifications techniques
Pont roulant-Algérie	03	Force 40 T
Pont roulant-Algérie	01	Force 20 T
Pont roulant-Algérie	08	Force 15T
Pont roulant-Algérie	07	Force 10 T
Pont roulant-Algérie	08	Force 05 T
Pont roulant-Algérie	02	Force 03 T
Grue vélocipède-Algérie	10	Force 03 T

Tableau I .2 : Capacités de levage

I.12.Les images sur les ateliers :



Figure I. 7 : Atelier début profile

CHAPITRE I :Présentation entreprise PROMECH Annaba



Figure I .8 : Atelier Chaudronnerie



Figure I .9 : Atelier début tôlerie

CHAPITRE I :Présentation entreprise PROMECH Annaba



Figure I .10 : Atelier de mécanique industriel



Figure I .11 : Atelier Charpente Métallique

I .13. Consignes de sécurité et les protections :

✓ Votre tête :

S'il y a des risques de chutes d'objets divers (outillages, visseries ou autres) ou de se taper la tête (plafond bas, bâti)



Figure I .12 : Protection obligatoire de tête

✓ Vos yeux :

Les projections de liquide (huile, solvant, vapeur, etc. ...), de particules (poussière, copeaux, éclats de verre, etc. ...), d'air comprimé et les outils (pointus, coupants) sont potentiellement très dangereux pour vos yeux.

Verres ou masques spéciaux pour tous travaux de soudure ou avec forte source lumineuse. (Laser). Le masque protège aussi la peau du visage contre le fort rayonnement (coup de soleil) lors de travaux de soudure (arc électrique, TIG, MIG, etc.).



Figure I .13 : Protection obligatoire des yeux

CHAPITRE I :Présentation entreprise PROMECH Annaba

✓ Vos mains (doigts) :

Dans tout travail manuel, les mains sont les premières concernées.

Les risques :

Copeaux, outils de coupe, bavure, allergie à certains solvants, chaleur, froid.



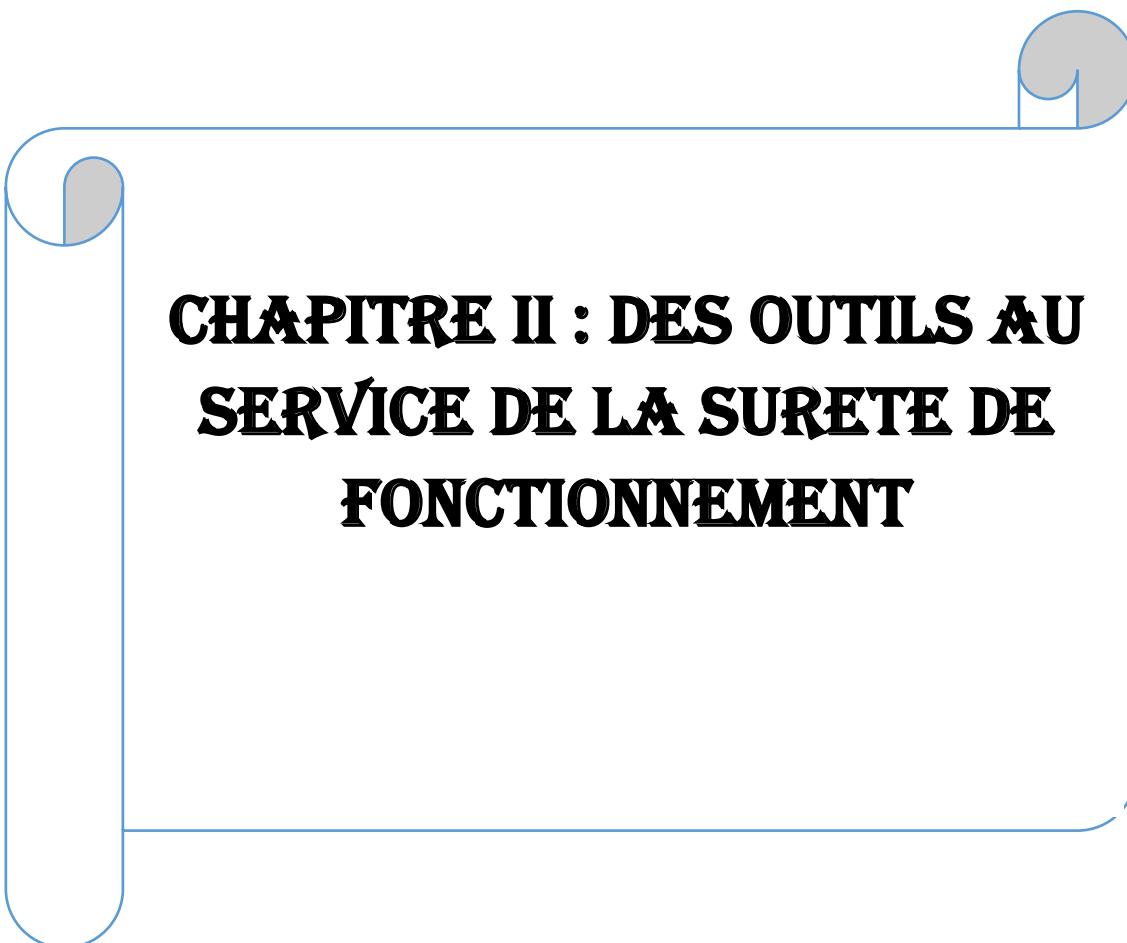
Figure I. 14 : Protection obligatoire des mains

✓ Vos pieds :

Protéger vos orteils grâce aux bouts renforcés. Semelles anti dérapantes et résistantes aux huiles. Evitez les chutes : sol exempt de fluides et d'objets encombrants.



Figure I .15 : Protection obligatoire des pies



CHAPITRE II : DES OUTILS AU SERVICE DE LA SURETE DE FONCTIONNEMENT

II.1. Introduction :

La Sûreté de Fonctionnement (SDF) constitue un corpus de méthodes et d'outils visant à :

- Caractériser et maîtriser les effets des aléas, des défaillances et des erreurs ;
- Quantifier les caractéristiques des dispositifs ou systèmes afin d'évaluer la conformité temporelle de leurs comportements et de leurs actions ;
- Analyser les causes des défaillances des composants pour estimer leurs conséquences sur le service rendu par le dispositif ou le système.

Fondamentalement, la sûreté de fonctionnement se consacre à la connaissance, l'évaluation, la prévision, la mesure et la maîtrise des défaillances des systèmes. Cette discipline s'est développée et formalisée sous sa dénomination et sa forme actuelles au sein de divers secteurs industriels, notamment en raison de son étroite corrélation avec les concepts de qualité et les enjeux ergonomiques.

Également désignée comme la « science des défaillances », la sûreté de fonctionnement peut adopter d'autres appellations selon les domaines d'application, telles que l'analyse de risque, la science du danger, ou encore l'acronyme FMDS (Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité, Sécurité – équivalent français de RAMS). Elle se caractérise par des études structurelles, tant statiques que dynamiques, des systèmes. Ces études adoptent une perspective prévisionnelle, mais également opérationnelle et expérimentale, en intégrant les aspects probabilistes et les conséquences des défaillances, qu'elles soient d'origine technique ou humaine.

La sûreté de fonctionnement représente ainsi un ensemble de moyens, de démarches, de méthodes, d'outils et un vocabulaire spécifique. Son objectif ultime est la maîtrise des risques associés au fonctionnement des systèmes.

L'analyse de la sûreté de fonctionnement permet d'établir un niveau de confiance justifié dans le système étudié. Ce niveau de confiance est tributaire des attributs spécifiques de la SDF (fiabilité, maintenabilité, disponibilité, sécurité) qui sont privilégiés par les parties prenantes, ainsi que de leurs évaluations respectives.

II.2. Méthodologies de sûreté de fonctionnement :

II.2.1. Définition de la sûreté de fonctionnement :

La sûreté de fonctionnement, que l'on peut définir comme la science des défaillances, se consacre à la connaissance, l'évaluation, la prévision, la mesure et la maîtrise de ces dernières.

En tant que champ d'étude transversal, elle requiert une appréhension globale du système, considérant ses conditions d'exploitation, les aléas externes, ses architectures fonctionnelle et matérielle, de même que la structure et la fatigue des matériaux. Nombre de progrès en la matière sont issus de l'exploitation du retour d'expérience et de l'étude approfondie des rapports d'analyse d'accidents [2].

II.2.2. Les temps caractéristiques pour la Sûreté de Fonctionnement :

La figure schématisse les états successifs que peut prendre un système réparable.

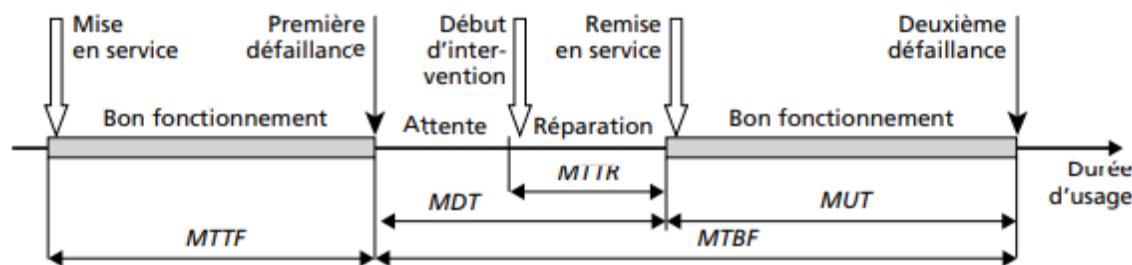


Figure. II.1 : Représentation de la disposition réparable

Les sigles utilisés sont d'origine anglo-saxonne et correspondent aux notions suivantes [18] :

- MTTF (mean time to [first] failure) : temps moyen avant-première défaillance.
- MTBF (mean time between failure) : temps moyen entre deux défaillances successives
- MDT ou MTI (mean down time) : temps moyen d'indisponibilité ou temps moyen d'arrêt propre.
- MUT (mean up time) : temps moyen de disponibilité.
- MTTR (mean time to repair) : temps moyen de réparation.

II.2.3. Fiabilité :

La fiabilité d'une entité correspond à sa capacité à exécuter les fonctions requises dans un contexte spécifique et sur une période déterminée. Elle est quantifiée par la probabilité $R(t)$, qui représente la probabilité que l'entité E demeure opérationnelle sur l'intervalle de temps $[0, t]$, en supposant qu'elle ne soit pas en panne à $t = 0$.

$$R(t) = P [E \text{ non défaillant sur } [0, t]]$$

Pour certains équipements, il est plus pertinent d'adopter des variables de mesure spécifiques adaptées à leur fonctionnement, telles que le nombre de cycles d'ouverture-fermeture pour un

CHAPITRE II : DES OUTILS AU SERVICE DE LA SURETE DFONCTIONNEMENT

relais, le nombre de tours pour un moteur, ou encore le nombre de kilomètres parcourus pour un véhicule, etc[1].

L'aptitude contraire est la probabilité de défaillance de l'entité, quelquefois appelée

De fiabilité. On écrit :

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

L'évaluation de la probabilité de fiabilité peut varier en fonction de la nature des entités étudiées ou des moyens disponibles pour effectuer cette analyse. Les approches suivantes sont distinguées :

- **Fiabilité opérationnelle** : Observée à travers l'analyse du comportement d'entités identiques dans des conditions d'exploitation réelles, cette méthode repose sur des données empiriques collectées sur le terrain.
- **Fiabilité extrapolée** : Obtenue par une extension, via des techniques d'extrapolation ou d'interpolation définies, de la fiabilité opérationnelle à des durées ou des conditions différentes de celles initialement observées.
- **Fiabilité prévisionnelle** : Estimée à partir de considérations théoriques sur la conception des systèmes et la fiabilité de leurs composants, cette approche vise à prédire la fiabilité future.
- **Fiabilité intrinsèque** : Mesurée au cours d'essais spécifiques réalisés dans le cadre d'un programme d'essais rigoureusement défini, permettant une évaluation contrôlée des performances, conformément à la référence [3].

II.2.3.1. Indicateurs de fiabilité λ et MTBF :

λ et la MTBF sont les deux principaux indicateurs de la fiabilité utilisés industriellement [4].

II.2.3.1.1. Taux de défaillance λ :

λ représente le taux de défaillance ou le taux d'avarie.

Il caractérise la vitesse de variation de la fiabilité au cours du temps. Pour une période de travail donnée, durée totale en service actif [4] :

$$\lambda = \frac{\text{Nombre total de défaillances pendant le service}}{\text{Durée total de bon fonctionnement}}$$

II.2.3.1.2. Temps moyen de bon fonctionnement (MTBF) :

Le MTBF (Mean Time Between Failure) est souvent traduit comme étant la moyenne des temps de bon fonctionnement mais représente la moyenne des temps entre deux défaillances.

Physiquement le MTBF peut être exprimé par le rapport des temps [4] :

$$\text{MT BF} = \frac{\text{Somme des temps de fonctionnement entre les n défaillances}}{\text{nombre d'intervention de maintenance avec immobilisation}}$$

Si λ est constant

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

II.2.3.2. Fiabilité de système :

II 2.3.2.1. Système en série :

$R(s)$ représente la fiabilité d'un groupe de « n » modules installés en série.

La fiabilité $R(s)$ d'un groupe de « n » composants A, B, C, ..., n installés ou connectés en série est égale au produit des fiabilités individuelles R_A, R_B, R_C, R_n de chaque composant [4].



Figure. II.2: Composants en série

Si les taux de défaillances sont constants au cours du temps la fiabilité sera calculée suivant la formule :

$$R_S = R_A * R_B * R_C * \dots * R_n \implies R_S = e^{-\lambda_A t} * e^{-\lambda_B t} * e^{-\lambda_C t} * \dots * e^{-\lambda_n t}$$

Avec : $\text{MTBF} = \frac{1}{\lambda_A * \lambda_B * \lambda_C * \dots * \lambda_n}$

Si en plus, les composants sont identiques : $\lambda_A = \lambda_B = \lambda_C = \dots = \lambda_n$

Alors :

$$R_S = e^{-n\lambda t} \text{ et } \text{MTBF} = \frac{1}{n\lambda}$$

II.2.3.2.2. Système en parallèle :

La fiabilité d'un système peut être augmentée en plaçant des composants (identiques ou non) en parallèle. Un dispositif, constitué de "n" composants en parallèle, ne peut tomber en panne que si les "n" composants tombent tous en panne au même moment.

Soit les "n" composants de la figure ci-dessous montés en parallèle. Si la probabilité de panne pour chaque composant repéré (i) est notée F_i , alors [4] :

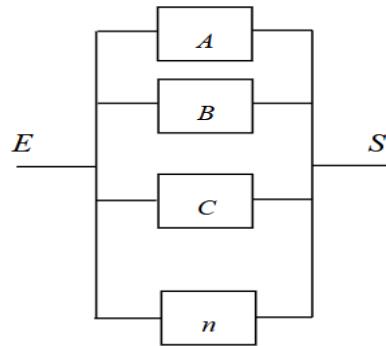


Figure. II.3 : Composants en parallèle

La fiabilité R_p de l'ensemble est donnée par la relation :

$$R_p = 1 - (1-R_A) \times (1-R_B) \times (1-R_C) \times \dots \times (1-R_n)$$

II.2.4. Maintenabilité :

La maintenabilité désigne la capacité d'un système à être maintenu ou rétablie à un état où il peut accomplir les fonctions requises, sous réserve que la maintenance soit effectuée conformément aux procédures et aux moyens prescrits dans des conditions données. Cette dernière est caractérisée par la probabilité $M(t)$ que l'entité E soit en état, à l'instant t, d'accomplir ses fonctions, sachant que l'entité était en panne à l'instant 0 [1].

$$M(t) = P[E \text{ est réparable sur } [0, t]]$$

L'objectif de la maintenabilité est d'optimiser le temps d'intervention pour accroître le temps de production en réduisant les délais liés à :

Temps pour l'attente de pièce de remplacement.

Temps pour compléter les documents.

CHAPITRE II : DES OUTILS AU SERVICE DE LA SURETE DFONCTIONNEMENT

Temps de préparation de l'action. Son indice est le MTTR et se calcule de manière suivante [4] :

$$\text{MTTR} = \frac{\text{Temps total d'arrêts}}{\text{Nombre d'arrêts}}$$

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

II.2.4.1. Taux de réparation μ :

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

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

Si μ = constant, loi exponentielle :

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

II.2.5. La disponibilité :

La disponibilité est l'aptitude d'une entité à être en état d'accomplir les fonctions requises dans les conditions données et à un instant donné. Elle se définit par la probabilité $A(t)$ que l'entité E soit en mesure, au moment t, d'exécuter les fonctions nécessaires dans des conditions spécifiques [1].

$$A(t) = P[\text{E non défaillant à l'instant } t]$$

La disponibilité instantanée, dont la mesure est symbolisée par $A(t)$, est la caractéristique en question. Son opposé est l'indisponibilité [3].

$$\bar{A}(t) = 1 - A(t)$$

II.2.5.1. Disponibilité intrinsèque :

La disponibilité est alors calculée en fonction du MTBF et du MTTR, via la formule [18] :

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

M.T.B.F : moyenne des temps de bon fonctionnement (Mean Time Between Failures).

M.T.T.R : moyenne des temps d’immobilisation pour intervention de maintenance (mean time to repair).

II.2.5.2. Disponibilité instantanée :

On se place dans l’hypothèse exponentielle, avec les taux de défaillance λ et de réparation μ constants et indépendants du temps [18] :

$$\mu = \frac{1}{MTTR} \quad \lambda = \frac{1}{MTBF}$$

On définit la disponibilité instantanée d’un système réparable par :

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

II.2.5.3. Disponibilité asymptotique :

$D(t)$ tend vers une limite asymptotique D_∞ quand $t \rightarrow 0$. Nous trouvons alors les formules usuelles équivalentes [18] :

$$D_\infty = \frac{\mu}{\lambda + \mu} \quad D_\infty = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

que l’on peut également mettre sous la forme :

$$D_\infty = \frac{1}{1 + \frac{\lambda}{\mu}} = \frac{1}{1 + \frac{MTTR}{MTBF}}$$

$\frac{MTTR}{MTBF}$ est appelé le « rapport de maintenance »

II.2.5.4. Disponibilité opérationnelle :

Pour cette mesure, on prend en compte les temps logistiques, ce qui donne [18] :

$$D_{op} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR + MTL}$$

MTL : moyenne des temps logistiques

II.2.6. La sécurité :

La sécurité désigne la capacité d'une entité à prévenir l'apparition d'événements critiques ou catastrophiques dans un contexte donné. Elle se caractérise par la probabilité $S(t)$ que l'entité E ne génère pas, dans ces conditions spécifiques, de situations dangereuses ou défaillantes [1].
 $S(t)= P [E \text{ évite des évènements critiques ou catastrophiques sur } [0, t]]$

La sécurité peut aussi être exprimée en termes de probabilité : la probabilité que le système parvienne à prévenir l'occurrence d'événements critiques ou catastrophiques dans des conditions spécifiques. Si on considère que les défaillances d'un système se partagent en deux catégories, celles qui sont dangereuses et celles qui ne le sont pas, la sécurité peut être considérée comme la part de la fiabilité relative aux défaillances dangereuses. Ce concept peut devenir prépondérant dans une analyse de Sdf, dans la mesure où une défaillance du système peut présenter un risque de dommage corporel à l'encontre des usagers [3].

On peut classer les mesures de sécurité en fonction de leur mode d'intervention : les sécurités passives et les sécurités actives.

II.2.6.1. La sécurité passive :

La sécurité passive englobe l'ensemble des dispositifs et mécanismes visant à atténuer les impacts d'un accident lorsque celui-ci n'a pu être évité. Elle fonctionne de manière autonome, sans nécessiter d'intervention humaine ni d'apport énergétique externe. Toutefois, il convient de ne pas limiter la sécurité passive à la seule réduction des conséquences des accidents, car elle peut également inclure des fonctions préventives ou protectrices plus larges.

II.2.6.2. La sécurité active :

La sécurité active regroupe l'ensemble des dispositifs et mécanismes conçus pour prévenir les accidents. Elle repose sur une intervention active, une alimentation en énergie et un entretien régulier. La sûreté d'une installation s'appuie sur la combinaison de ces deux approches, active et passive, avec une préférence accordée au mode passif lorsque celui-ci est techniquement réalisable. Pour le mode actif, des exigences de qualité sont imposées, notamment la tolérance à la première défaillance, assurée par la redondance des organes de sécurité. La sécurité fonctionnelle demeure un pilier fondamental dans la gestion des risques. Par ailleurs, d'autres stratégies de réduction ou de suppression des risques, telles que l'intégration de la sécurité dès la phase de conception, revêtent une importance cruciale [4].

II.2.7. La logistique :

La logistique de maintenance désigne la capacité d'une organisation à mettre à disposition, selon la demande et dans un cadre prédéfini, les ressources indispensables à l'entretien d'une entité, en accord avec une politique de maintenance spécifique.

Elle peut tirer parti des données collectées, notamment via des autodiagnostic et une surveillance continue, afin d'optimiser les stratégies de maintenance préventive, par exemple en anticipant certaines défaillances [5].

II.2.8. Etude générale du modèle de Weibull :

Ce modèle est largement utilisé dans l'analyse des périodes de défaillances précoces et des phases de fin de vie des équipements. Elle s'applique aux matériels dont les taux de défectuosité varient selon une fonction puissance du temps.

II.2.8.1 Les paramètres de Modèle de Weibull :➤ **Densité de probabilité :**

La densité de probabilité $f(t)$ est donnée par l'expression suivante :

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

➤ **La fonction fiabilité :**

La forme générale de la fonction de fiabilité est désignée par $R(t)$ représentant la probabilité de bon fonctionnement à l'instant t [17].

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

➤ **La Fonction de répartition :**

La fonction de répartition $F(t)$ correspond à la probabilité que le dispositif se trouve en état de défaillance à l'instant t . Elle s'exprime comme suit [17] :

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

➤ **Taux de défaillance $\lambda(t)$:**

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

II.2.8.2. Domaine d'application :

La distribution de Weibull est largement employée dans l'analyse de la durée de vie en raison de sa grande flexibilité, permettant d'approcher une multitude de lois de probabilité. Elle constitue un outil précieux pour modéliser le comportement des systèmes en fonction du temps.

Un taux de panne croissant traduit une usure progressive ou un problème de fiabilité, indiquant que les composants ont une probabilité accrue de défaillance à mesure que le temps s'écoule [17].

II.2.8.3. Signification des paramètres :

Paramètre d'échelle êta (η) : Ce paramètre rend possible l'utilisation du papier d'Allan Plait indépendamment de l'échelle de t . Ainsi, il ne nécessite pas d'interprétation.

Paramètre de forme bêta (β) : Ce paramètre fournit des informations sur le mode de défaillances ainsi que sur la progression du taux de défaillances au fil du temps [17].

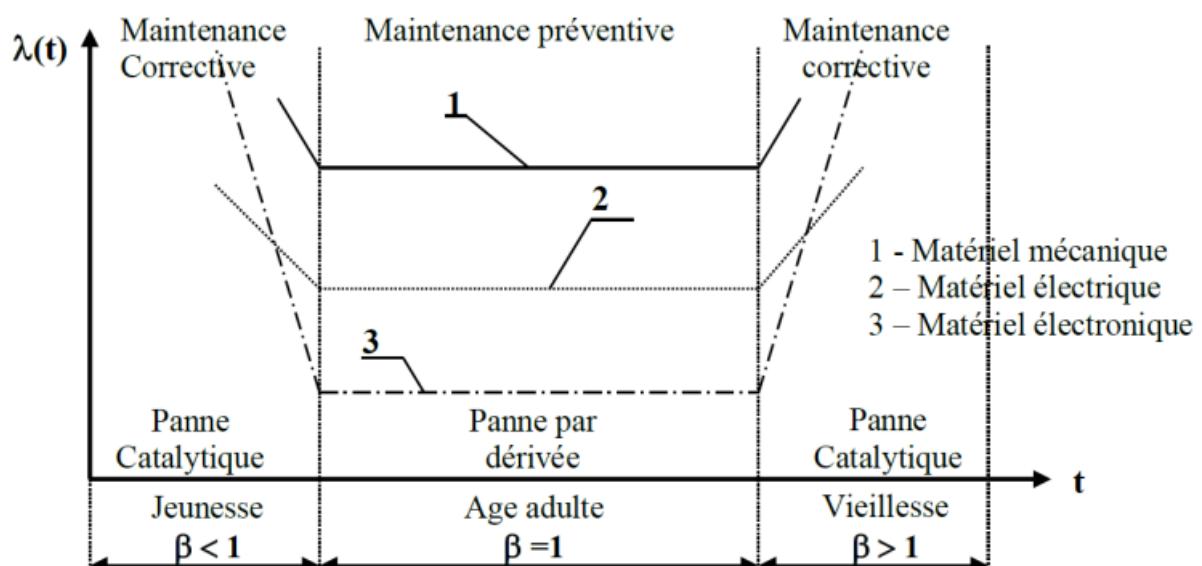


Figure. II.4 : courbe de baignoire

- $\beta < 1 \Rightarrow \lambda(t)$ décroît → période de jeunesse.
- $\beta = 1 \Rightarrow \lambda(t) = \text{cte}$ → indépendance du temps.
- $\beta > 1 \Rightarrow \lambda(t)$ croît → période d'obsolescence.
- $1.5 < \beta > 2.5$ → exprime un phénomène de fatigue.
- $3 < \beta > 4$ → exprime un phénomène d'usure.

Paramètres de position (γ) : En unité de temps, il indique la date de début des défaillances [17].

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

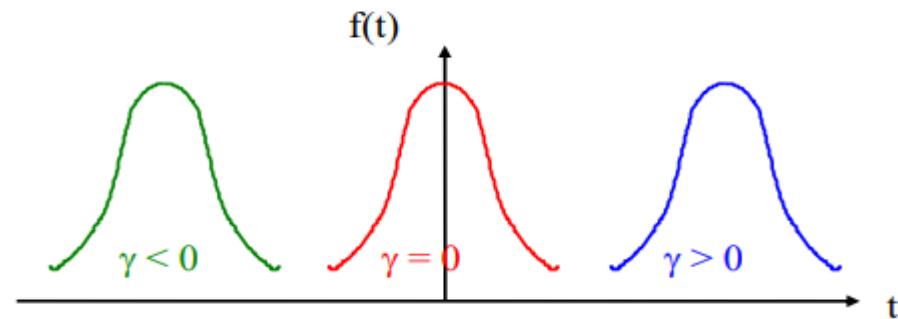


Figure. II.5 : Les courbes de $f(t)$

II.2.9. Vérification de la validité de la loi par un test d'adéquation :

Test de Kolmogorov- Smirnov :

Lors de l'élaboration d'un modèle de fiabilité basé sur un échantillon, il est généralement postulé que celui-ci suit une loi de distribution spécifique. La vérification de cette hypothèse nécessite un test d'adéquation statistique. Ce type de test offre l'avantage de pouvoir être appliqué indépendamment de la taille (n) de l'échantillon, sans contrainte. Son principe fondamental consiste à confronter la fonction de répartition empirique, dérivée des données observées, à la fonction de répartition théorique présumée.

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

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

F (t_i): la fonction de réparation théorique.

F_e(t): la fonction de réparation réelle.

La fonction de répartition empirique $F(t)$ est déterminée à partir des observations. Son estimation peut se faire via la méthode des rangs médians ou celle des rangs moyens.

On note :

CHAPITRE II : DES OUTILS AU SERVICE DE LA SURETE DFONCTIONNEMENT

N : le nombre total d'observations.

F(t) : la fonction de répartition empirique considérée.

$$F(ti) = \frac{\sum ni - 0.3}{N + 0.4} \Rightarrow \text{Si } N \leq 20$$

$$F(ti) = \frac{\sum ni}{N + 1} \Rightarrow \text{Si } 50 > N > 20$$

$$F(ti) = \frac{\sum ni}{N} \Rightarrow \text{Si } N > 50$$

Et la fonction de réparation réelle :

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

La statistique $D_{n,\max}$ est calculée selon la formule $D_{n,\max} = \max |f(ti) - F(ti)|$ et comparée à la valeur critique $D_{n,\alpha}$ obtenue à partir de la table de Kolmogorov-Smirnov (K-S) pour un seuil de signification donné α .

- Si $D_{n,\max} > D_{n,\alpha}$: l'hypothèse d'ajustement au modèle théorique est rejetée.
- Si $D_{n,\max} \leq D_{n,\alpha}$: l'hypothèse d'ajustement est non rejetée (acceptée).

α est le niveau de signification, dont la valeur est fixée selon les besoins .

II.3. Les outils au service du SDF :

II.3.1 L'AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leurs Criticités) :

L'Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité (AMDEC) représente une progression logique de l'Analyse des Modes de Défaillance et de leurs Effets (AMDE), ayant été employée pour la première fois dès les années 1960 dans le cadre de l'analyse sécuritaire des avions. L'AMDEC prend en compte la chance de survenue de chaque type de défaillance ainsi que le niveau de gravité associé, mais privilégie les catégories correspondantes aux chances de survenue plutôt que les probabilités en elles-mêmes. Grâce aux techniques de conception, aux vérifications variées et aux procédures d'essai, on garantit que les modes de défaillance ayant des conséquences significatives présentent des probabilités d'apparition assez basses. Pour résumer, une AMDE facilite [6] :

CHAPITRE II : DES OUTILS AU SERVICE DE LA SURETE DFONCTIONNEMENT

- Identifier les modes de défaillances des différentes parties du système,
- D'évaluer les effets de chaque mode de défaillance des composants sur les fonctions du système,
- D'identifier les modes de défaillances qui auront un effet important sur la sécurité, la fiabilité, la sécurité...

L'AMDEC, c'est une méthode d'analyse inductive, systématique et prévisionnelle [4] :

- Des défaillances d'un système.
- De leurs origines et de leurs conséquences.

Et permettant :

- La mise en évidence des points critiques.
- La définition d'action corrective adaptée.

II.3.1.1 Types d'AMDEC :

Dénominations	Objectifs visés
AMDEC produit	Augmenter la fiabilité du produit par une conception optimisée.
AMDEC processus	Garantir la qualité du produit grâce à des opérations de production améliorées.
AMDEC moyen de production (AMDEC machine)	Sécuriser et maintenir la disponibilité des moyens de production par le biais d'une conception, d'une exploitation ou d'une maintenance plus performantes.

Tableau. II.1 : Les type AMDEC

II.3.1.2 DEROULEMENT :

L'Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité (AMDEC) suit un processus structuré, permettant d'identifier, d'évaluer et de maîtriser les risques liés à un système donné. De manière schématique, cette méthode se déroule selon les étapes suivantes :

- Sélection d'un élément ou composant du système à analyser.
- Détermination d'un état de fonctionnement (mode normal, arrêt, etc.).
- Identification d'un premier mode de défaillance propre à cet élément et à cet état de fonctionnement.

CHAPITRE II : DES OUTILS AU SERVICE DE LA SURETE DFONCTIONNEMENT

- Analyse des causes du mode de défaillance et évaluation de ses impacts, tant sur le composant concerné que sur l'ensemble du système.
- Examen des moyens de détection de la défaillance, ainsi que des dispositifs prévus pour prévenir son occurrence ou en limiter les effets.
- Évaluation de la criticité du mode de défaillance en fonction de sa probabilité d'apparition et de la gravité de ses conséquences.
- Proposition de mesures correctives si l'évaluation du risque le justifie.
- Vérification de l'acceptabilité du couple (probabilité, gravité) pour valider la gestion du risque.
- Examen d'un nouveau mode de défaillance, en répétant l'analyse à partir de l'étape 4.
- Étude de nouveaux états de fonctionnement, en reprenant l'analyse depuis l'étape 3 une fois tous les modes de défaillance examinés.
- Sélection d'un nouvel élément ou composant du système, et reprise du processus à l'étape 2 après avoir analysé l'ensemble des états de fonctionnement.

Afin d'assurer une démarche rigoureuse et méthodique, l'utilisation de tableaux s'avère particulièrement pertinente, tant pour structurer la réflexion que pour présenter les résultats de l'analyse. Un exemple de tableau illustratif est fourni ci-dessous [7].

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Equipment Repère	Fonctions, états	Mode de défaillance	Causes de défaillance	Effet local	Effet final	Moyens de détection	Dispositions compensatoires	P	G	Remarques

Tableau. II.2 : Exemple d'un tableau de type AMDEC

II.3.1.3 Evaluation de la criticité :

L'établissement du niveau de criticité C pour chaque défaillance repose sur l'évaluation de trois critères de cotation indépendants [4] :

- F : fréquence d'apparition de la défaillance.
- G : gravité des effets de la défaillance.
- N : probabilité de non-détection de la défaillance

$$C=F \times G \times N$$

II..3.2. Arbre de défaillances :

L'analyse par arbre de défaillances (AAD) constitue historiquement la première méthodologie développée pour l'examen systématique des risques. Son élaboration remonte au début des années 1960, au sein de la société américaine Bell Telephone Laboratories, et elle fut initialement appliquée à l'évaluation de la sûreté des systèmes de lancement de missiles.

Ayant pour objectif de déterminer les séquences et combinaisons d'événements susceptibles de conduire à un événement indésirable majeur, défini comme événement sommet, l'analyse par arbre de défaillances trouve désormais des applications dans une vaste gamme de secteurs, incluant l'aéronautique, le nucléaire et l'industrie chimique.

Cette méthode est également employée dans l'analyse rétrospective des causes d'accidents survenus. Dans de telles applications, l'événement indésirable final est généralement un fait observé. Il est alors question d'analyse par arbre des causes, l'objectif principal résidant dans l'identification des facteurs causaux ayant effectivement conduit à l'incident [7].

II.3.2.1. Principe :

L'analyse par arbre de défaillances est une méthodologie de nature déductive. En effet, elle consiste, à partir d'un événement indésirable sommet préalablement défini (tel qu'une défaillance système majeure), à identifier les séquences ou combinaisons d'événements élémentaires pouvant conduire à son occurrence. Cette approche permet de remonter, par une démarche régressive, des effets vers les causes, jusqu'aux événements de base (défaillances primaires de composants, erreurs humaines, etc.) susceptibles d'être à l'origine de l'événement indésirable étudié. L'analyse par arbre de défaillances met ainsi en évidence les scénarios critiques, c'est-à-dire les enchaînements logiques d'événements élémentaires menant à l'événement sommet.

Les interdépendances logiques entre les différents événements identifiés sont modélisées au moyen d'opérateurs (ou portes) logiques, principalement de type « ET » et « OU » [4].

II.3.2.2. Construction d'un arbre de défaillance :

L'analyse par arbre de défaillances cible un événement particulier, dit indésirable ou redouté, car sa matérialisation doit être évitée. Celui-ci est défini comme l'événement sommet de l'arbre, et la finalité de l'analyse est d'en élucider toutes les causes sous-jacentes. Les conventions syntaxiques pour l'élaboration des arbres de défaillances sont exposées dans la figure

Evénement/report	Dénomination	Portes	Dénomination
	Événement de base		ET
	Événement sommet ou événement intermédiaire		OU
	Report (Sortie)		OU exclusif
	Le sous-arbre situé sous ce « drapeau » est à dupliquer		
	Report (Entrée)		Combinaison
	... à l'endroit indiqué par ce second drapeau		

Tableau. II.3 : Syntaxe des arbres de défaillances

L'analyse par arbre des défaillances d'un événement indésirable peut s'articuler autour de trois phases consécutives :

- ❑ Définition de l'événement redouté étudié,
- ❑ Elaboration de l'arbre,
- ❑ Exploitation de l'arbre.

Il faut inclure une phase initiale de compréhension du système à ces étapes.

Cette étape est essentielle pour effectuer l'analyse et requiert généralement une compréhension antérieure des risques [4].

II.3.2.3. Traitement qualitatif :

- ❑ **Codage de l'arbre :**
- ✓ Identifier les événements de base identiques sur l'ensemble des EI et leur attribuer le même code.

- ✓ Coder les autres événements de base.
- ✓ Utilisation des lettres de l'alphabet et des chiffres [4].

(Exemple : A_1, B_2 , etc.)

□ **Équation booléenne de l'arbre :**

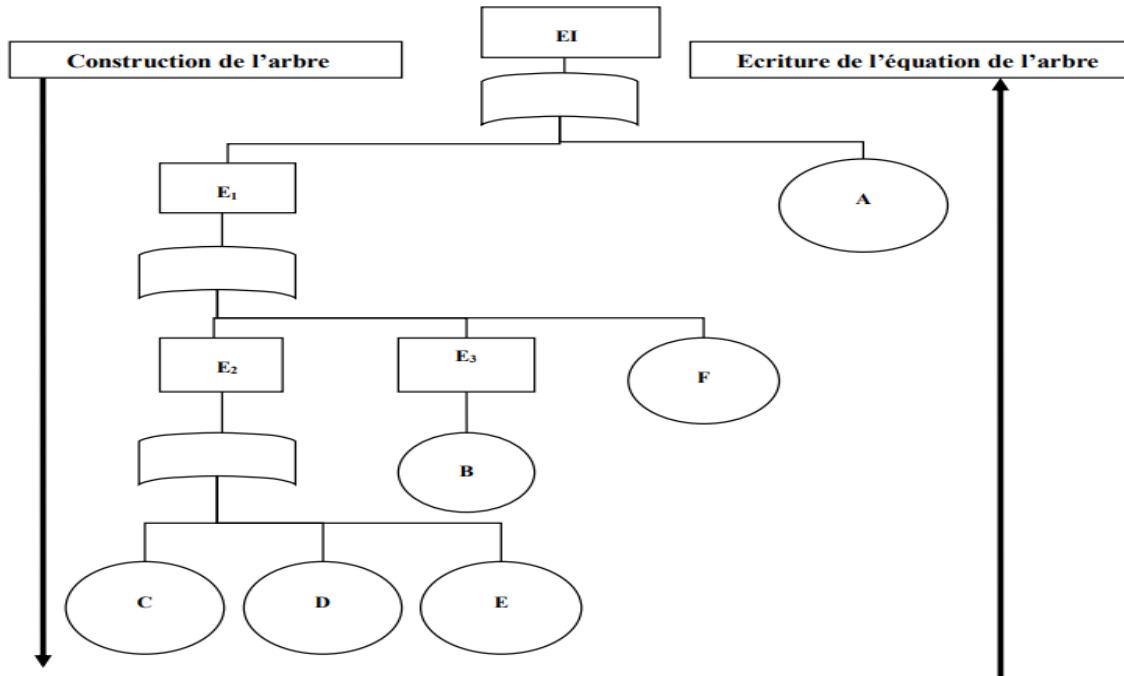


Figure. II.6 : Construction et écriture de l'équation de l'arbre

$$E_2 = C + D + E$$

$$E_3 = B$$

$$E_1 = E_2 + E_3 + F \Rightarrow E_4 = C + D + E + B + F$$

$$\text{Donc : } EI = E_1 + A \Rightarrow EI = A + B + C + D + E + F$$

□ **Réduction de l'équation booléenne :**

Après avoir écrit l'équation booléenne de l'arbre de défaillance nous pouvons réduire cette équation résultante par les propriétés suivantes [4] :

$$A \times A = A$$

$$A + A = A$$

$$A + AB = A$$

II.3.2.4. Coupe minimale :

Une coupe dans un arbre de défaillances cohérent correspond à un ensemble de défaillances de composants qui, lorsqu'elles surviennent simultanément, entraînent la réalisation de

CHAPITRE II : DES OUTILS AU SERVICE DE LA SURETE DFONCTIONNEMENT

l'événement sommet de l'arbre. Plus généralement, cette notion s'applique à tous les systèmes statiques.

Une coupe minimale est une coupe contenant le plus petit nombre possible d'événements défaillants. En d'autres termes, si l'on retire une seule défaillance de cette coupe, les défaillances restantes ne suffisent plus à provoquer l'événement sommet. Une autre propriété des coupes minimales est qu'elles ne contiennent aucune autre coupe en leur sein. La cohérence du système garantit que tout ensemble d'événements de base incluant une coupe minimale constitue également une coupe valide.

L'ensemble des coupes minimales est fondamental pour représenter la défaillance globale du système, et leur identification peut être obtenue par minimisation de la fonction ET [4].

II.3.2.5. Cardinal ou ordre des coupes minimales :

Il est particulièrement pertinent d'examiner le cardinal, également appelé ordre, des coupes minimales, c'est-à-dire le nombre minimal d'événements élémentaires requis pour provoquer l'événement au sommet de l'arbre.

Dans le cadre des systèmes critiques, des règles stipulant qu'« une combinaison d'au moins trois événements indépendants est nécessaire pour engendrer une situation dangereuse » se révèlent souvent aussi, sinon plus, opérationnelles que des exigences posées en termes de probabilités.

Les coupes minimales de cardinal le plus faible déterminant le nombre minimum d'événements dont l'occurrence simultanée peut entraîner l'événement sommet ; dans une approche de « défense en profondeur », ce nombre correspond au nombre de barrières.

Les coupes minimales d'ordre un regroupent l'ensemble des événements de base qui, à eux seuls, suffisent à provoquer l'événement envisagé [4].

II.3.3. Analyse préliminaire des risques :

L'Analyse préliminaire des risques (APR) est une prolongation de L'Analyse préliminaire des dangers (APD), qui a été mise en œuvre pour la première fois aux États-Unis au début des années 60. Depuis, l'application de cette technologie s'est étendue à divers domaines comme l'aéronautique, la chimie, le nucléaire et l'automobile [6].

Cette méthode a pour objectifs :

- D'identifier les dangers d'un système et de définir ses causes,

CHAPITRE II : DES OUTILS AU SERVICE DE LA SURETE DFONCTIONNEMENT

- D'évaluer la gravité des conséquences liées aux situations dangereuses et les accidents potentiels.

L'Analyse Préliminaire des Risques est une technique largement employée pour détecter les risques lors de la phase initiale de conception d'une installation ou d'un projet. Par conséquent, cette approche n'exige généralement pas une compréhension minutieuse et exhaustive de l'installation examinée.

En ce sens, elle est particulièrement utile dans les situations suivantes :

- Au stade de la conception d'une installation, lorsque le procédé n'est pas encore précisément défini, l'Analyse Préliminaire des Risques (APR) fournit une première évaluation de la sécurité. Celle-ci est traduite par des éléments constituant une ébauche des futures consignes d'exploitation et de sécurité, tout en permettant de sélectionner les équipements les mieux adaptés (avant-projet sommaire).
- Dans le contexte d'une installation complexe existante, dans le cadre d'une démarche d'analyse des risques, l'APR, comme son nom l'indique, représente une étape initiale. Elle met en évidence des éléments ou des situations nécessitant une attention particulière, justifiant ainsi le recours à des méthodes d'analyse des risques plus approfondies. Elle peut, par exemple, être complétée par des approches telles que l'AMDEC, HAZOP ou l'arbre des défaillances.
- Pour une installation dont le niveau de complexité ne nécessite pas d'analyses plus approfondies au regard des objectifs initiaux de l'analyse des risques, l'APR peut suffire.

II.3.3.1. Principe :

L'Analyse Préliminaire des composants dangereux de l'installation est une étape fondamentale dans le processus d'Analyse Préliminaire des Risques. On entend généralement par ces éléments périlleux :

- Des substances ou des compositions dangereuses, qu'il s'agisse de matières premières, de produits terminés, d'utilités...
- Des équipements à risque tels que, par exemple, les zones de stockage et de réception-expédition, les réacteurs, les fournitures utilitaires (chaudière...).
- Des procédures risquées liées au processus.

CHAPITRE II : DES OUTILS AU SERVICE DE LA SURETE DFONCTIONNEMENT

L'identification de ces éléments porteurs de dangers est intrinsèquement liée à la nature et aux spécificités de l'installation considérée. La mise en œuvre de l'Analyse Préliminaire des Risques (APR) peut s'effectuer de manière empirique, s'appuyer sur des listes de contrôle de risques types, ou mobiliser des mots-guides issus de méthodologies structurées telles que l'HAZOP (notamment pour l'analyse des dérives des paramètres opératoires).

Il convient de souligner que cette phase d'identification repose fondamentalement sur une description fonctionnelle détaillée du système, préalablement établie.

Sur la base des éléments dangereux ainsi recensés, l'APR vise ensuite à identifier, pour chacun d'eux, un ou plusieurs scénarios de danger (ou situations de danger) associés. Dans le contexte de cette méthodologie, un scénario de danger est appréhendé comme une situation où, en l'absence de mesures de maîtrise, des cibles (personnel, environnement, actifs matériels) pourraient être exposées à un ou plusieurs phénomènes dangereux.

Le groupe de travail procède alors à la détermination des causes et des conséquences associées à chaque situation de danger préalablement identifiée. Cette étape inclut également le recensement des dispositifs de sécurité (ou mesures de maîtrise) actuellement en place sur le système étudié. Si l'évaluation de ces dispositifs révèle une insuffisance par rapport au niveau de risque établi (notamment via une grille de criticité), des recommandations visant à leur amélioration ou à l'implémentation de mesures additionnelles sont alors proposées [7].

II.3.3.2. Déroulement :

Recourir à un tableau récapitulatif est un moyen utile pour structurer la réflexion et condenser les résultats de l'analyse. Cependant, l'évaluation des risques ne consiste pas seulement à remplir un tableau coûte que coûte. En outre, ce tableau nécessite parfois des ajustements en fonction des buts établis par le groupe de travail avant l'analyse.

Le tableau ci-dessous est donc donné à titre d'exemple [7].

Fonction ou système :						Date :	
1	2	3	4	5	6	7	8
N°	Produit ou équipement	Situation de danger	Causes	Conséquences	Sécurités existantes	Propositions d'amélioration	Observations

CHAPITRE II : DES OUTILS AU SERVICE DE LA SURETE DFONCTIONNEMENT

Le groupe de travail peut adopter une approche méthodique structurée de la manière suivante :

- Sélectionner le système ou la fonction à analyser, en s'appuyant sur la description fonctionnelle préalablement établie.
- Choisir un équipement ou un produit associé à ce système ou à cette fonction (colonne 2).
- Identifier une première situation de danger liée à cet équipement (colonne 3).
- Analyser les causes et les conséquences potentielles de cette situation de danger (colonnes 4 et 5).
- Déterminer les barrières de sécurité existantes sur l'installation pour cet enchaînement spécifique (colonne 6).
- Proposer des améliorations si le risque identifié est jugé inacceptable (colonne 7). La dernière colonne (colonne 8) est destinée aux commentaires, permettant de noter les hypothèses formulées lors de l'analyse ou les noms des personnes responsables des actions correctives.
- Recommencer le processus en examinant un nouvel enchaînement causes-situation de danger-conséquences pour la même situation de danger, et revenir à l'étape 5.
- Si tous les enchaînements ont été étudiés, envisager une nouvelle situation de danger pour le même équipement et reprendre à l'étape 4.
- Une fois toutes les situations de danger analysées pour un équipement donné, passer à un autre équipement et revenir à l'étape 3.
- Enfin, lorsque l'ensemble des équipements a été examiné, sélectionner un nouveau système ou une nouvelle fonction et reprendre le processus à l'étape 2.[7].

II.3.3.3. Limites Et Avantages :

Le bénéfice majeur de l'Analyse Préliminaire des Risques est de favoriser une évaluation assez rapide des situations à risque sur les installations. Comparée à d'autres approches, elle se révèle assez économique en termes de durée et n'exige pas une description extrêmement précise du système analysé. Ce point mérite d'être souligné étant donné qu'elle est souvent appliquée lors de la phase de conception des installations.

Cependant, l'APR n'offre pas une caractérisation précise de la séquence d'événements qui pourrait mener à un accident majeur dans des systèmes complexes. Comme le suggère son nom, c'est fondamentalement une méthode d'analyse préliminaire permettant de déceler les points critiques nécessitant des études approfondies. Elle peut ainsi mettre en évidence les

CHAPITRE II : DES OUTILS AU SERVICE DE LA SURETE DFONCTIONNEMENT

équipements ou installations qui pourraient requérir une étude plus détaillée à l'aide d'outils tels que l'AMDEC, le HAZOP ou l'analyse par arbre de défaillances. Néanmoins, son utilisation unique peut être considérée comme suffisante pour des installations simples ou lorsque l'équipe dispose d'une expérience notable dans ce type d'approches [7].

II.3.4. La méthode HAZOP :

La méthode HAZOP (Hazard and Operability), développée par Imperial Chemical Industries (ICI) au début des années 1970, a été progressivement adaptée à divers secteurs utilisant des systèmes thermo-hydrauliques, notamment l'industrie chimique et pétrochimique. En 1980, l'Union des Industries Chimiques (UIC) a publié une version française de cette approche dans son cahier de sécurité n°2, intitulé Étude de sécurité sur schéma de circulation des fluides.

Cette méthode repose sur une analyse systématique des variations des paramètres d'une installation afin d'en identifier les causes et les conséquences potentielles. Elle s'avère particulièrement précieuse pour l'évaluation des systèmes thermo-hydrauliques, où des paramètres tels que le débit, la température, la pression, le niveau ou la concentration jouent un rôle crucial dans la sécurité de l'installation. Par essence, l'approche HAZOP requiert une étude approfondie des schémas et plans de circulation des fluides, en particulier les schémas P&ID (Piping and Instrumentation Diagram), pour garantir une compréhension optimale des risques associés.

II.3.4.1. Principe :

La méthode de type HAZOP est destinée à l'évaluation des risques liés aux systèmes thermo-hydrauliques, où la maîtrise de paramètres tels que la pression, la température, le flux... est essentielle.

L'HAZOP adopte une méthode similaire à celle suggérée par l'AMDE. L'analyse HAZOP ne prend plus en compte les modes de défaillance, mais plutôt les dérives potentielles (ou déviations) des paramètres essentiels associés à l'exploitation de l'installation. Ainsi, elle se concentre sur le fonctionnement du processus contrairement à l'AMDE qui se focalise sur le fonctionnement des pièces de l'équipement. Les deux approches convergent dans le sens où les causes et les effets des dérives de paramètres peuvent être dus à des pannes de composants, et vice versa.

Pour chaque élément du système analysé (ligne ou maille), l'élaboration (conceptuelle) des dérives est réalisée systématiquement par l'association : de termes clés tels que « Pas de », «

Plus de », « Moins de », « Trop de » avec les paramètres liés au système examiné. Des paramètres fréquemment observés incluent la température, la pression, le flux, la concentration ainsi que le temps ou les opérations à réaliser [7].

Mot-clé + Paramètre=Dérive

Le groupe de travail doit donc s'efforcer d'identifier les origines et les possibles impacts de chacune de ces anomalies, tout en reconnaissant les méthodes actuelles permettant de repérer cette anomalie, d'en empêcher la survenance ou d'atténuer ses répercussions. Si nécessaire, le groupe de travail pourrait suggérer des actions correctives à mettre en place pour améliorer la sécurité.

Initialement, l'HAZOP n'était pas conçu pour évaluer la probabilité de survenue des dérives ou la sévérité de leurs effets. On qualifie donc parfois cette approche de qualitative. Dans la pratique, elle peut être associée, tout comme l'AMDE, à une évaluation de la criticité.

Toutefois, dans le secteur des risques accidentels de grande ampleur, une évaluation préliminaire de la probabilité et de la sévérité des conséquences des dérives détectées se révèle fréquemment indispensable. Ainsi, dans ce cadre, l'HAZOP doit être réalisé en conjonction avec une évaluation de la criticité des risques basée sur une méthode quantitative simplifiée [7].

II.3.4.2. Déroulement :

Le processus d'une étude HAZOP suit une approche similaire à celle de l'AMDE et repose sur une analyse méthodique. Pour mener cette étude efficacement, il est recommandé de respecter les étapes suivantes :

- Sélectionner une ligne ou une maille, généralement constituée d'un équipement et de ses connexions, qui réalise une fonction spécifique identifiée lors de la description fonctionnelle.
- Déterminer un paramètre de fonctionnement à analyser.
- Choisir un mot-clé et examiner la dérive associée à ce paramètre.
- Vérifier la pertinence de cette dérive. Si elle est jugée crédible, poursuivre l'analyse ; sinon, revenir à l'étape précédente pour sélectionner un autre mot-clé.

CHAPITRE II : DES OUTILS AU SERVICE DE LA SURETE DFONCTIONNEMENT

- Identifier les causes potentielles de la dérive ainsi que ses conséquences.
- Examiner les moyens permettant de détecter cette dérive et les dispositifs existants pour en limiter l'occurrence ou les effets.
- Proposer, si nécessaire, des recommandations et des améliorations pour renforcer la sécurité du système.
- Sélectionner un nouveau mot-clé pour le même paramètre et recommencer l'analyse depuis l'étape correspondante.
- Lorsque tous les mots-clés ont été examinés, choisir un nouveau paramètre et reprendre l'analyse du début.
- Une fois toutes les phases de fonctionnement étudiées, passer à une nouvelle ligne et recommencer le processus.

L'approche proposée ici est généralement en accord avec celle décrite dans la norme CEI :61882 « Études de danger et d'exploitabilité (études HAZOP) – Guide d'application ».

Il convient également de noter que, dans le champ des risques accidentels, il est souvent indispensable de réaliser une évaluation de la gravité des écarts détectés.

Enfin, comme le souligne la norme CEI :61882, il est aussi envisageable de mettre en œuvre l'HAZOP, en commençant par un terme clé puis en lui associant progressivement les paramètres identifiés.

Tout comme pour l'APR et l'AMDEC, un tableau de synthèse se révèle souvent utile pour guider la réflexion et collecter les résultats des discussions menées au sein du groupe de travail.

Un exemple de tableau pouvant être utilisé est présenté et commenté dans les paragraphes suivants [7].

Date :									
Ligne ou équipement :									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
N°	Mot clé	Paramètre	Causes	Conséquences	Détection	Sécurités existantes	Propositions d'amélioration	Observations	

Tableau. II.4: Exemple de tableau pour l'HAZOP

II.3.5. La méthode What if :

La méthode « What If » (littéralement « Que se passe-t-il si... ») est une approche d'analyse des risques qui s'inspire de la méthodologie HAZOP, partageant avec elle une démarche générale similaire. Néanmoins, elle se distingue par une analyse moins approfondie des événements, se focalisant principalement sur l'identification des conséquences plutôt que sur l'investigation exhaustive de leurs causes. Elle intègre cependant directement la proposition d'actions correctives ou d'amélioration.

Une divergence notable réside dans la génération des scénarios de déviation. Contrairement à l'HAZOP, ces scénarios ne résultent pas de la combinaison systématique d'un mot-guide et d'un paramètre opératoire, mais émergent plutôt d'une série de questions prospectives formulées selon le principe : « Que (What) se passerait-il si (If) tel paramètre déviait ou si le comportement de tel composant s'écartait de la norme attendue ? ».

La sélection des paramètres ou composants soumis à interrogation est moins structurée que dans l'HAZOP, ne s'appuyant pas sur des listes-guides prédéfinies à appliquer systématiquement. En conséquence, l'efficacité de la méthode « What If » repose de manière accrue sur l'expérience, l'expertise et l'intuition collective des membres du groupe de travail.

Bien que potentiellement moins fastidieuse à mettre en œuvre que l'HAZOP, l'approche « What If » est donc particulièrement adaptée aux équipes expérimentées. Elle présente néanmoins des limites en termes de profondeur analytique, notamment concernant l'investigation des causes premières des déviations. Son caractère exploratoire la rapproche davantage d'une technique de remue-méninges (brainstorming) structuré [7].

Que se passe-t-il si ?	Réponse	Probabilité/vraisemblance	Conséquences	Recommandations

Tableau. II.5 : Exemple de tableau d'application de la méthode What-if

II.3.6. Analyse fonctionnelle :

Les techniques de l'analyse fonctionnelle ont été appliquées à partir des années 60 dans le domaine industriel, pour la conception dans le secteur aéronautique, spatiaux et nucléaire pour prendre en compte les attentes des utilisateurs ainsi que les paramètres de fiabilité, de maintenabilité, de disponibilité, de sécurité et de sûreté du système.

CHAPITRE II : DES OUTILS AU SERVICE DE LA SURETE DFONCTIONNEMENT

L'analyse fonctionnelle permet la description synthétique des modes de fonctionnement d'un système et la connaissance des fonctions à garantir. Elle établit de façon systématique et exhaustive les relations fonctionnelles à l'intérieur et à l'extérieur de ce système. En d'autres termes, l'analyse fonctionnelle consiste à rechercher et à caractériser les fonctions offertes par un système pour satisfaire les besoins de son utilisateur.

II.3.6.1. Analyse fonctionnelle externe (méthode APTE) :

Le cabinet conseil APTE a développé une méthode d'analyse de la valeur appliquée à l'organisation des entreprises et à la rédaction des frais généraux. C'est une des méthodes les plus utilisée en sûreté de fonctionnement et elle est généralement employée en vue d'une analyse AMDEC.

La méthodologie APTE (Analyse de la Production de la Technique et de l'Économie, ou autre expansion selon le contexte) se structure en quatre étapes fondamentales :

- L'identification du besoin à combler en utilisant une méthodologie appelée « bête à cornes » ;
- L'exploration des environnements extérieurs ;
- L'identification des fonctions principales et des fonctions de contraintes ;
- L'apport d'un plan général de pensée qui facilite l'identification des flux.

Les fonctions de base sont déduites après une étude des milieux extérieurs. Cette étude met en relation le système et ses milieux extérieurs. Chaque fonction devra être validée [1].

II.3.6.1.1. Enoncé du besoin par l'outil bête à cornes :

Exprimer le besoin consiste à définir l'exigence fondamentale qui motive la conception du système. Cette approche repose sur la dématérialisation du système, c'est-à-dire qu'elle se focalise uniquement sur les bénéfices et les satisfactions qu'il apporte, en réponse à un besoin implicite du demandeur.

Pour clarifier ce besoin, trois questions essentielles doivent être posées :

A qui, à quoi le système rend-il service ? Sur qui, sur quoi agit-il ? Dans quel but ? L'outil de représentation dit « bête à cornes » permet d'y répondre. Il est schématisé à la Figure ci-contre [10] :

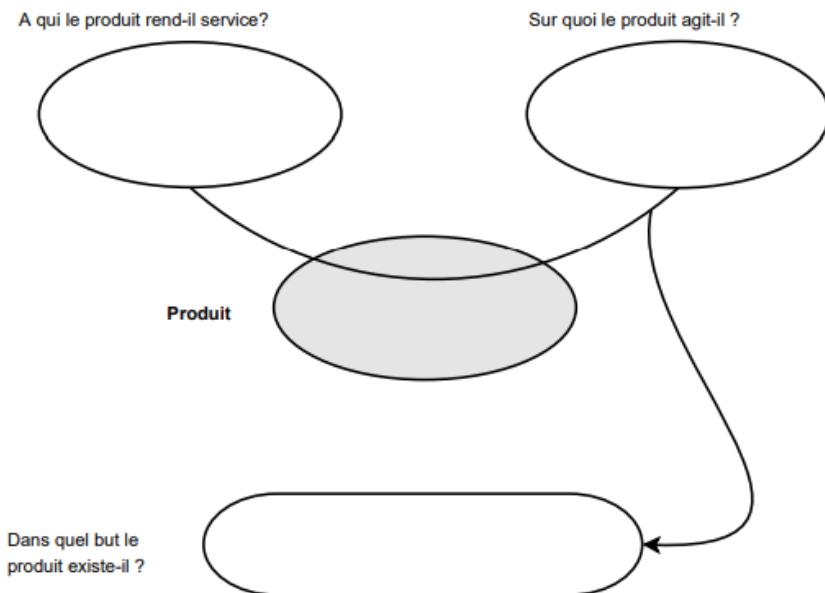


Figure. II.7 : Diagramme Bête à Cornes

II.3.6.1.2. Identification des fonctions par le diagramme Pieuvre :

Le diagramme pieuvre, également connu sous le nom de diagramme des interacteurs, est un outil qui permet d'identifier les fonctions de service du produit à développer. Ce schéma se compose du produit placé au centre, entouré par les éléments de son environnement (milieu extérieur). Les liens (fonctions) entre le produit et l'environnement sont clairement visibles. Ces liens représentent les contraintes de conception associées à l'élément extérieur considéré. Cet instrument ouvert facilite donc une identification complète des problèmes à traiter.

L'ensemble des facteurs externes se segmentent en différents environnements qui doivent être optimisés pour obtenir les spécifications les plus détaillées [9] :

- Environnement humain, y compris l'utilisateur et son entourage, (ergonomie, design),
- Cadre physique, comprenant le matériau de base, le contexte d'emploi (la route pour une voiture) ...
- Environnement énergétique, y compris celui prévu,
- Cadre juridique (lois et normes),
- Cadre économique et social (style, prix, service après-vente, distribution),
- Société (litiges prévisibles, culture organisationnelle, réputation de la marque),

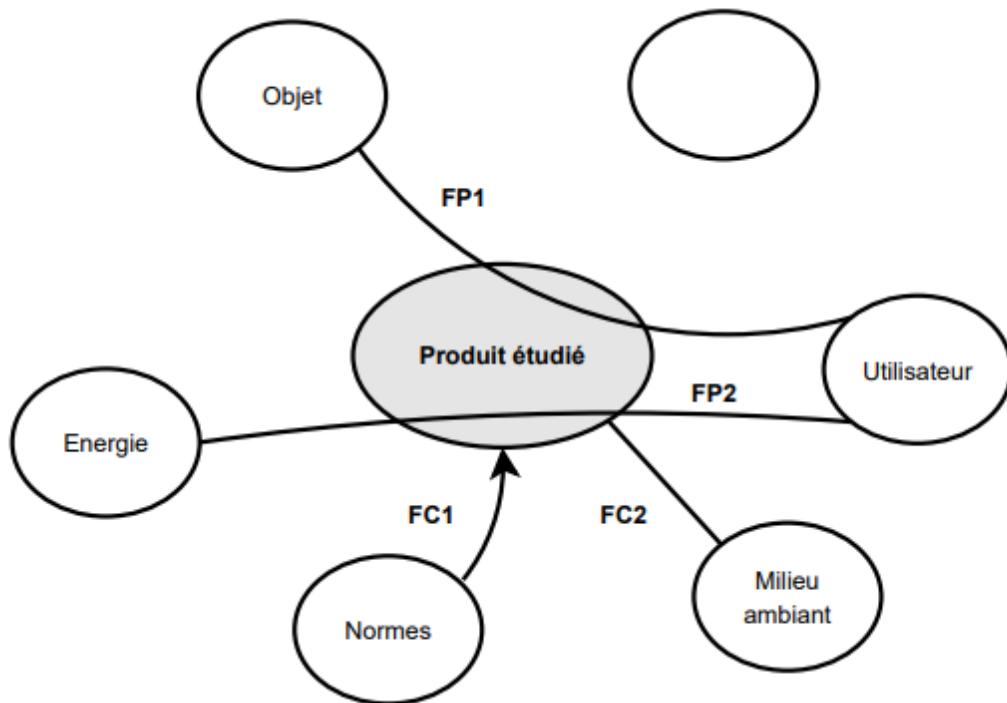


Figure. II.8 : Exemple le diagramme Pieuvre

On agit en deux étapes, on commence par définir le milieu extérieur, on recherche ensuite les différentes fonctions de service.

➤ Fonction de service

Action qu'un produit est censé accomplir (ou réalise) pour satisfaire une nécessité formulée.

Parmi les fonctions de service d'un produit, on peut identifier :

- **Les fonctions principales (FP)** : qui illustrent le service offert par le produit afin de satisfaire la demande exprimée ;
- **Les fonctions contraintes (FC)** : qui expriment les besoins d'ajustement du produit à l'environnement extérieur. Selon la norme AFNOR X50-151 : « La contrainte est l'entrave à la liberté de décision du concepteur-réalisateur d'un produit. » Il s'agit d'identifier les critères que le produit doit obligatoirement respecter, sans pour autant être sa finalité principale.

REMARQUE :

Ce sont des fonctions, la formulation est donc basée sur l'utilisation d'un verbe à l'infinitif suivi d'un ou plusieurs compléments. Elles peuvent être soit d'usage, soit d'estime. La formulation de la fonction doit impérativement être indépendante des moyens de la réaliser.

Les fonctions seront représentées par des traits joignant les bulles du diagramme. Les FPI joignent deux bulles en passant par le système.

La FP est la fonction qui répond au besoin spécifique. Elle est parfois appelée fonction globale. Les FC joignent une bulle extérieure et le système. Ces liaisons peuvent être orientées [9] :

FC1 : le milieu extérieur agit sur le système.

FC2 : le milieu extérieur et le système interagissent.

II.3.6.2. Analyse fonctionnelle Interne :

C'est le point de vue du concepteur qui doit fournir le produit répondant aux besoins identifiés. L'analyse fonctionnelle interne » a pour but d'aider le concepteur à construire la solution qui devra répondre point par point à l'expression fonctionnelle du besoin (exprimée par l'analyse externe) et ceci aux meilleures conditions pour chacun [8].

II.3.6.2.1. Principe :

Pour le concepteur, le produit se présente comme une combinaison d'éléments variés, ayant des connexions entre eux, générant des services à leur stade, avec des opérations internes produisant des fonctions internes ou techniques. L'analyse prévoit de passer des fonctions de service aux fonctions techniques attribuées à chaque composant ou segment du produit à un niveau de détail croissant, en considérant les principes de fonctionnement et en établissant les relations [8].

II.3.6.2.2. Diagramme FAST (Function Analysis System Technique) :

En appliquant la méthode APTE, nous tirons un certain nombre de fonctions de service (principales ou contraintes). Un diagramme FAST (Functional Analysis System Technique, conforme à la norme NF X 50-153) offre une interprétation précise de chaque fonction de service en termes techniques, suivie d'une matérialisation en solution constructive [9].

CHAPITRE II : DES OUTILS AU SERVICE DE LA SURETE DFONCTIONNEMENT

Fonction technique :

Action réalisée au sein du produit (entre ses composants) précisée par le créateur-réalisateur, dans le contexte d'une solution, afin de garantir les fonctions opérationnelles.

REMARQUE :

Comme pour toutes les autres fonctionnalités, la construction implique l'emploi d'un verbe à l'infinitif suivi d'un ou plusieurs éléments complémentaires.

Cette approche de présentation facilite l'établissement d'un lien entre le besoin essentiel et la structure d'un produit en parcourant les fonctions de service (externes au produit) ainsi que les fonctions techniques (internes) [9].

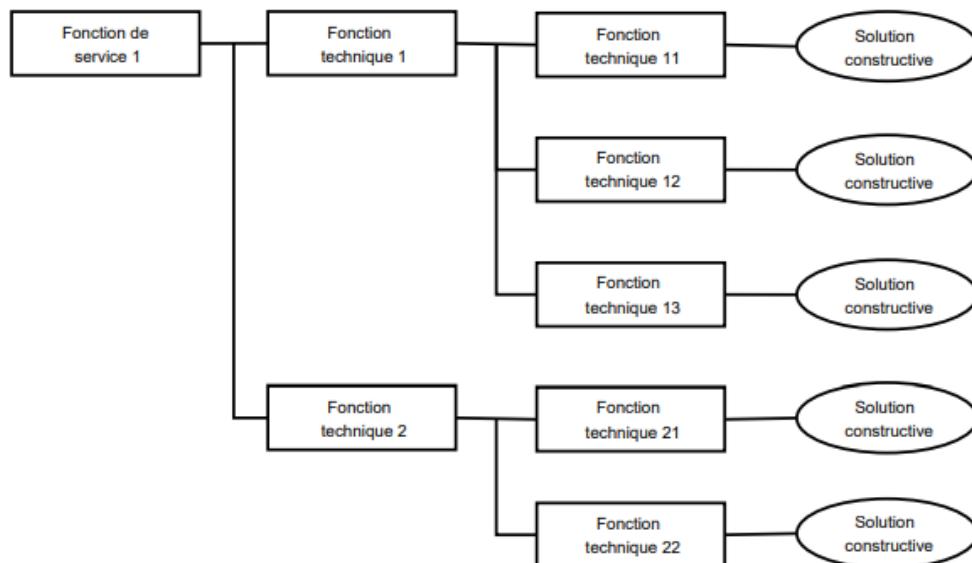


Figure. II.9 : Exemple de diagramme FAST

On parviendra généralement à une structure arborescente dont la feuille terminale représente une solution constructive élémentaire (également appelée solution technologique).

L'élaboration d'un FAST repose sur trois interrogations à considérer pour chaque fonctionnalité interne du produit :

Comment cela est-il fait ? Accès à une fonction technique d'ordre inférieur, décomposition

Pourquoi cela est-il fait ? Accès à une fonction technique d'ordre supérieur, reconstruction

Quand cela est-il utilisé ? Recherche des simultanéités

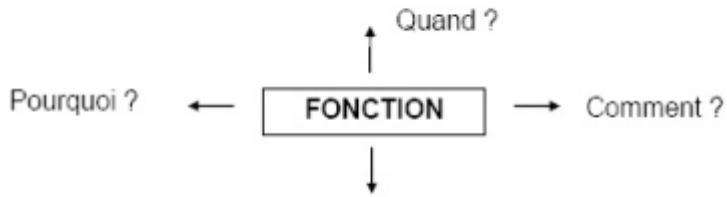


Figure. II.10 : Règles de construction d'un diagramme FAST

L'intérêt de cette façon de procéder est qu'elle permet un balayage exhaustif des solutions. Il y a autant de diagrammes que de fonctions de service [9].

II.3.6.2.2. Diagramme SADT :

La SADT (en anglais Structured Analysis and Design Technic), également appelée IDEFO (en anglais Integration Definition for Function modeling), est une méthode d'origine américaine élaborée par Doug Ross de Softech en 1977, puis introduite en Europe par Michel Galiner dès 1982. SADT est une technique qui a été initialement conçue pour illustrer les tâches d'un projet et leurs interactions. Elle a par la suite servi à décrire les systèmes complexes où cohabitent divers flux de matières.

Puisque le système est délimité, c'est-à-dire défini par ses frontières, nous pouvons distinguer :

- Sa fonction, qui confère une valeur supplémentaire au matériau de base ;
- Les éléments qui composent le système (sous-systèmes, composants, etc.), qui, intégrés à la limite du système, soutiennent la fonction ;
- Le matériau sur lequel son action est exercée ;
- Les données d'entrée, aussi appelées données de contrôle, qui entraînent ou modifient l'exécution de la fonction.

La modélisation d'un système implique de fournir une représentation qui détaille les quatre ensembles d'éléments mentionnés ci-dessus en illustrant les relations [9].

II.3.6.2.2.1. Matière d'œuvre :

Partie du milieu extérieur sur laquelle le système agit. Il peut y avoir trois types de matière d'œuvre :

CHAPITRE II : DES OUTILS AU SERVICE DE LA SURETE DFONCTIONNEMENT

La matière d'œuvre peut être entrante (MOE) ou sortante (MOS). De par sa fonction, le système donne à la maîtrise d'œuvre un avantage supplémentaire.

II.3.6.2.2. Valeur ajoutée :

➤ Formalisme du modèle

On modélise graphiquement un système par un bloc fonctionnel (ou "actigramme") représenté par un rectangle à l'intérieur duquel est mentionnée la fonction globale. Les entrées sont de deux types :

- ✓ Les entrées de matière d'œuvre qui sont transformées par la fonction. Elles sont notées par des flèches entrantes à gauche ;
- ✓ Les données de contrôle qui provoquent ou modifient la mise en œuvre de la fonction.
- ✓ Elles sont notées sur le dessus.

Les sorties représentent ce qui est produit par le système :

- ✓ La sortie de matière d'œuvre dotée de valeur ajoutée [9].

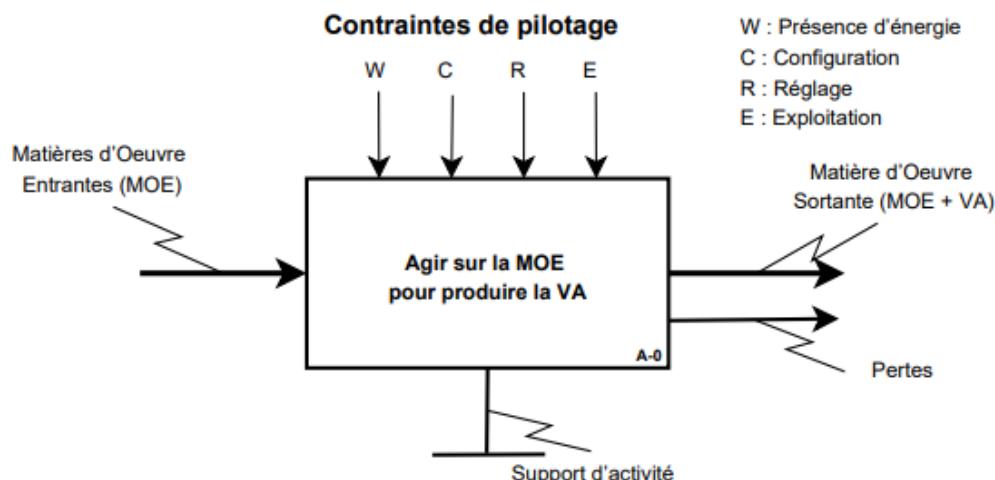


Figure. II.11 : Diagramme SADT de niveau A-0

- Les sorties secondaires qui représentent généralement des flux d'informations associées au processus et des sous-produits ou déchets.

Les supports de la fonction (Moyen) qui représentent les éléments matériels sont éventuellement notés sous le rectangle,

➤ Analyse descendante :

La méthode d'analyse descendante est un processus systématique visant à élucider la justification théorique d'un système donné, ou la nécessité de sa conception, en identifiant les fonctions qu'il est censé remplir et, par extension, la manière dont ces fonctions sont effectivement réalisées. Cette approche, fondée sur le modèle graphique SADT, s'inscrit dans une démarche descendante, évoluant du niveau le plus général au plus détaillé, tout en se focalisant sur les activités du système [9].

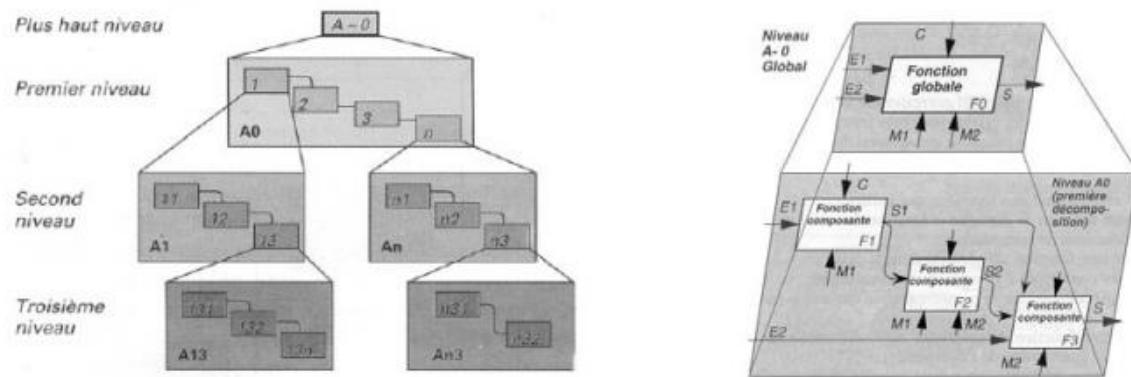


Figure. II.12 : Hiérarchie entre les diagrammes

Le niveau le plus élevé, désigné par la lettre A-0 , ne comporte qu'une seule fonction, appelée « contexte ». Le diagramme A-0 se décompose au niveau suivant A0 en n boîtes représentant les fonctions satisfaisant à la fonction d'usage définie en A-0. Ces fonctions sont désignées par les lettres A1, A2, A3, etc., chacune d'entre elles correspondant à une boîte spécifique. Il convient de noter que chaque boîte peut être subdivisée en une multitude d'autres boîtes, chacune représentant une fonction spécifique. Dans le cadre de cette étude, les éléments identifiés par les lettres A11, A22 et An1 sont à considérer. La décomposition s'achève lorsque le niveau de détail souhaité est atteint [9].

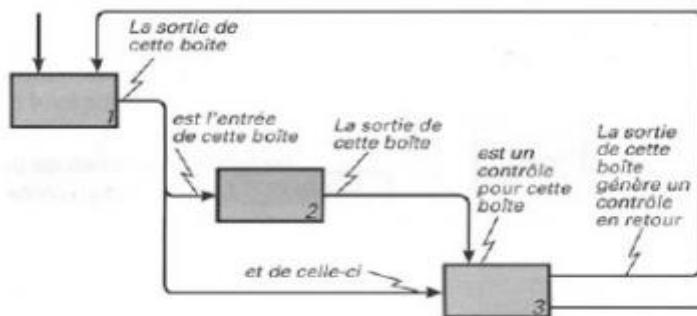


Figure. II.13 : Règle de construction des diagrammes SADT

CHAPITRE II : DES OUTILS AU SERVICE DE LA SURETE DFONCTIONNEMENT

Les principales règles régissant la construction des diagrammes sont :

- Chaque flèche entrant ou sortant de sa boîte-mère doit se retrouver sur le diagramme enfant ;
- Les flèches indiquent les contraintes d'action, les contrôles, ... agissant sur la production de valeur ajoutée ;
- Les flèches sont affectées d'un label indiquant leur nature. Celui-ci peut être remplacé par un code dont la signification est donnée en marge ;
- la sortie d'une boîte peut constituer l'entrée ou le contrôle d'une ou plusieurs autres boites.

REMARQUE :

Lors de l'étude d'un système dans un sujet de concours, on vous propose souvent de mettre en place le diagramme A-0 à partir du diagramme A1 ou vice-versa

Vous êtes donc relativement guidé dans votre démarche et vous devez absolument rechercher la cohérence avec le reste du sujet. Vous êtes alors jugé sur votre capacité à lire un sujet (un CdCF...) et à le retranscrire en utilisant une méthode de communication technique, en l'occurrence la SADT [9].



CHAPITRE III : MISE EN PLACE DE ISO 45001

III.1 Introduction :

L'ISO 45001 est une norme internationale qui spécifie les exigences que doit remplir un système de management de la santé et la sécurité au travail (S&ST). Cette démarche méthodique a pour objectif de fournir un cadre structurant aux organismes, leur permettant ainsi de gérer les risques et d'améliorer leur performance en matière de S&ST.

Cette norme établit les critères pour l'élaboration d'une politique et d'objectifs de S&ST, ainsi que pour la planification, la mise en œuvre, la réalisation des objectifs opérationnels, l'audit et les revues. L'engagement de la direction, la participation des travailleurs, l'identification des dangers et l'évaluation des risques, le respect des dispositions légales et réglementaires, la planification des mesures d'urgence, l'analyse des événements indésirables et l'amélioration continue sont autant d'éléments essentiels de la norme.

La norme ISO 45001 s'inscrit dans une démarche de gestion des risques pour la santé et la sécurité, fondée sur le cycle PDCA (Planifier, Réaliser, Évaluer, Améliorer). Ce processus structuré permet une approche méthodique et systématique de la gestion des risques, en visant leur prévention, leur maîtrise et leur amélioration continue. Cette norme s'applique à tous les types d'organisations et peut être intégrée à d'autres systèmes de management ISO [11].

III.2 Pourquoi ISO 45001 est-elle essentielle ? :

La mise en œuvre de l'ISO 45001 confère une valeur ajoutée aux organismes qui aspirent à réduire les accidents du travail et à démontrer leur engagement en matière de S&ST. La norme susmentionnée présente les avantages suivants :

La norme ISO 45001 fournit un cadre reconnu à l'échelle internationale pour la gestion des risques en matière de santé et de sécurité au travail. Cette démarche méthodique d'évaluation des risques professionnels, mise en œuvre par les organismes compétents, vise à réduire significativement le nombre d'accidents du travail, de maladies professionnelles et d'incidents sur le lieu de travail. En effet, elle permet une analyse systématique des dangers potentiels et la mise en place de mesures de prévention efficaces.

L'adoption de cette norme atteste de l'engagement de l'organisme en faveur de la santé, de la sécurité et du bien-être des travailleurs, ainsi que de la mise en place de procédures rigoureuses pour garantir le respect de ces principes fondamentaux. Cette démarche participe au renforcement de la réputation de l'entreprise, tout en contribuant à la motivation et à la fidélisation de ses employés.

Chapitre III :Mise en place de ISO 45001

En effet, la norme est un dispositif qui a pour vocation de garantir la conformité aux exigences réglementaires en matière de S&ST, et par extension, de contribuer à la conformité aux dispositions légales. En outre, elle promeut une gestion proactive du risque, susceptible de se traduire par une réduction du coût des primes d'assurance.

La norme ISO 45001 préconise la mise en place de protocoles de préparation et de gestion des situations d'urgence. Elle vise ainsi à accroître la résilience de l'organisme face aux crises et aux menaces qui pèsent sur la sécurité.

Le cadre fondé sur le cycle PDCA (Planifier, Réaliser, Évaluer, Améliorer) rend possible l'amélioration et l'évolution continues du système de management de la S&ST, et permet ainsi d'accroître la performance en matière de santé et de sécurité des travailleurs sur le long terme [11].

III.3 Avantages :

- Cadre conçu pour gérer de manière systématique les risques pour la S&ST.
- Réduction du nombre d'événements indésirables et de traumatismes sur le lieu de travail.
- Engagement manifeste en faveur de la santé et de la sécurité des travailleurs.
- Gage du respect de la réglementation en vigueur en matière de S&ST.
- Renforcement de la résilience organisationnelle.
- Amélioration continue de la performance en S&ST [11].

III.4. Identification des dangers et évaluation des risques et opportunités :

III.4.1 Identification des dangers :

L'entité est tenue de mettre en place, d'exécuter et de maintenir à jour un ou plusieurs processus d'identification continue et proactive des risques. Ces processus doivent, sans s'y restreindre, considérer :

- a) la structuration du travail, les éléments sociaux (tels que le volume de travail, les heures travaillées, la maltraitance, le harcèlement et l'intimidation), la direction et l'ambiance de l'organisation ;
- b) les actions et scénarios courants et atypiques, y compris les risques encourus :

Chapitre III :Mise en place de ISO 45001

- Les infrastructures, équipements, matériaux, substances et conditions physiques du lieu de travail ;
- Le cycle de vie des produits et services : conception, recherche, développement, essais, production, assemblage, construction, prestation, maintenance et mise au rebut ;
- Les facteurs humains ;
- L'organisation et l'exécution des tâches.

c) les événements indésirables passés notables, internes ou externes à l'organisme, y compris les situations d'urgence, et leurs causes ;

d) les circonstances d'urgence envisageables ;

e) les individus, notamment en tenant compte de :

- Les différentes catégories de personnes ayant accès au lieu de travail, telles que le personnel interne (travailleurs), les intervenants extérieurs (contractants, sous-traitants), les visiteurs, ainsi que la nature de leurs activités respectives sur site ;
- Les populations ou entités situées à proximité du lieu de travail et susceptibles d'être affectées par les activités de l'organisme (par exemple, le voisinage, le public) ;
- Le personnel de l'organisme opérant sur des sites externes ou des lieux de travail non soumis à son contrôle direct (par exemple, travailleurs mobiles, personnel en mission chez des clients).

f) les autres éléments, y compris en tenant compte de :

- La conception et l'aménagement des lieux de travail, des processus, des installations, des machines et équipements, ainsi que des procédures opératoires et de l'organisation du travail, en y intégrant leur adaptation aux besoins et aux aptitudes des travailleurs concernés ;
- Les situations ou événements survenant à proximité immédiate du lieu de travail et résultant des activités menées sous le contrôle de l'organisme ;
- Les situations exogènes (échappant au contrôle direct de l'organisme) se manifestant à proximité du lieu de travail et susceptibles d'occasionner des traumatismes ou des pathologies aux personnes présentes sur ce lieu ;

- Les modifications, qu'elles soient effectives ou projetées, affectant l'organisation, les opérations, les processus, les activités ou le système de management de la Santé et Sécurité au Travail (SST) ;
- L'évolution des connaissances scientifiques et techniques et des informations disponibles relatives aux dangers et aux risques associés [12].

III.4.2. Élimination des dangers et réduction des risques pour la S&ST :

L'entité est tenue d'établir, d'implémenter et de maintenir à jour un ou plusieurs processus pour l'élimination des dangers et la minimisation des risques liés à la santé et sécurité au travail, en se basant sur la hiérarchie des mesures de prévention suivante :

- a) éliminer le danger ;
- b) Remplacer par des méthodes, des opérations, des matériaux ou des matériels moins risqués;
- c) Implémenter des actions de protection collective et réorganiser les tâches ;
- d) Mettre en place des mesures préventives administratives, y compris la formation ;
- e) Recourir à un matériel de protection individuelle approprié [12].

NOTE : Dans de nombreux pays, les exigences légales et autres exigences incluent la fourniture gratuite des équipements de protection individuelle (EPI) aux travailleurs

III.4.3. Pilotage du changement :

L'établissement d'un ou plusieurs processus pour la mise en œuvre et le contrôle des modifications temporaires et permanentes prévues qui influencent la performance en matière de santé et sécurité au travail est requis, y compris :

- a) les nouveaux produits, services et processus ou les changements dans les produits, services et processus existants, y compris :
 - Les lieux et environnements de travail ;
 - L'organisation du travail ;
 - Les conditions de travail ;
 - Les équipements ;
 - Les effectifs ;
- b) les modifications concernant les exigences juridiques et autres contraintes ;

- c) le progrès des connaissances ou des informations sur les dangers et sur les risques en matière de S&ST ;
- d) l'avancement des savoirs et de la technologie.

L'organisme doit analyser les conséquences des modifications imprévues et, si nécessaire, mener des actions pour limiter tout effet négatif [12].

III.5. Acquisition de biens et services :

L'organisme doit disposer de processus établis, mis en œuvre et actualisés pour le contrôle des achats de produits et services, assurant ainsi leur adéquation avec le système de management de la Santé et Sécurité au Travail (SST).

III.5.1. Intervenants extérieurs :

L'entité doit harmoniser ses procédures d'achat de biens et services avec ses parties prenantes externes, afin de repérer les menaces et d'apprécier et contrôler les risques liés à la santé et la sécurité au travail (SST) :

- a) Les activités et opérations conduites par des intervenants extérieurs qui ont une incidence directe ou indirecte sur la performance et la sécurité de l'organisme ;
- b) Les activités et opérations de l'organisme qui sont susceptibles d'exposer à des risques les travailleurs employés par les intervenants extérieurs ;
- c) Les activités et opérations conduites par des intervenants extérieurs qui peuvent avoir des conséquences sur la sécurité et le bien-être d'autres parties intéressées présentes sur le lieu de travail.

L'organisme doit s'assurer que les exigences de son système de management de la S&ST sont remplies par les intervenants extérieurs et leurs travailleurs. Le ou les processus d'acquisition de biens et services de l'organisme doivent définir et appliquer des critères de santé et de sécurité au travail pour la sélection des intervenants extérieurs [12].

III.5.2. Externalisation :

L'organisme doit vérifier que les fonctions et processus externalisés sont maîtrisés. L'organisme doit vérifier que ses règles pour l'externalisation sont en accord avec les lois et les autres règles, et qu'il atteint les objectifs du système de management de la S&ST. Le système de management de la S&ST doit définir comment faire et à quel niveau de détail.

NOTE La coordination avec les prestataires extérieurs peut aider un organisme à faire face à l'incidence éventuelle de l'externalisation sur sa performance en S&ST [12].

III.5.3 Préparation et réponse aux situations d'urgence :

L'organisme doit mettre en place, déployer et actualiser le processus d'urgence, incluant les procédures de préparation et de réponse aux situations potentiellement critiques. incluant :

- a) La mise en place d'une réponse organisée aux situations d'urgence, incluant la gestion des premiers secours, est essentielle pour assurer la sécurité et le bien-être des individus concernés.
- b) La formation à la réponse planifiée est un élément essentiel de notre programme de développement des compétences.
- c) La réalisation périodique d'essais et d'exercices est un élément clé de notre stratégie de gestion des risques. Elle nous permet d'évaluer la capacité de réaction selon les critères définis au préalable.
- d) L'évaluation des performances et, le cas échéant, la révision de la réponse planifiée, y compris après un essai et surtout après la survenue de situations d'urgence.
- e) La diffusion d'informations pertinentes à l'ensemble des collaborateurs, détaillant leurs obligations et responsabilités.
- f) La diffusion d'informations pertinentes aux parties prenantes externes, aux visiteurs, aux services d'urgence, aux autorités publiques et, selon le contexte, aux communautés locales.
- g) La prise en compte des besoins et des capacités de toutes les parties prenantes pertinentes, ainsi que la garantie de leur implication, le cas échéant, dans l'élaboration de la réponse planifiée.

L'organisme doit tenir à jour et conserver des informations documentées sur le(s) processus et sur les plans de réponse aux situations d'urgence potentielles [12].

III.6 Surveillance, mesure, analyse et évaluation de la performance :

III.6.1 Généralités :

L'organisme est tenu de mettre en place, de déployer et de maintenir à jour un ou plusieurs processus de surveillance, de mesure, d'analyse et d'évaluation de la performance.

L'organisme doit déterminer :

Chapitre III :Mise en place de ISO 45001

a) ce qu'il est nécessaire de surveiller et mesurer, y compris :

- Le niveau de conformité aux exigences légales et autres exigences applicables à l'organisme ;
- Les activités et opérations de l'organisme qui sont associées aux dangers, risques et opportunités préalablement identifiés ;
- L'avancement dans l'atteinte des objectifs de Santé et Sécurité au Travail (SST) que l'organisme s'est fixés ;
- L'efficacité (ou l'effectivité) des mesures de maîtrise opérationnelle ainsi que des autres actions de prévention et de protection mises en œuvre.

b) Les méthodologies de surveillance, de mesure, d'analyse et d'évaluation des performances, adaptées au contexte spécifique et conçues pour assurer la validité des résultats obtenus ;

c) Les critères d'évaluation par rapport auxquels l'organisme mesurera sa performance en matière de Santé et Sécurité au Travail (SST) ;

d) La périodicité ou les conditions spécifiques déterminant quand la surveillance et la réalisation des mesures doivent être effectuées ;

e) Les échéances ou la fréquence à laquelle les résultats issus de la surveillance et des mesures doivent être analysés, évalués et communiqués.

L'organisme a la responsabilité d'évaluer sa performance globale en Santé et Sécurité au Travail (SST) et d'apprécier l'efficacité (ou l'effectivité) de son système de management SST.

L'organisme doit s'assurer que ses dispositifs de surveillance et de mesure sont, si applicable, étalonnés ou vérifiés, et qu'ils sont employés de manière adéquate et maintenus en état de fonctionnement optimal.

NOTE: Il peut exister des exigences légales ou d'autres exigences (par exemple, des normes nationales ou internationales) sur l'étalonnage ou la vérification des équipements de surveillance et de mesure [12].

L'organisme doit conserver des informations documentées pertinentes :

Comme preuves des résultats de surveillance, de mesure, d'analyse et d'évaluation des performances ;

Sur la maintenance, l'étalonnage ou la vérification des équipements de mesure

III.6.2 Évaluation de la conformité :

L'organisme doit disposer de processus établis, mis en œuvre et actualisés, permettant une évaluation rigoureuse de sa conformité aux prescriptions légales et autres exigences pertinentes.

L'organisme doit :

- a) Définir la fréquence et les méthodologies à employer pour l'évaluation de sa conformité ;
- b) Procéder à l'évaluation de la conformité et, le cas échéant, engager les actions requises pour traiter toute non-conformité identifiée ;
- c) Maintenir une connaissance et une compréhension actualisées de son statut de conformité vis-à-vis des exigences légales et autres exigences ;
- d) Conserver les informations documentées attestant des résultats des évaluations de conformité [12].

III.7. Audit interne :

III.7.1 Généralités :

L'organisme est tenu de réaliser des audits internes, selon une périodicité planifiée, dans le but d'obtenir des informations objectives permettant de déterminer si son système de management de la Santé et Sécurité au Travail (SST) :

- a) est conforme :
 - Aux propres exigences de l'organisme concernant le système de management de la S&ST, y compris la politique de S&ST et les objectifs de S&ST ;
 - Aux exigences du présent document ;
- b) Son application effective et sa mise à jour sont assurées de manière continue et vérifiable [12].

III.7.2 Programme d'audit interne :

L'organisme doit :

- a) Planifier, établir, mettre en œuvre et maintenir un ou plusieurs programmes d'audit. Ces programmes doivent englober des aspects tels que la fréquence, les méthodologies, les responsabilités, les modalités de consultation, les exigences de planification et la

communication des résultats. La définition de ces programmes doit impérativement tenir compte de l'importance des processus audités et des conclusions issues des audits antérieurs ;

- b) Définir clairement les critères d'audit et le champ d'application (ou périmètre) spécifique à chaque audit ;
- c) Sélectionner des auditeurs compétents et conduire les audits de manière à garantir l'objectivité et l'impartialité du processus d'audit ;
- d) Assurer que les conclusions des audits sont communiquées au personnel d'encadrement pertinent. Veiller également à ce que les résultats d'audit significatifs soient transmis aux travailleurs, à leurs représentants (le cas échéant), ainsi qu'aux autres parties intéressées concernées ;
- e) Engager les actions nécessaires pour traiter les non-conformités identifiées et viser l'amélioration continue de la performance en Santé et Sécurité au Travail (SST) ;
- f) Conserver les informations documentées appropriées comme éléments probants de la mise en œuvre effective du programme d'audit et des conclusions des audits [12].

III.7.3 Revue de direction :

À des intervalles planifiés, la direction doit procéder à la revue du système de management de la S&ST mis en place par l'organisme, afin de s'assurer qu'il est toujours approprié, adéquat et efficace.

La revue de direction doit prendre en considération :

- a) Le suivi et l'état d'avancement des actions décidées lors des précédentes revues de direction;
- b) Les modifications des enjeux, tant externes qu'internes, ayant une incidence sur le système de management de la Santé et Sécurité au Travail (SST), et en particulier :
 - Les besoins et attentes des parties intéressées ;
 - Les exigences légales et autres exigences ;
 - Les risques et opportunités ;
- c) Le degré de mise en œuvre de la politique de Santé et Sécurité au Travail (SST) et le niveau d'atteinte des objectifs SST ;

Chapitre III :Mise en place de ISO 45001

d) Les informations relatives à la performance en Santé et Sécurité au Travail (SST), incluant notamment l'analyse des tendances concernant :

- Les problèmes, les erreurs, les solutions et les améliorations constantes.
- Les résultats de la surveillance et de la mesure.
- Les résultats de l'évaluation de la conformité aux exigences légales et autres exigences.
- Les résultats de l'audit.
- Les travailleurs doivent être consultés et participer.
- Les risques et les opportunités.

e) L'adéquation des ressources allouées pour assurer le maintien d'un système de management de la Santé et Sécurité au Travail (SST) efficace et pérenne ;

f) La pertinence et l'efficacité des communications établies avec les parties intéressées internes et externes ;

g) Les opportunités d'amélioration continue identifiées pour le système de management de la Santé et Sécurité au Travail (SST) et la performance globale en la matière.

Les éléments de sortie de la revue de direction doivent inclure les décisions relatives :

À l'adéquation, à la pertinence, et à l'effectivité/efficacité permanentes du système de management de la S&ST pour l'atteinte des résultats escomptés ;

Aux opportunités d'amélioration continue ;

Aux éventuels changements à apporter au système de management de la S&ST ;

Aux ressources nécessaires ;

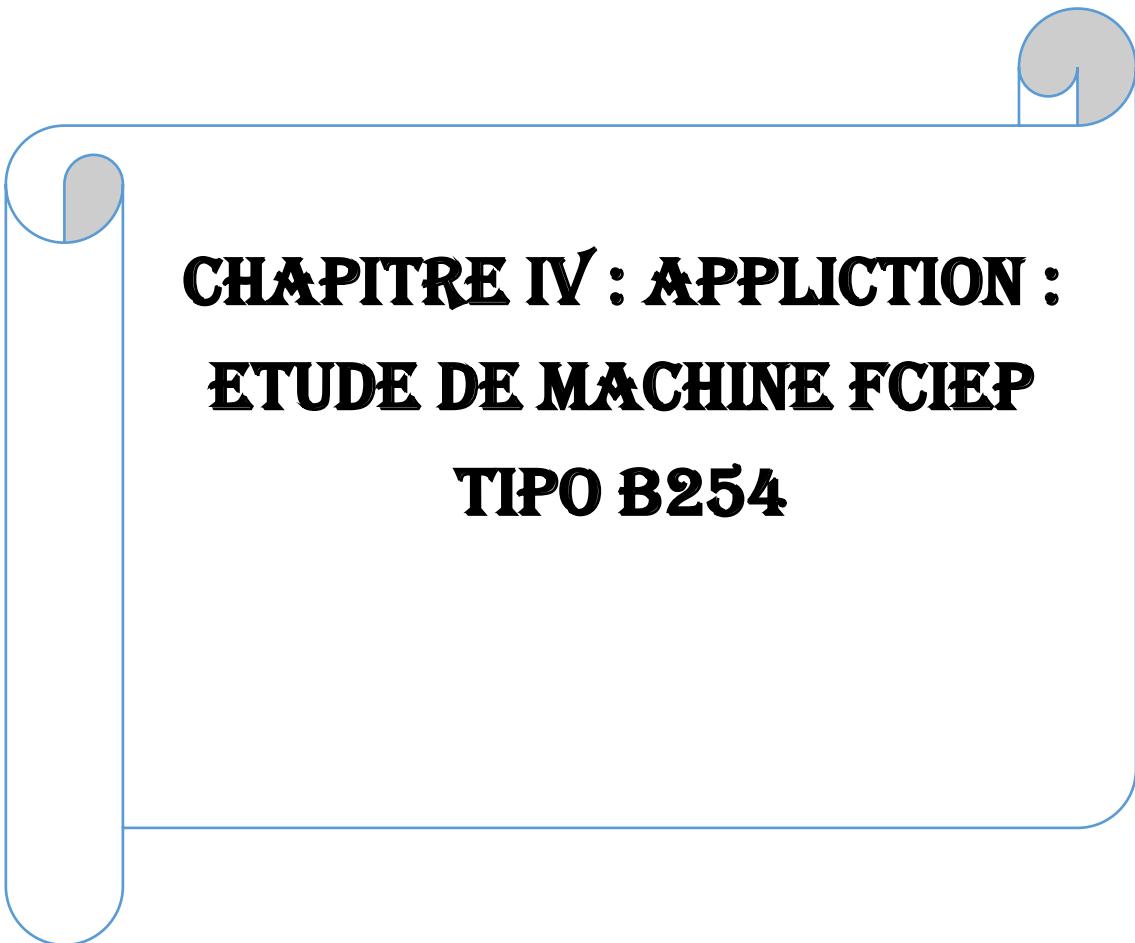
Aux actions éventuelles à mener ;

Aux opportunités d'améliorer l'intégration du système de management de la S&ST aux autres processus métiers ;

Aux éventuelles répercussions sur l'orientation stratégique de l'organisme.

La direction doit communiquer les éléments de sortie des revues de direction pertinents aux travailleurs et, quand ils existent, aux représentants des travailleurs.

L'organisme doit conserver des informations documentées comme preuves des éléments de sortie des revues de direction [12].



CHAPITRE IV : APPLICATION :

ETUDE DE MACHINE FCIEP

TIPO B254

IV.1. Méthode de pieu (Choix machine) :

IV.1.1. Définition de pieu :

La méthode PIEU, élaborée par Yves Lavina, vise à évaluer la criticité des équipements à l'aide d'une matrice multicritère basée sur les paramètres des pannes, de l'importance des équipements, de leur état et de leur utilisation. Cette approche s'avère particulièrement pertinente en l'absence de données historiques sur les défauts. Elle se distingue par sa simplicité de mise en œuvre [13].

IV.1. 2.But de Pieu :

L'application de cette méthode permet de définir la criticité des équipements avec une grande précision. Elle repose sur un système de notation utilisant des échelles que des experts élaborent en se fondant sur des critères reflétant les spécificités de leurs secteurs industriels [13].

IV.1.3 Principe de la méthode Pieu :

La méthode PIEU repose fondamentalement sur une évaluation collective d'experts, lesquels s'appuient sur une matrice de cotation. Au sein de celle-ci, ils sont amenés à se prononcer sur quatre domaines relatifs aux spécificités de leurs équipements. Il convient de souligner que cette méthode fut initialement développée à destination des Petites et Moyennes Entreprises (PME), afin de faciliter l'audit de la fonction maintenance. Dans ce contexte, la grille définie par Yves Lavina répond spécifiquement aux préoccupations des ateliers de fabrication, où l'objectif est d'améliorer le Taux de Rendement Global (TRG) par la minimisation des durées d'intervention en maintenance corrective et préventive.

L'application de cette méthode, telle que développée par Yves Lavina, débute par l'évaluation des conséquences des défaillances des équipements, suivie de l'appréciation de l'importance de l'équipement au sein de son contexte opérationnel. Le troisième critère porte sur l'évaluation de l'état des équipements, considéré selon leur phase dans le cycle de vie (phase initiale, phase d'exploitation, fin de vie – incluant la période de vieillissement – ou phase précédant la mise au rebut). Enfin, le dernier critère s'attache aux modalités de leurs sollicitations en conditions opérationnelles [13].

IV.1.4. Méthodologie de travail :

Pour déterminer la criticité des équipements, j'ai appliqué la méthode PIEU, qui vise à identifier les équipements prioritaires pour l'élaboration de la politique métrologique. Cette approche repose sur quatre critères, définis spécifiquement pour chaque équipement.

IV.2. Les critères :

Incidences des pannes (P) :

Cet indice implique les conséquences d'une panne de l'équipement, en tenant compte des impacts techniques, économiques, environnementaux et liés à la sécurité provoqués par l'occurrence d'une défaillance [14].

Importance de l'équipement (I) :

Ce critère reflète la criticité de l'équipement en analysant les répercussions d'une défaillance sur les processus de production [14].

Etat de l'équipement (E) :

Ce paramètre caractérise l'état actuel de l'équipement, en prenant en considération son âge, son niveau d'usure et les conditions de son implantation [14].

Taux d'utilisation (U) :

Cet indicateur mesure le degré d'exploitation de l'équipement, reflétant l'intensité de son utilisation dans les opérations [14].

IV.3. La grille de la méthode PIEU :

La méthode PIEU repose sur quatre paramètres qui, combinés, permettent d'évaluer la criticité de chaque catégorie d'équipement. Ces critères sont pondérés pour chaque type d'appareil à l'aide de coefficients compris entre 0,1 et 3, où 0,1 correspond au paramètre le plus déterminant et 3 au moins critique [15].

Poids				
Critères	0.01	1	2	3
P – Incidence des pannes	Répercussions graves sur l'entité	Répercussions sur la qualité et génération	Corrections Des soins Possibles	Aucune répercussion sur la qualité des soins
I – Importance de l'équipement	Stratégique, pas de délestage sur d'autres équipements, sous traitance impossible	Important pas de délestage possible, sous-traitance possible	Secondaire, délestage possible	Equipement de secours
E – État	À rénover, à réformer	À réviser À	À surveiller	À L'état spécifié
U – Taux d'utilisation	Saturé	Élevé	Moyen	Faible

IV.3.1. Criticité par la méthode PIEU :

Une fois les différents éléments identifiés, il suffit de calculer la criticité de la machine à l'aide de la formule suivante [15] :

$$\text{Criticité de l'équipement} = P \times I \times E \times U$$

Ensuite, nous devons déterminer la classification de vos équipements critiques à l'aide de la règle suivante [15] :

- CR < 1 : très critique
- 1 < CR < 10 : moyennement critique
- CR > 10 : moins critique

IV.4. Application La grille de la méthode PIEU :

Après avoir exposé la méthode PIEU, dont l'objectif est de classifier les équipements en fonction de leur criticité (calculée par la formule $CR = P \times I \times E \times U$), l'étape subséquente consiste en l'évaluation de chacun des critères P, I, E et U pour chaque équipement de l'entreprise étudiée.

Des visites de terrain approfondies et des entretiens menés au sein de ladite entreprise, en collaboration avec le responsable des équipements et le chef du département de maintenance, ont permis de collecter les données nécessaires à l'établissement des matrices PIEU pour chaque équipement.

Nous présentons dans ce qui suit, un extrait de ces tableaux :

Equipement 1 : TIPO B254 FICEP

Les critères	Note
Incidences des pannes (P)	0.01
Importance de l'équipement (I) :	0.01
Etat de l'équipement (E) :	3
Taux d'utilisation (U)	0.01

$$CR = P \times I \times E \times U = 0.01 \times 0.01 \times 3 \times 0.01 = 0.000003 \longrightarrow CR < 1 \longrightarrow \text{très critique}$$

Equipment 2: OXYTOME 40HPC RS

Les critères	Note
Incidences des pannes (P)	1
Importance de l'équipement (I) :	1
Etat de l'équipement (E) :	2
Taux d'utilisation (U)	1

$$CR = P \times I \times E \times U = 1 \times 1 \times 2 \times 1 = 2 \longrightarrow 1 < CR = 2 > 10 \longrightarrow \text{moyennement critique}$$

Equipement 3 : PERCEUSE HORIZONTALE P/CHAINE BOULTONE

Les critères	Note
Incidences des pannes (P)	1
Importance de l'équipement (I) :	2
Etat de l'équipement (E) :	3

CHAPITRE IV :APPLICATION : ETUDE DE MACHINE FCIEP TIPO B254

Taux d'utilisation (U)	2
------------------------	---

CR=P x I x E x U=1×2×3×2=12 → CR>10 → moins critique

Equipement 4: LIBERTY FICEP

Les critères	Note
Incidences des pannes (P)	1
Importance de l'équipement (I) :	2
Etat de l'équipement (E) :	1
Taux d'utilisation (U)	2

CR=P x I x E x U=1×2×1×2=4 → 1<CR>10 → moyennement critique

Equipement 5 : FRAISEUSE ALESEUSE

Les critères	Note
Incidences des pannes (P)	1
Importance de l'équipement (I) :	2
Etat de l'équipement (E) :	1
Taux d'utilisation (U)	3

CR=P x I x E x U=1×2×1×3=6 → 1<CR>10 → moyennement critique

Equipement 6 : TOUR VOSET ALPINE

Les critères	Note
Incidences des pannes (P)	2
Importance de l'équipement (I) :	2
Etat de l'équipement (E) :	3
Taux d'utilisation (U)	2

CR=P x I x E x U=2×2×3×2=24 → CR>10 → moins critique

Conclusion : Nous constatons que la Machine de Tipo B254 FICEP est très critique. Elle fera alors l'objet de notre l'étude.

IV.5. Description de la FICEP TIPO B254

IV.5.1. Introduction :

L'équipement objet de la présente étude est une ligne automatique multifonction (poinçonnage, perçage et découpe thermique), modèle FICEP Tipo B254, actuellement exploitée au sein de l'entreprise PROMECH Annaba. Opérant à près de 100 % de sa capacité nominale, cet équipement se range parmi les machines de grandes dimensions de la gamme proposée par FICEP.

La machine FICEP Tipo B254 est spécifiquement conçue pour le traitement de produits métallurgiques sous forme de tôles, pouvant atteindre une largeur maximale de 3 mètres. Elle se distingue par sa polyvalence et ses performances, notamment grâce à son automatisation intégrale qui favorise une optimisation des opérations de poinçonnage et de découpe thermique. Cette conception répond ainsi aux exigences industrielles en matière de productivité et de précision.



Figure. IV.1 : Représente la machine FICEP TIPO B254

IV.5.2. Caractéristiques de la machine:

Groupe d'alimentation de la barre complet avec :

1. Banc de Chargement à Ripeurs (optionnel).
2. Structure de support motrice avec motrice/pince.
3. Eléments à Rouleaux Fous.

Groupe opérationnel complet avec :

4. Unité de poinçonnage et système de positionnement axes Y et V.
5. Dispositif de changement des outils de poinçonnage
6. Unité de perçage : (optionnelle).
7. Dispositif de changement des outils de perçage (optionnel).
8. Marqueuse à écriture à 38 positions (optionnelle).
9. Magasin d'outils de poinçonnage.
10. Broche (optionnelle).
11. Dispositif d'aspiration des copeaux pour perceuse (optionnel)
12. Unité de coupe au plasma
13. Torche pour oxycoupage (optionnelle)
14. Système d'aspiration des fumées pour l'unité de coupe thermique (Optionnel)
15. Groupe hydraulique.
16. Appareillage électrique.
17. Unité de commande numérique (CNC).

Groupe d'évacuation complet avec :

18. Dispositif de déchargement pièces finies (optionnel).
19. Convoyeur automatique déchets de poinçonnage (optionnel).
20. Convoyeur automatique déchets de coupe thermique (optionnel).
21. Convoyeur automatique pour pièces 500 x 500 (optionnel).
22. Evacuateur de coupeaux pour perceuse (optionnel) [16].

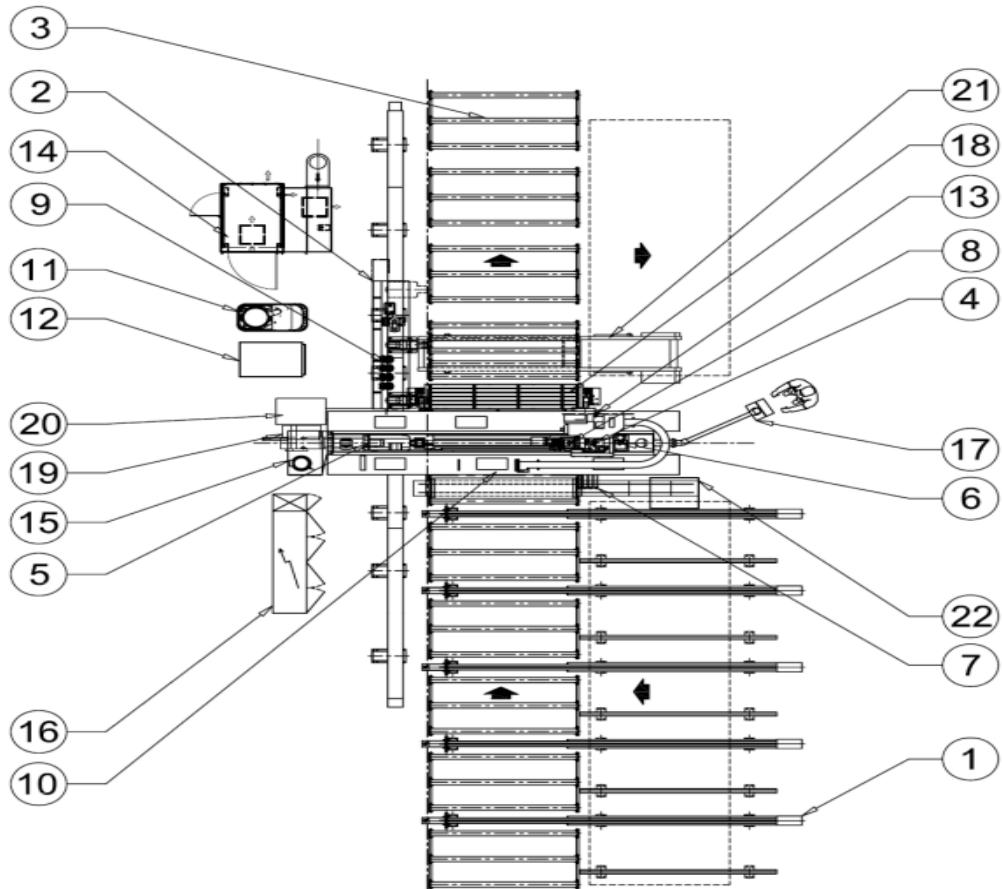


Figure. IV.2 : Dessin de lay-out DES 16934

IV.5.3. Principales caractéristiques techniques:

Caractéristiques de la tôle à l'entrée

Longueur maxi.	10000 mm
Longueur mini.	2500 mm
Largeur maxi.	2540 mm
Largeur mini.	500 mm

Caractéristiques de la pièce à la sortie

Longueur mini.	200 mm
Largeur mini.	150 mm

Capacité de poinçonnage (sur tôles 400N/mm²)

Force de poinçonnage	1000 kN
----------------------	---------

CHAPITRE IV :APPLICATION : ETUDE DE MACHINE FCIEP TIPO B254

Force du dévétisseur	100 kN
Diamètre maxi. trou de déchargement pendant poinçonnage	100 mm
Diamètre maxi de poinçonnage sur 20 mm	38 mm

Note : L'épaisseur maximale de la tôle pouvant être poinçonnée, en relation avec le diamètre du poinçon, ne doit pas excéder les 4/5 de ce diamètre.

Tout dépassement de ces limites peut entraîner la rupture du poinçon en raison de contraintes excessives en compression, en flexion ou dues à un chargement ponctuel [16].

Autres caractéristiques

Epaisseur tôle mini.	5 mm
Épaisseur de la tôle maxi avec poinçonnage	25 mm
Épaisseur maximum de la tôle avec coupe thermique HPR260XD	
❖ Découpe pleine tôle	38mm
❖ Bord de tôle	64mm
Épaisseur de la tôle maxi avec perçage (optionnelle)	100 mm
Poids maxi. Positionnable (masse)	5000 kg
Poids linéaire maxi. de la tôle	750 kg/m
Vitesse maxi. Translation longitudinale	30 m/min
Vitesse de positionnement transversale	40 m/min
Hauteur de travail	1100 mm

Note : La tôle brute destinée à être utilisée sur cette installation doit être conforme aux normes suivantes [16] :

Conditions techniques de livraison : UNI EN 10025

Tolérances dimensionnelles : UNI EN 10029

IV.5.4 Description de la machine:

IV.5.4.1. Banc de Chargement à Ripeurs :

Banc de chargement à ripeurs pour tôle (commande en manuel) sur la voie à rouleaux en entrée.

Configuration selon lay-out.

IV.5.4.2 Structure de Support de la Motrice Porte-Pinces :

La structure de support de la motrice porte-pince est conçue pour faciliter le déplacement des tôles. Cette structure est équipée de glissières prismatiques et d'une crémaillère, livrée complète. La motrice porte-pince est dotée de pinces à commande hydraulique, permettant un positionnement longitudinal précis contrôlé par la commande numérique par calculateur (CNC). La table mobile, actionnée par un motoréducteur de haute précision, intègre deux pinces hydrauliques robustes destinées au maintien de la tôle, ainsi qu'un magasin de quatre positions pour les outils de poinçonnage [16].

IV.5.4.3. Eléments à Rouleaux Fous :

Un ensemble de rouleaux libres est conçu pour soutenir la tôle, disposés de manière à permettre, si nécessaire, l'intégration de bancs transversaux de chargement [16].

IV.5.4.4. Unité de poinçonnage :

IV.5.4.4.1. Unité de poinçonnage :

L'unité de poinçonnage oléo hydraulique est équipée d'un vérin hydraulique spécialement conçu pour intégrer un mécanisme de blocage hydraulique du poinçon ainsi qu'un dévétisseur/éjecteur réactif doté d'un système de verrouillage automatique. Le positionnement de la tête de poinçonnage, de la torche, et, le cas échéant, de l'unité de perçage et de marquage, selon les axes Y et V, est assuré par un système à pignon et crémaillère entraîné par un servomoteur [16].

IV.5.4.4.2. Poinçons et matrices :

Pour l'unité de poinçonnage, deux séries de poinçons sont prévues, caractérisées par des dimensions et des capacités de travail distinctes [16].

- Poinçons type B (longs) = capacité Ø6 – Ø46 - épaisseur maxi. 20 mm
- Poinçons type C (courts) = capacité Ø5 – Ø100 - épaisseur maxi. 25 mm

Jeu poinçon/matrice

Afin d'éviter une surcharge des outils de poinçonnage, il est recommandé de limiter l'épaisseur du matériau (S) à poinçonner à un maximum de 4/5 du diamètre de l'outil. De plus, il est

conseillé d'utiliser des aciers présentant une résistance à la traction (RM) comprise entre 400 et 500 N/mm².

Pour déterminer le jeu optimal (G) entre la matrice et le poinçon, il est impératif de prendre en compte l'épaisseur du matériau (S) ainsi que sa résistance à la traction (RM). Aucune formule universelle ni tableau standardisé n'existe pour définir ce jeu. Le jeu approprié est celui qui permet d'éviter l'apparition de doubles fractures, de déformations plastiques excessives ou de bavures [16].

Le tableau suivant donne une indication générale.

TYPE DE MATERIEL	% JEU TOTAL	
	Mini.	Maxi.
ACIER DOUX	10	21
ACIER RM 520	12	25

IV.5.4.5. Dispositif de changement des outils de poinçonnage :

Le remplacement des outils de poinçonnage, comprenant le poinçon, le dévêtisseur, le porte-matrice et la matrice, est effectué de manière automatisée à l'aide d'un dispositif porte-outils. Ce système réalise le déplacement des outils depuis une table mobile, préalablement chargée manuellement par l'opérateur, vers la tête de poinçonnage et le groupe porte-matrice, par le biais de deux mouvements distincts : un déplacement vertical et un déplacement transversal.

La sélection des porte-outils est entièrement automatisée et contrôlée par la commande numérique par calculateur (CNC). Le dispositif de changement d'outils est équipé de deux porte-outils, chacun intégrant un poinçon, une matrice correspondante et l'ensemble des éléments nécessaires à leur fonctionnement, avec des diamètres à définir selon les spécifications requises.

Ce dispositif peut être installé manuellement depuis l'extérieur de la machine, sans nécessiter de pré-alignement spécifique, celui-ci étant assuré automatiquement par la machine elle-même, conformément à la référence [16].

IV.5.4.6. Unité de perçage :

La tête verticale à une broche, intégrée à l'unité de poinçonnage, est positionnée sur l'axe Y transversal, contrôlé par la commande numérique par calculateur (CNC). Cette configuration

CHAPITRE IV :APPLICATION : ETUDE DE MACHINE FCIEP TIPO B254

garantit un alignement précis avec l'unité de poinçonnage. Les caractéristiques techniques de cette tête sont les suivantes :

Dimensions de raccordement de la broche	ISO 45
Puissance du moteur de la broche (S6 50%)	20.1 kW
Vitesse broche réglable en continu par programme	180 - 4000 RPM
Diamètre de perçage	5 – 40 mm
Opérations de taraudage : dès	M6 à M33
Diamètre d'alésage	5 – 40 mm

La tête de perçage est complète de :

- Système de positionnement équipé d'une vis à billes et d'un servomoteur commandé par la CNC.
- Un système de lubroréfrigération interne et externe du foret, à commande pneumatique.
- Un système de blocage en proximité de la broche à fonctionnement automatique (Blocage du matériau en usinage).
- Outil pour opérations d'écriture en automatique « SCRIBING » qui utilise l'unité de perçage. Ce dispositif est fourni avec un outil spécial et un système auto-adaptateur qui est automatiquement ajusté en fonction de la déformation du matériau [16].

IV.5.4.7. Dispositif de changement des outils de perçage :

1 dispositif de changement des outils pour la tête de perçage, ayant les caractéristiques suivantes :

- Dimensions branchement porte-outils ISO 45
- Nombre de porte-outils à insérer n. 4

L'insertion et le retrait de l'outil, ainsi que le choix de l'outil, sont effectués automatiquement par le biais du CNC.

IV.5.4.8. Marqueuse à écriture à 38 positions :

L'unité de marquage à écriture est conçue pour effectuer des inscriptions sur la surface supérieure de la tôle. Cette unité est positionnée transversalement en exploitant l'axe Y, contrôlé par la commande numérique par calculateur (CNC).

La marqueuse est équipée d'un disque porte-caractères, dont la rotation est précisément régulée par un servomoteur piloté par la CNC, garantissant une sélection accurate des caractères.

Le cycle de marquage est sélectionné automatiquement par la CNC et s'effectue en utilisant l'axe X de la ligne, dans le sens longitudinal, comme indiqué dans la référence [16].

Positions de marquage	n. 38
Dimensions lettre/chiffre	16 x 8 mm
Force de marquage (sur chaque caractère)	80 KN
Type de lettre / numéro	A30492

IV.5.4.9. Magasin d'outils de poinçonnage :

Magasin d'outils de poinçonnage à 4 positions.

La sélection des cartouches, ainsi que leur insertion et retrait, sont effectués automatiquement par la CNC.

IV.5.4.10. Dispositif de nettoyage des copeaux avec brosse:

Le dispositif rotatif, équipé d'une brosse en acier, est conçu pour collecter les copeaux situés sur les bords de la tôle. Activé automatiquement par la commande numérique par calculateur (CNC), ce système permet de diriger les copeaux vers un caisson de collecte (non inclus dans la fourniture) positionné au sol.

En outre, le dispositif est compatible avec un système d'évacuation automatique des copeaux, pouvant être intégré en remplacement du caisson de collecte, conformément à l'option correspondante décrite dans la référence [16].

IV.5.4.11. Système d'aspiration des copeaux de perçage:

Le dispositif d'aspiration est conçu pour collecter les copeaux de petites dimensions générés lors des opérations de perçage, en les acheminant vers un caisson de collecte spécifiquement

adapté. Pour garantir l'efficacité de ce système, l'utilisation d'outils et de paramètres de coupe appropriés est requise.

Remarque : Ce dispositif est proposé en alternative au système de nettoyage des copeaux par brosse rotative et au dispositif d'évacuation correspondant [16].

IV.5.4.12. Unité de coupe au plasma :

Le système de coupe au plasma pour tôles est équipé d'une torche montée sur un support dédié, directement couplé à l'unité de poinçonnage. Ce système intègre une unité Hypertherm complète, comprenant un circuit de refroidissement et un dispositif de contrôle en hauteur de la torche, assurant des performances optimales.

La torche opère sur le côté opposé de la structure, correspondant à la zone de sortie. Son positionnement transversal est assuré par l'axe de l'unité de poinçonnage, tandis que le réglage vertical est effectué par un dispositif de stand-off piloté par la commande numérique par calculateur (CNC), conformément à la référence [16].

IV.5.4.13. Torche pour oxycoupage:

Le système d'oxycoupage est équipé d'une torche dotée d'un dispositif de contrôle de distance (« stand-off ») et d'un panneau de commande dédié au réglage des flux de gaz, garantissant une précision optimale des opérations de coupe.

La torche est positionnée transversalement en exploitant l'axe de l'unité de poinçonnage, tandis que son réglage vertical est assuré par un dispositif de « stand-off » piloté par la commande numérique par calculateur (CNC).

IV.5.4.14. Système d'aspiration des fumées pour l'unité de coupe thermique:

Système d'aspiration complet avec filtre pour la zone inférieure de la surface d'usinage de la torche.

IV.5.4.15. Installation hydraulique :

Pression de service	300 bar
Capacité du réservoir du groupe hydraulique	200 litres
Echangeur	air/huile
Quantité d'huile pour le remplissage du circuit	~330 litres

de la machine

IV.5.4.16. Installation pneumatique :

Pression de service :

Mini. 6 bar

Maxi. 8 bar

IV.5.4.17. Installation électrique :

Ligne principale à courant alternatif

Type	triphasé
Tension	400 volt $\pm 10\%$
Fréquence	50 Hz
Puissance installée	80 kW
Caractéristiques de branchement	
Nombre des conducteurs et type	trois + ter

IV.5.4.18. Unité de commande numérique (CNC) :

L'unité de commande de nouvelle génération, basée sur la technologie de bus CANopen, permet un contrôle précis des axes de la machine. La commande numérique par calculateur (CNC) est intégrée dans un panneau de commande pivotant, conçu pour offrir à l'opérateur une visibilité optimale de la machine pendant son fonctionnement.

Toutes les cartes d'entrées et de sorties sont connectées au bus CANopen et, lorsque cela est réalisable, directement installées sur la machine afin d'optimiser l'intégration et la maintenance. Le panneau de contrôle est constitué d'un ordinateur individuel (PC) équipé de la fiche de contrôle numérique, conformément à la référence [16].

Caractéristiques :

Programmation

- Saisie de données simplifiée (avec tableaux et images des pièces traitées à l'écran)
- Valeurs absolues et incrémentielles

- Programmation selon diamètres
- Programmation linéaire, matricielle, par face

Elaboration

- Affectation automatique de l'outil
- Compensation de l'unité
- Ordonnancement des cotes

Exécution

- Arrêt automatique du cycle pour modification des paramètres et indication des outils à remplacer à l'écran.
- Tableau des paramètres de perçage

Toutes les indications sont clairement affichées à l'écran et concernent :

- Indication du programme actuel, avec description claire du programme en cours d'exécution
- Alarmes internes et externes de la CNC
- Enregistrement de la date et de l'heure des derniers 100 messages d'alarme
- Messages de diagnostic destinés à l'opérateur.

La machine est conçue pour recevoir des programmes au format .FNC via un progiciel optionnel, spécifiquement développé pour optimiser le « nesting » des programmes relatifs à l'agencement des pièces sur la tôle. Ce progiciel permet l'importation de données directement depuis des logiciels de conception assistée par ordinateur (CAD) ou d'autres progiciels spécialisés, selon les spécifications indiquées dans la référence [16].

IV.5.4.19. Dispositif de déchargement pièces finies (optionnel) :

Dispositif spécial, basculant, à rouleaux fous pour le déchargement frontal (en dessous de la table à la sortie) des pièces usinées, avec les dimensions suivantes :

Dimension pièce mini. 150 x 200 mm

Dimension pièce maxi. 500 x 500 mm

IV.5.4.20. Convoyeur automatique déchets de poinçonnage :

Le convoyeur automatique est conçu pour transporter les résidus issus des opérations de poinçonnage à l'extérieur de la machine, facilitant ainsi les processus de décharge et de gestion des déchets.

IV.5.4.21. Convoyeur automatique déchets de coupe thermique :

Le convoyeur automatique est conçu pour extraire et transporter à l'extérieur de la machine l'ensemble des résidus générés par les opérations de coupe thermique, simplifiant ainsi le processus de décharge et de gestion des déchets.

IV.5.4.21. Convoyeur automatique pour pièces 500 x 500 :

Ce convoyeur automatique permet de déplacer au-dehors de la machine les pièces avec dimension maxi 500 x 500 mm (poids maxi. 50 Kg), afin de permettre un décharge plus facile dans un caisson [16].

IV.5.4.22. Evacuateur de copeaux pour perceuse :

L'évacuateur de copeaux, conçu pour l'unité de perçage, est équipé d'un moteur dédié et permet le déchargement des copeaux produits lors des opérations de perçage dans un caisson positionné au sol.

Remarque : L'utilisation de cet évacuateur nécessite obligatoirement la fourniture du dispositif de nettoyage des copeaux équipé d'une brosse, conformément à l'option correspondante.

IV.5.5. Axes contrôlés :

Les axes contrôlés par la CNC sont les suivants :

Positionnement longitudinal	axe AXX
Positionnement transversal outils	axe AXY
Positionnement transversal porte-matrices	axe AXV
Positionnement vertical outils de coupe	axe AXZ
Positionnement vertical poinçons	axe APZ
Avancement perceuse	axe AXC optionnel

Positionnement broche de la perceuse	axe MDV optionnel
Rotation disque porte caractères marqueuse	axe ADM optionnel

IV.5.6. Précision du Système :

Axe AXX +/- 0.1 mm

Axe AXY +/- 0.1 mm

Axe AXZ +/- 0.1 mm

Axe AXC +/- 0.1 mm

Précision de positionnement (*)

Entre trous d'un même groupe +/- 0.2 mm.

Entre groupe des trous placés à la distance L

(mesurée en mètres) $\pm 0.2 + (L \times 0.1)$ mm

Les tolérances mentionnées ci-dessus ne sont valides qu'à condition que la machine soit correctement réglée et que les outils soient affûtés et montés de manière adéquate.

Elles ne tiennent pas compte des éventuelles déformations technologiques du matériau, susceptibles d'être induites par l'échauffement de la pièce au cours des opérations de coupe et de poinçonnage [16].

IV.6. Application de l'analyse fonctionnelle à machine FICEP TIPO B254 :

IV.6.1. Introduction :

Les outils ont été expliqués dans le chapitre un, nous allons les mettre en pratique.

IV.6.2. Analyse fonctionnelle externe :

IV.6.2.1. Diagramme Bête Corne :

À qui rend service? : Opérateur

Sur quoi agit-il? : Tôles métalliques brutes

Dans quel but? : Permettre à l'opérateur de transformer des tôles métalliques brutes en pièces finies selon un programme (via poinçonnage et/ou coupe thermique)

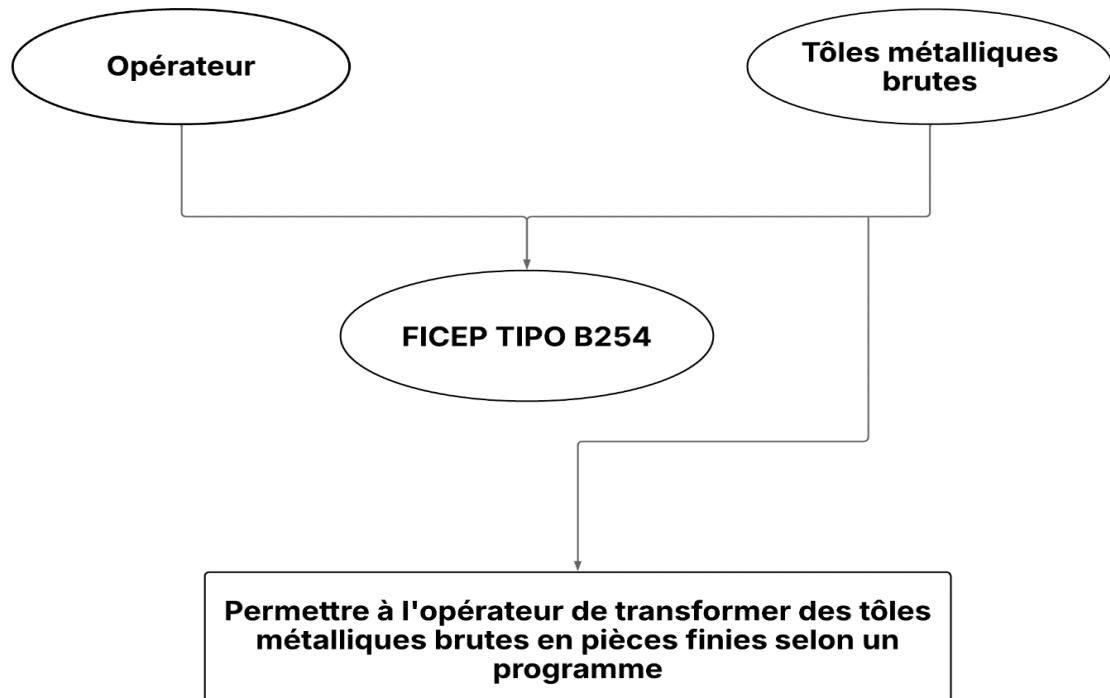


Figure. IV.3 : Application de Diagramme Bête Corne

IV.6.2.2. Diagramme Pieuvre :

- Les Fonctions :**

FP : Permettre à l'opérateur de transformer des tôles métalliques brutes en pièces finies selon un programme (via poinçonnage et/ou coupe thermique).

FC1 : Permettre à l'opérateur de commander, programmer, superviser et maintenir la machine en sécurité.

CHAPITRE IV : APPLICATION : ETUDE DE MACHINE FCIEP TIPO B254

FC2 : Recevoir, positionner et maintenir les tôles métalliques brutes.

FC3 : Permettre l'évacuation des pièces finies.

FC4 : Permettre l'évacuation des copeaux et scories.

FC5 : Utiliser efficacement l'énergie électrique, l'air comprimé, le fluide hydraulique et les gaz de coupe.

FC6 : Interpréter et exécuter les instructions du programme CNC avec précision.

FC7 : Résister et s'adapter aux conditions environnementales et être stable sur son support.

FC8 : Respecter les normes de sécurité et de fabrication en vigueur.

FC9 : Faciliter les opérations de maintenance préventive et corrective.

FC10 : Utiliser et gérer l'outillage (poinçons, matrices, consommables de coupe) nécessaire au processus.

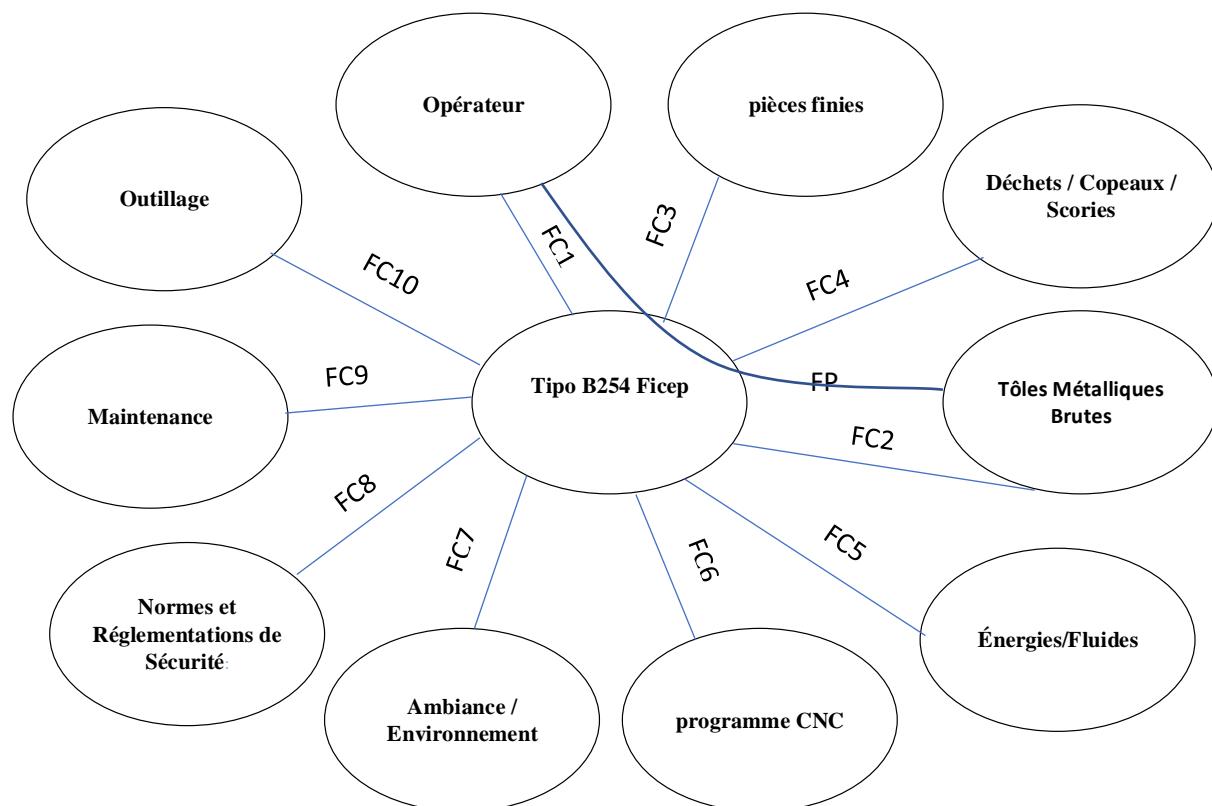


Figure. IV.4 : Application de Diagramme Pieuvre

IV.6.3. Analyse fonctionnelle Interne :

IV.6.3.1. Diagramme FAST :

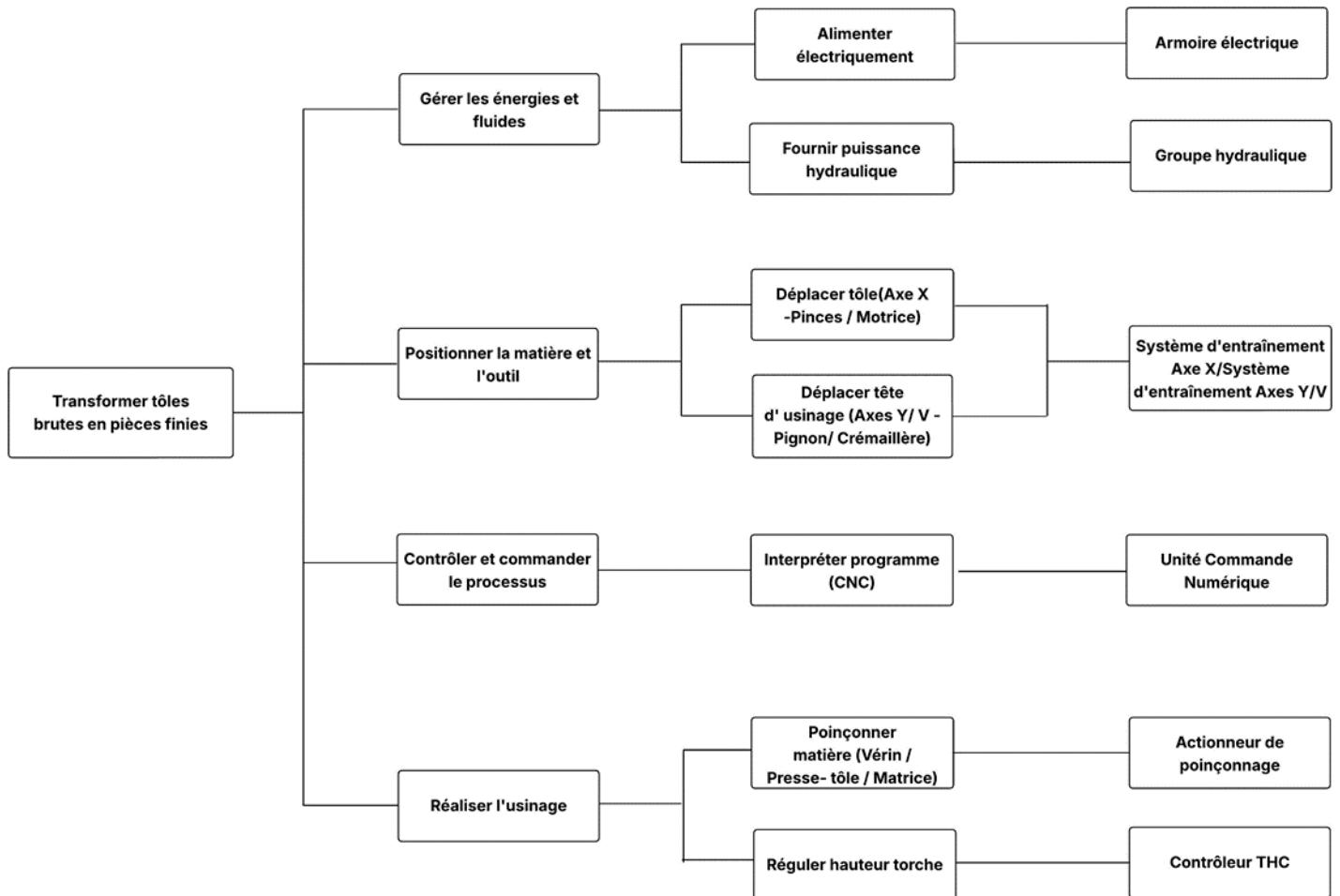


Figure. IV.5 : Application de Diagramme FAST

IV.6.3.2. Diagramme SADT :

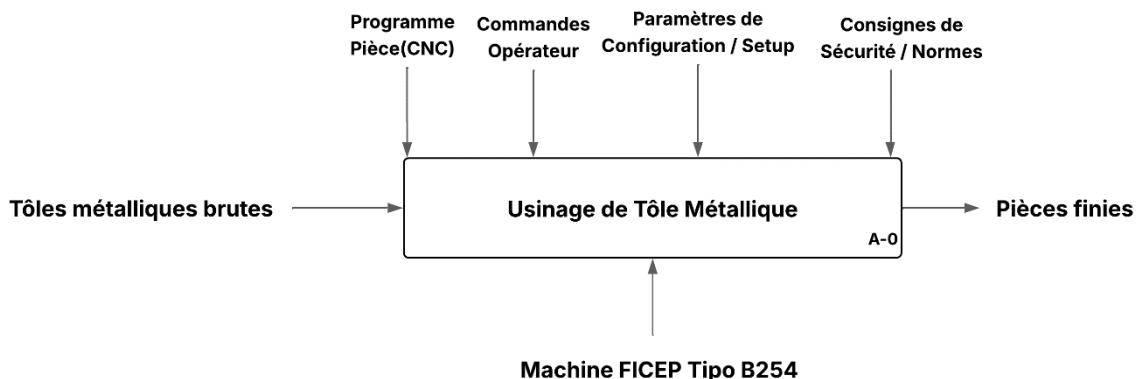


Figure. IV.6 : Application de Diagramme SADT de niveau A-0

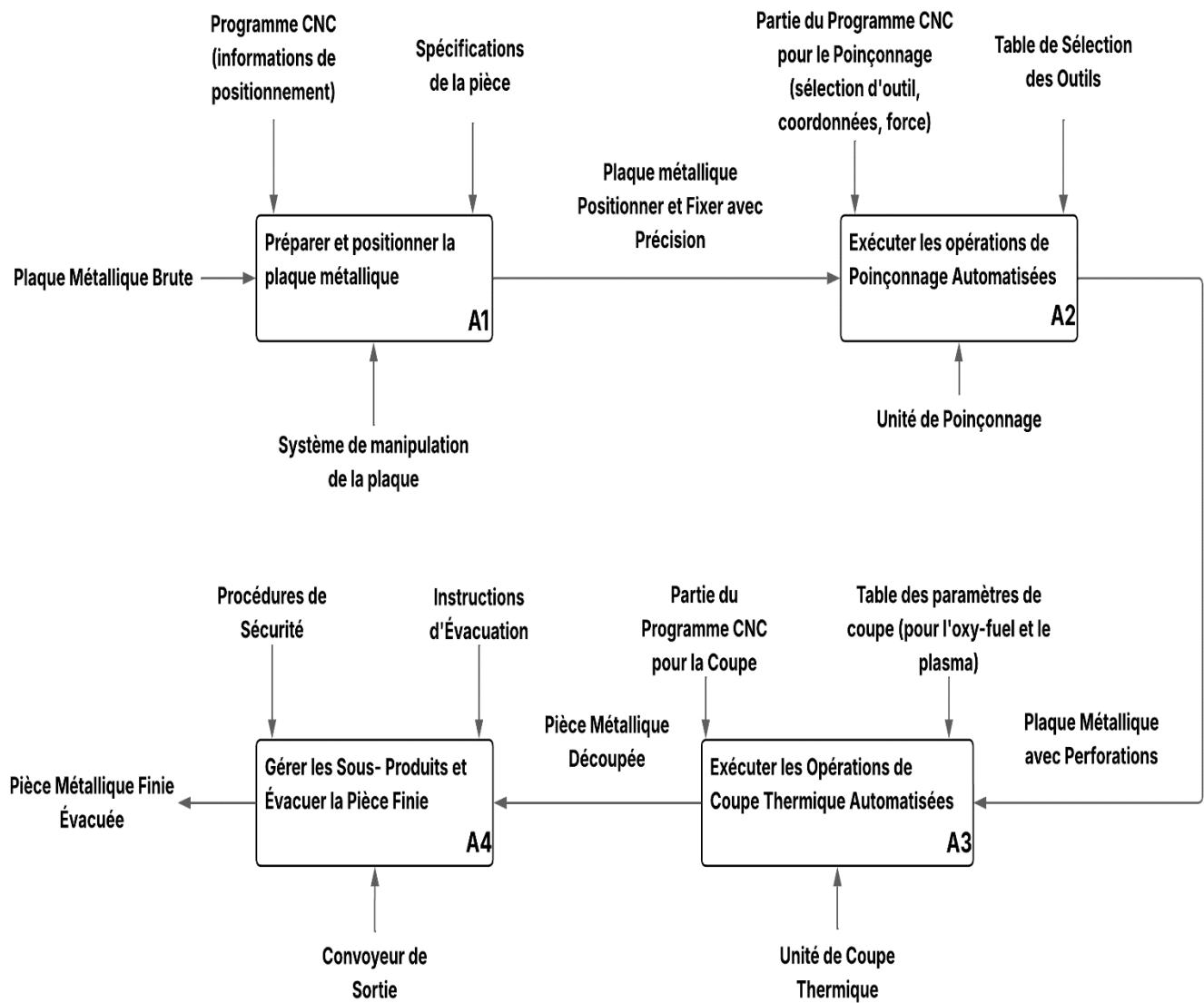


Figure. IV.7 : Application de Diagramme SADT

IV.7. Etude FMDS de la machine :

IV.7.1. Historique des pannes du TIPO B254 FICEP :

L'historique des pannes de la machine FICEP TIPO B254 pour l'année 2024 est utilisé pour réaliser une étude FMD (fiabilité, maintenabilité, disponibilité) afin de déterminer l'état de la machine.

N°	Type de maintenance	Travaux à effectuer	Date début d'arrêt	Date de fin d'arrêt	Temps d'intervention	Temps d'arrêt	TBF
1	Corrective	Changement d'une fin de course défectueux	14/01/2024 10:00	14/01/2024 14:00	03:00	04 :00	125.30
2	Corrective	Programmation	04/02/2024 12:00	04/02/2024 14:30	01:30	02 :30	177.30
3	Corrective	Réglage de la matrice et paramétrage des forets	06/03/2024 08:30	06/03/2024 12:30	02:00	04 :00	132.30
4	Corrective	Programmation CNC	31/03/2024 09:30	31/03/2024 11:30	01:00	02 :00	54
5	Préventive	Graissage porte-outil	16/04/2024 10:00	16/04/2024 12:00	01:00	02 :00	133.30
6	Corrective	Réparation de la fin de course de la table	09/05/2024 10:00	09/05/2024 12:00	01:00	02 :00	85.30
7	Corrective	Alignement de la matrice	26/05/2024 10:00	26/05/2024 11:30	01:00	01 :30	110.30
8	Corrective	Réparation électrique	13/06/2024 10:30	13/06/2024 12:00	01:00	01 :30	29
9	Préventive	Changement anti-retour oxygène	24/06/2024 10:30	24/06/2024 12:30	01:30	02 :00	72
10	Corrective	Réglage de la table	08/07/2024 13:00	08/07/2024 15:00	01:00	02 :00	50.30
11	Corrective	Réglage des galets	18/07/2024 10:30	18/07/2024 12:00	01:00	01.30	349.30
12	Corrective	Réglage fin de course de la table	10/09/2024 10:30	10/09/2024 12:00	01:00	01 :30	101.30
13	Corrective	Remplacement de capteur	29/09/2024 10:30	29/09/2024 12:00	01:00	01 :30	100.30
14	Corrective	Réglage des glissières	16/10/2024 09:00	16/10/2024 10:30	01:00	01 :30	134
15	Corrective	Graissage porte-outil	10/11/2024 09:00	10/11/2024 10:00	00 :30	01 :00	134.30
16	préventive	Changement anti-retour gaz	03/12/2024 09:00	03/12/2024 11:00	01:00	02 :00	92.45
17	Corrective	Réparation de la fin de course de la table	19/12/2024 08:45	19/12/2024 10:15	1h00	1 :30	

Le traitement des données brutes de l'historique comprend :

- Le calcul du temps de réparation (TTR), obtenu à partir de la différence entre la date de début et la date d'arrêt suite à une panne.
- Le calcul du temps de bon fonctionnement (TBF) correspond à l'intervalle de temps séparant deux pannes consécutives.

IV.7.2. Application du model de WEIBULL :

Le tableau suivant comporte les TBF classés par ordre croissant, et les F(ti) calculés par la méthode des rangs médians $F(ti) = \frac{\sum ni - 0,3}{N + 0,4}$ dans notre cas N = 16 < 20) et on trace la courbe de Weibull

Ordre	TBF (h)	ni	$\sum ni$	F(ti)	F(ti) %	TBF échelle 1/2
1	29	1	1	0,04268	4,26	14,5
2	50,3	1	2	0,10365	10,36	25,15
3	54	1	3	0,16463	16,46	27
4	72	1	4	0,2256	22,56	36
5	85,3	1	5	0,28658	28,65	42,65
6	92,45	1	6	0,34756	34,75	46,225
7	100,3	1	7	0,40853	40,85	50,15
8	101,3	1	8	0,46951	46,95	50,65
9	110,3	1	9	0,53048	53,04	55,15
10	125,3	1	10	0,59146	59,14	62,65
11	132,3	1	11	0,65243	65,24	66,15
12	133,3	1	12	0,71341	71,34	66,65
13	134	1	13	0,77439	77,43	67
14	134,3	1	14	0,83536	83,53	67,15
15	177,3	1	15	0,89634	89,63	88,65
16	349,3	1	16	0,95731	95,73	174,65

Tableau IV.2 : Application du modèle de WEIBULL

IV.7.2.1. Détermination des paramètres de WEIBULL :

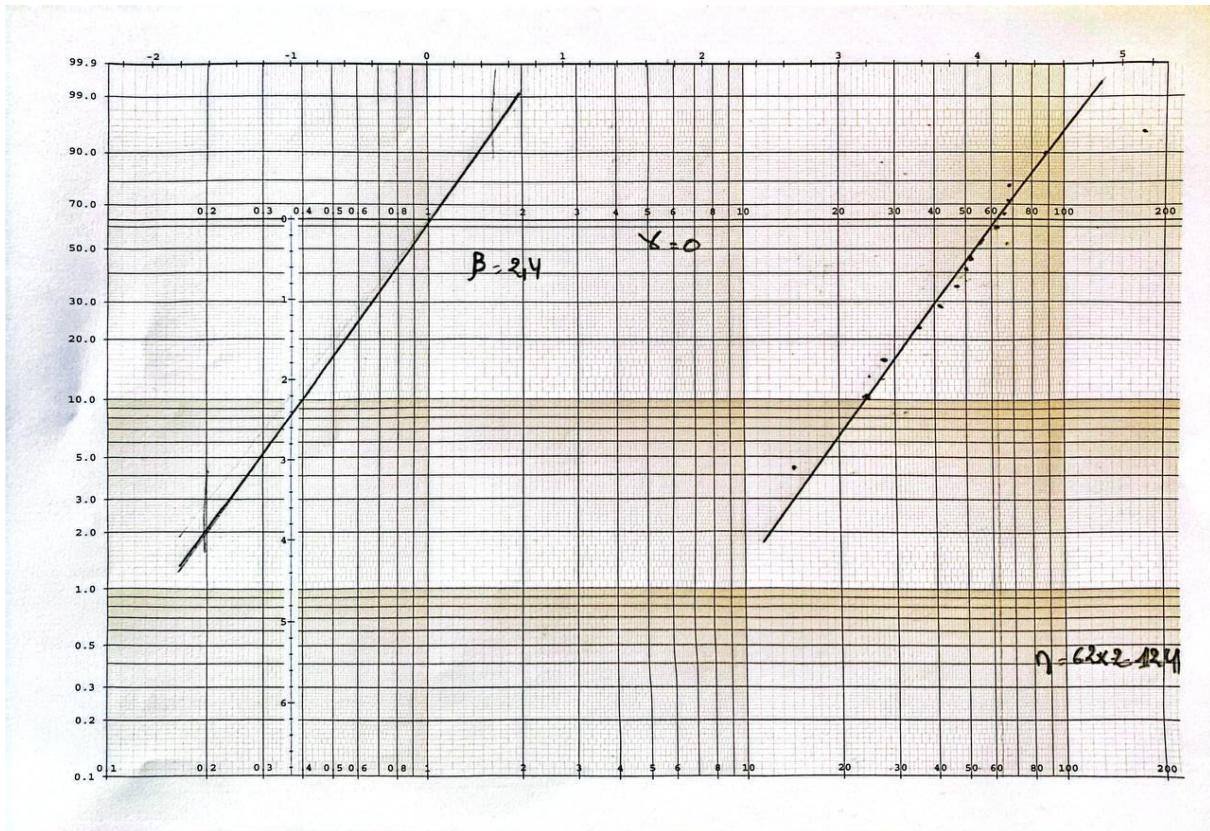


Figure. IV.8 : papier de WeiBull

Définition et explication du modèle WEIBULL à partir du papier d'Alain Plant, on déduit les paramètres :

$\gamma = 0$ (par ce que les pannes passent à l'origine du temps)

$\beta = 2.4$

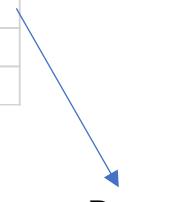
$\eta = 62 \times 2 = 124$ h

IV.7.2.2. Test de KOLMOGOROV-SMIRNOV :

La procédure de ce test implique premièrement le calcul de la différence entre la fonction théorique $f(t_i)$ et la fonction réelle $F_e(t_i)$. Deuxièmement, on détermine la valeur absolue maximale de cet écart, appelée $D_{n,max}$. Troisièmement, cette valeur est mise en regard de $D_{n,\alpha}$ une valeur de référence extraite de la table de Kolmogorov-Smirnov. Finalement, si $D_{n,max}$ excède $D_{n,\alpha}$, on conclut au rejet de l'hypothèse nulle.

order	TBF (h)	F (ti)	Fe (t)	Fe(t) - F(ti)
1	29	0,04268	0,03012	0,01256
2	50,3	0,10365	0,10836	0,00471
3	54	0,16463	0,12715	0,03748
4	72	0,2256	0,23758	0,01198
5	85,3	0,28658	0,33464	0,04806
6	92,45	0,34756	0,38998	0,04242
7	100,3	0,40853	0,45176	0,04323
8	101,3	0,46951	0,45964	0,00987
9	110,3	0,53048	0,530007	0,000473
10	125,3	0,59146	0,64132	0,04986
11	132,3	0,65243	0,68908	0,03665
12	133,3	0,71341	0,69563	0,01778
13	134	0,77439	0,70018	0,07421
14	134,3	0,83536	0,70212	0,13324
15	177,3	0,89634	0,90546	0,00912
16	349,3	0,95731	0,99999	0,04268

Tableau IV.3 : Test de Kolmogorov Smirnov


 D_{n.max}

A partir du calcul en à trouvé : D_{n.max}= 0.13324

- D'après la table de KOLMOKROV-SMIRNOV, et on admet un risque d'erreur $\alpha=5\%$
- $D_{n.\alpha} = D_{16. 0.05} = 0.328$
- $D_{n.max} < D_{n.\alpha} \rightarrow 0.13324 < 0.328 \rightarrow$ Donc le modèle de Weibull est acceptable.

IV.7.2.3 Calcule MTBF :

La MTBF (Mean Time Between Failures) représente la durée moyenne de bon fonctionnement entre deux défaillances successives d'un même composant. Elle se calcule selon la formule suivante :

En utilisant de tableau pour la loi de WEIBULL, qui varient selon la valeur de β

On a déduit → A=0.88623

D'après l'équation : MTBF=A $\eta + \gamma$

On trouve que : MTBF=0.8865× 124+0

$$\text{MTBF}=109.925\text{H}$$

IV.7.3. Etude graphique des fonctions $F(t)$. $f(t)$. $R(t)$:

➤ **Densité de probabilité :**

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

⇒ Application numérique :

$$f(t) = \left(\frac{2.4}{124}\right) \times \left(\frac{t-0}{124}\right)^{2-1} \times e^{-(\frac{t-0}{124})^{2.4}}$$

➤ **Fonction de répartition :**

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

⇒ Application numérique :

$$F(t) = 1 - e^{-(\frac{t-0}{124})^{2.4}}$$

➤ **La fonction fiabilité :**

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

⇒ Application numérique :

$$R(t) = 1 - F(t) = e^{-(\frac{t-0}{124})^{2.4}}$$

Tableau des valeurs de : R (t). F (t). f(t):

order	t(h)	f(t)	R (t)	F (t)
1	8	0,00035	0,998	0,002
2	12	0,00058	0,996	0,004
3	23	0,00117	0,982	0,018
4	36	0,0017	0,949	0,051
5	50	0,00206	0,893	0,107
6	66	0,00223	0,802	0,198
7	78	0,00235	0,719	0,281
8	82	0,00221	0,69	0,31
9	99	0,00207	0,558	0,442
10	110	0,00194	0,472	0,528
11	133	0,00162	0,306	0,694
12	147	0,00142	0,222	0,778
13	160	0,00124	0,158	0,842
14	177	0,00103	0,095	0,905
15	188	0,00091	0,066	0,934
16	200	0,00078	0,042	0,958
17	240	0,00046	0,007	0,993
18	262	0,00034	0,002	0,998
19	280	0,00026	0,0008	0,9992

Tableau IV.4 : Étude de modèle de WEIBULL

A. Graphe de la densité de probabilité f (t) :

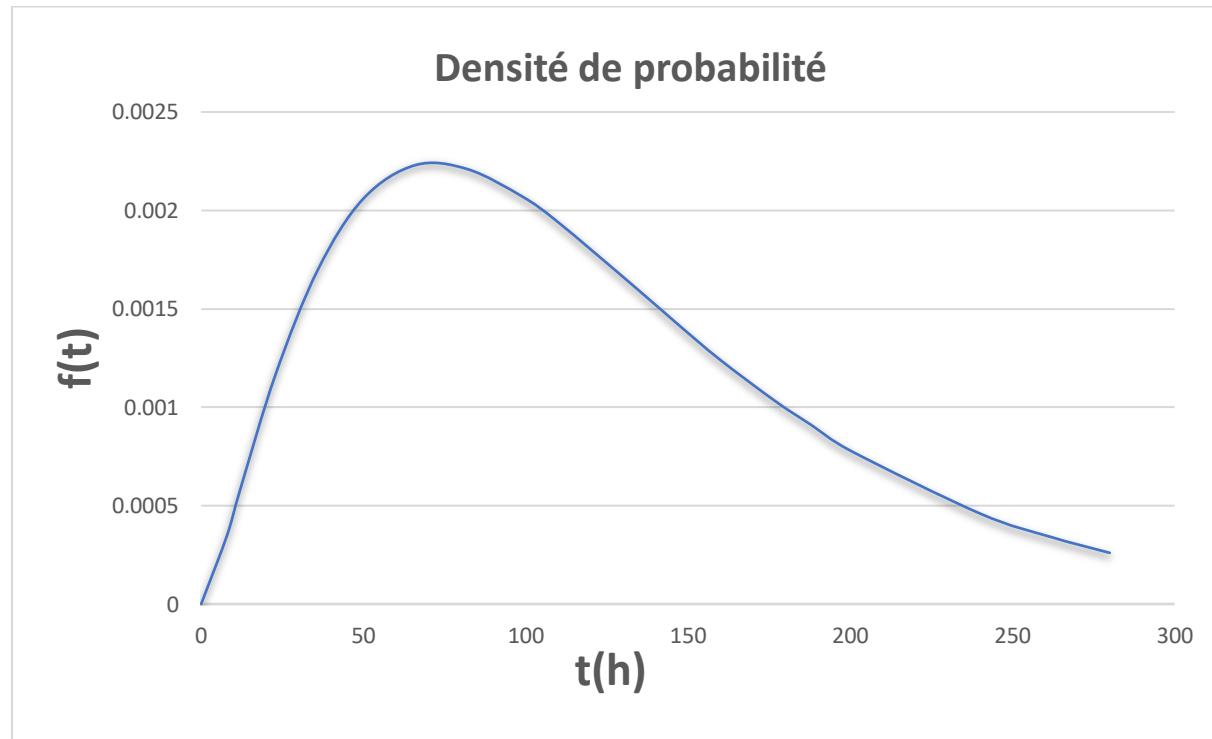


Figure. IV.9 : La Courbe Densité De Probabilité

B. Graphe de la fonction de la Fiabilité $R(t)$:

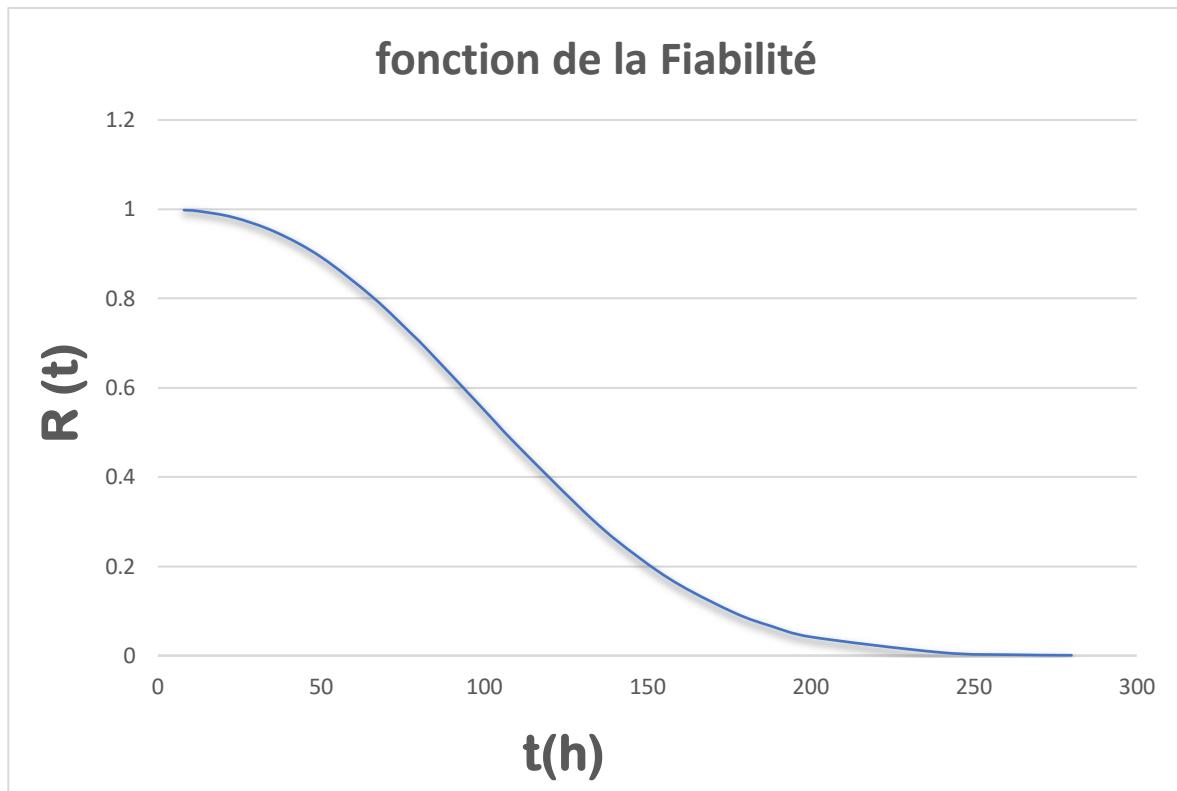


Figure. IV.10 : La Courbe De la Fonction Fiabilité

C. Graphe de la fonction de répartition $F(t)$:

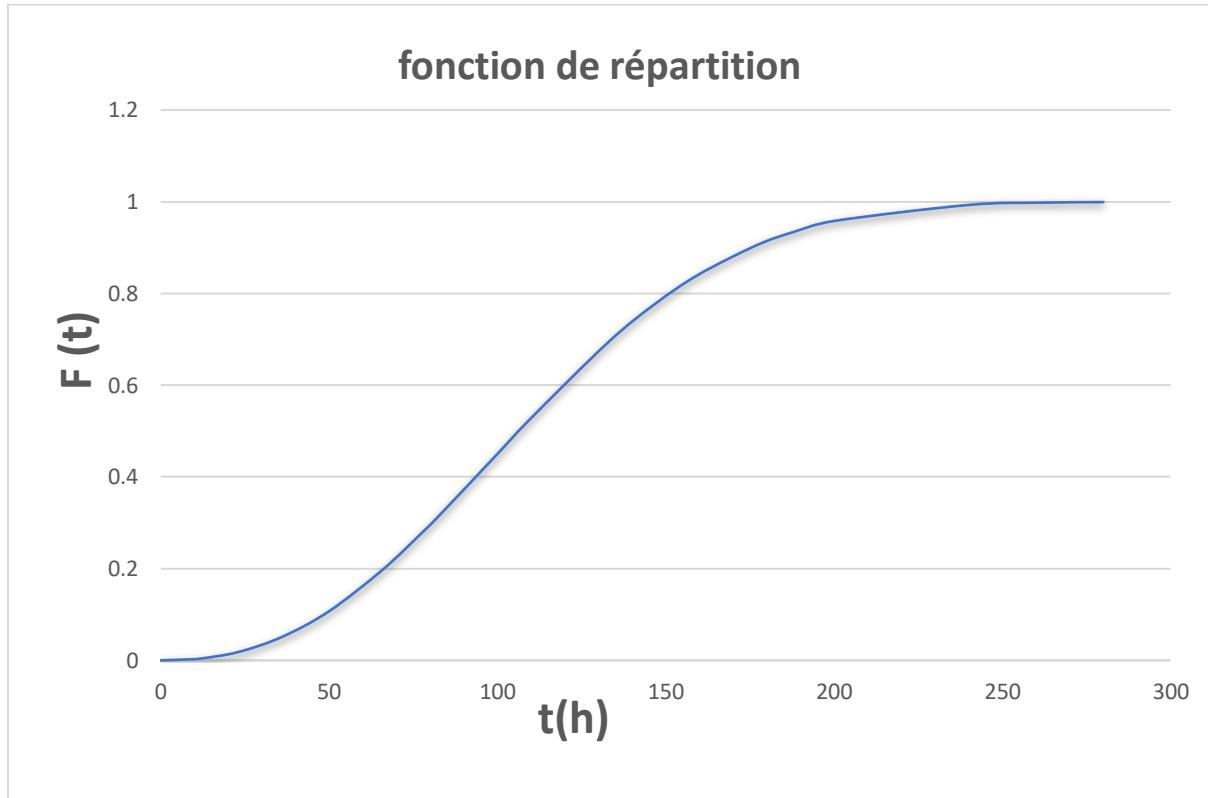


Figure. IV.11 : La Courbe De Fonction Répartition

IV.7.4. Maintenabilité de FICEP TIPO B254 :

IV.7.4.1. Calcul la Maintenabilité de TIPO B254 FICEP :

Selon l'historique des pannes de la machine TIPO B254 FICEP

$$\text{MTTR} = \frac{\sum TTR}{\text{Nombre d'arrêts}}$$

$$\text{MTTR} = \frac{3+1.30+2+1+1+1+1+1.30+1+1+1+1+1+0,30+1+1}{17}$$

$$\text{MTTR} = \frac{19,9}{17}$$

$$\text{MTTR} = 1,17 \text{ H}$$

Pour calculer la Maintenabilité : $M(t) = 1 - e^{-\mu t}$

il faut calculer Taux de réparation (μ) : $\mu = \frac{1}{MTTR}$

$$\mu = \frac{1}{1,17} = 0,85 \text{ int/h}$$

Après le calcul de $\frac{1}{MTTR}$, on doit déterminer la fonction de maintenabilité en fonction du TTR.

Le tableau suivant présente les résultats.

Order	TTR	M (t)	M (t) %
1	01:00	0,572	57,2
2	01:30	0,668	66,8
3	01:30	0,668	66,8
4	01:30	0,668	66,8
5	01:30	0,668	66,8
6	02:00	0,817	81,7
7	02:30	0,858	85,8
8	03:00	0,921	92,1
9	04:00	0,966	96,6
10	05:00	0,985	98,5
11	06:00	0,993	99,3
12	07:00	0,997	99,7
13	08:00	0,998	99,8
14	09:00	0,999	99,9
15	10:30	0,9998	99,98
16	10:45	0,99986	99,986
17	11:00	0,9999	99,99

Tableau IV.5 : La maintenabilité de la FICEP TIPO B254

IV.7.4.1. Courbe de La maintenabilité :

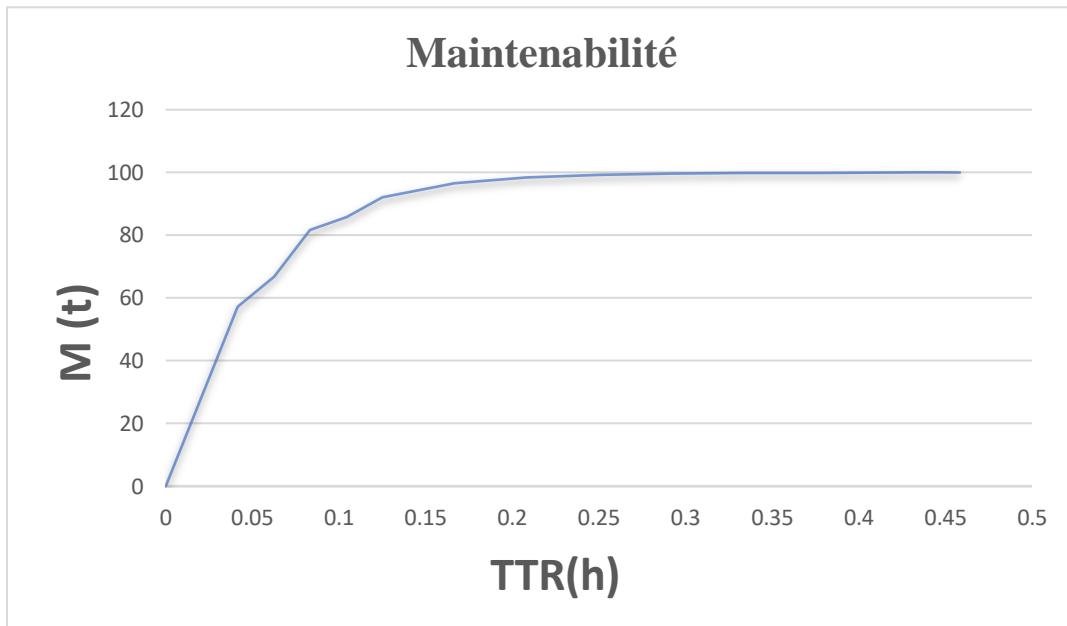


Figure. IV.12 : La Courbe de Maintenabilité

➤ **Analyse de la courbe :**

Comme le montre le graphique, la maintenabilité augmente proportionnellement au temps accordé aux réparations, ce qui est tout à fait logique. Un bon niveau de maintenabilité repose ainsi sur une maintenance préventive appropriée.

IV.7.5. Disponibilité de FICEP TIPO B254 :

IV.7.5.1 Calcul la Disponibilité de TIPO B254 FICEP :

➤ **Disponibilité intrinsèque :**

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

$$D_i = \frac{109,925}{109,925 + 1,17}$$

$$D_i = 0,989$$

➤ **Disponibilité instantanée :**

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

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{1}{MTBF} = \frac{1}{109,925} = 0,0090$$

$$MTTR = \frac{1}{\mu} \Rightarrow \mu = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{1,17} = 0,85$$

$$\lambda + \mu = 0,85 + 0,0090 = 0,859$$

ordere	TBF	D(t)
1	29	0,9895
2	50,3	0,9895
3	54	0,9895
4	72	0,9895
5	85,3	0,9895
6	92,45	0,9895
7	100,3	0,9895
8	101,3	0,9895
9	110,3	0,9895
10	125,3	0,9895
11	132,3	0,9895
12	133,3	0,9895
13	134	0,9895
14	134,3	0,9895
15	177,3	0,9895
16	349,3	0,9895

Tableau IV.6 : La Disponibilité de la FICEP TIPO B254

IV.7.5.2.Courbe de disponibilité :

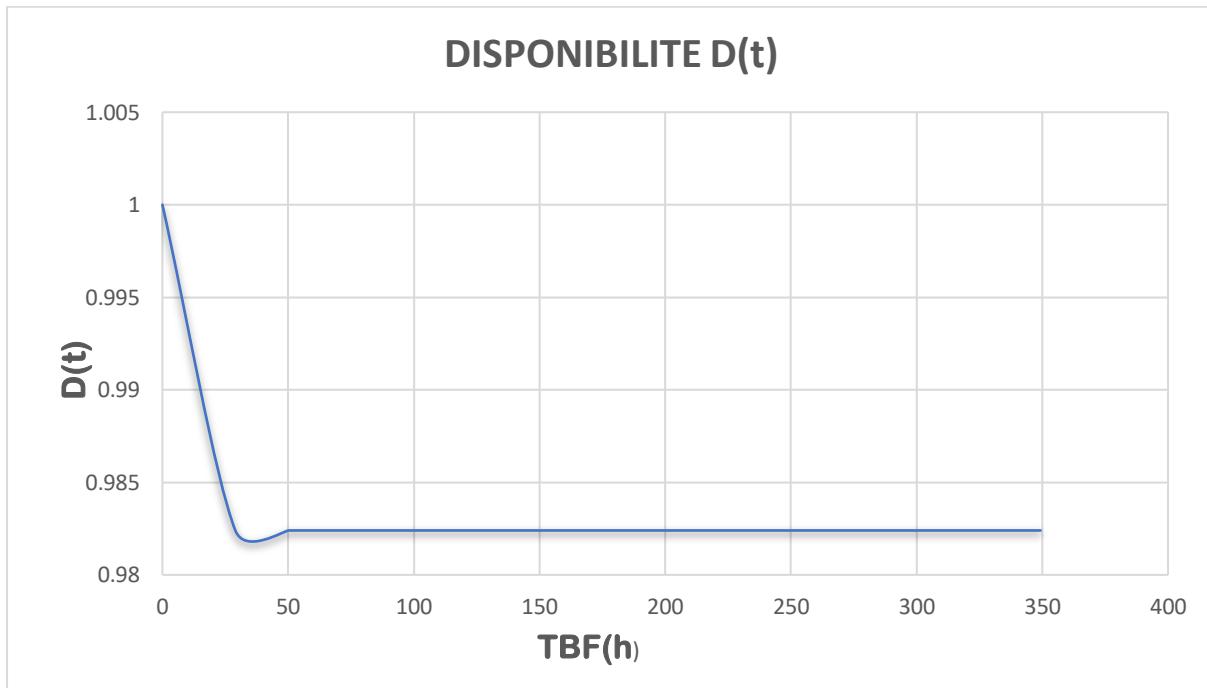


Figure. IV.13 : La Courbe de disponibilité

➤ **Analyse de la courbe :**

La disponibilité de la Tipo B254 FICEP décroît dans le temps. Pour l'améliorer, deux leviers sont essentiels : augmenter la fiabilité (en réduisant les arrêts) et optimiser la maintenabilité (en diminuant les temps d'intervention).

Réellement, on approche la valeur trouvée de la disponibilité asymptotique de 75% à 85% et cela en fonction de la politique de maintenance adoptée dans l'entreprise. Etant donné que la maintenance effectuée est basée sur les aspects correctifs et non préventifs, alors on prendra la limite inférieure (75%). De ce fait, la disponibilité sera de : 74%

IV.8. Suggestions pour améliorer la sûreté de fonctionnement de la machine TIPO B254 FICEP :

IV.8.1. Amélioration de la fiabilité :

IV.8.1.1. Renforcement de la Maintenance Préventive :

- **Plan de maintenance systématique :**

- Augmenter la fréquence des inspections des composants critiques (ex. : poinçons, matrices, capteurs, fins de course, glissières) pour détecter les signes d'usure précoce, notamment en phase de fatigue ($\beta = 2,4$).
- Mettre en place un calendrier de graissage et de vérification des systèmes hydrauliques et pneumatiques (pression de service : 300 bar hydraulique, 6-8 bar pneumatique) pour éviter les défaillances dues aux contraintes mécaniques.

- **Remplacement préventif des pièces critiques :**

- Identifier les composants ayant un taux de dysfonctionnement élevé (ex. : capteurs, vérins) à partir de l'historique des pannes et établir un programme de remplacement systématique avant leur fin de vie prévue.
- Prioriser les poinçons et matrices, en respectant les limites d'épaisseur (4/5 du diamètre du poinçon) pour éviter les ruptures dues à des contraintes excessives.

IV.8.1.2. Amélioration des Composants et de la Conception :

- **Remplacement par des composants plus robustes :**
 - Remplacer les pièces fréquemment défaillantes (ex. : galets, glissières, capteurs) par des versions de meilleure qualité ou adaptées à des environnements industriels exigeants.
 - Collaborer avec **FICEP** pour identifier des matériaux ou conceptions optimisées pour les poinçons type B et C, afin de réduire les risques de rupture sous contraintes de compression ou de flexion.
- **Optimisation du système de coupe thermique :**
 - Installer ou améliorer le **système d'aspiration des fumées** (optionnel) pour minimiser l'accumulation de résidus, qui peuvent affecter la torche plasma/oxycoupage et entraîner des dysfonctionnements.
 - Vérifiez régulièrement l'état de la torche et du circuit de refroidissement Hypertherm pour éviter les surchauffes.
- **Automatisation des réglages :**
 - Intégrer des systèmes automatiques pour le réglage de la table, des galets et des matrices, notamment les erreurs humaines qui augmentent les contraintes sur les composants.

IV.8.1.3. Mise en Place de la Maintenance Prédictive :

- **Surveillance en temps réel :**
 - Installer des capteurs IoT pour surveiller les paramètres critiques (vibrations, température, pression hydraulique, usure des poinçons) et détecter les anomalies avant qu'elles ne provoquent des pannes.
 - Utiliser un tableau de bord connecté pour alerter les opérateurs en cas de dérives (ex. : vibrations excessives sur la broche de perçage).
- **Analyse prédictive des données :**
 - Exploiter l'historique des pannes (via un logiciel de GMAO) pour identifier les tendances et prédire les défauts à l'aide d'algorithmes basés sur le modèle de Weibull.

- Planifier les interventions hors périodes de production pour minimiser les arrêts.

IV.8.1.4. Formation et Sensibilisation des Opérateurs :

- **Formation approfondie :**
 - Former les opérateurs à la programmation CNC et aux bonnes pratiques d'utilisation (ex. : respect des tolérances de tôle, gestion des paramètres de coupe) pour réduire les erreurs de manipulation.
 - Organisateur des séances sur la détection précoce des anomalies (ex. : bruits anormaux, variations de précision) pour signaler les problèmes avant une panne majeure.
- **Sensibilisation aux normes de sécurité :**
 - Renforcer la formation sur les consignes de sécurité (protection de la tête, des yeux, des mains, des pieds) pour éviter les incidents humains qui pourraient endommager la machine (ex. : chute d'outils sur les composants).

IV.8.1.5. Optimisation de la Gestion des Pièces Détachées :

- **Stock stratégique :**
 - Maintenir un inventaire des pièces critiques (ex. : capteurs, poinçons, matrices, joints, vérins) pour réduire les délais d'approvisionnement.
 - Identifiant des fournisseurs locaux pour minimiser les temps d'attente.
- **Standardisation des outils :**
 - Standardiser les poinçons et matrices pour simplifier leur remplacement et réduire les erreurs lors des changements automatiques.

IV.8.1.6. Collaboration avec le Fabricant (FICEP) :

- **Technique de support :**
 - Solliciter **FICEP** pour des mises à jour logicielles de la CNC, afin d'améliorer la précision et de réduire les erreurs de programmation.

- Demander des recommandations spécifiques pour les composants optionnels (ex. : unité de perçage, marqueuse) pour optimiser leur fiabilité.
- **Technique d'audit :**
- Organisateur une inspection conjointe avec FICEP pour évaluer l'état des composants critiques et identifier les améliorations possibles (ex. : renforcement des glissières prismatiques).

IV.8.1.7. Amélioration de la Traçabilité et de l'Analyse des Données :

- **Mise en place d'un GMAO :**
- Utiliser un logiciel de Gestion de Maintenance Assistée par Ordinateur pour enregistrer systématiquement les pannes, les temps d'intervention et les pièces utilisées.
- Analyser ces données pour identifier les composants les plus défaillants et ajuster les stratégies de maintenance.
- **Suivi des indicateurs de fiabilité :**
- Mettre à jour régulièrement le **MTBF** et le **taux de défaillance (λ)** à partir des nouvelles données pour évaluer l'impact des améliorations.

IV.8.1.8. Conformité aux Normes et Sécurité :

- **Application de la norme ISO 45001 :**
- Intégrer les principes d'identification des dangers et de réduction des pour minimiser les incidents liés à la machine (ex. : projections de copeaux, fumées de coupe thermique).
- Mettre en place des barrières de sécurité actives (ex. : capteurs de présence, arrêts d'urgence) pour protéger les opérateurs et éviter les dommages matériels.
- **Audit de sécurité :**
- Effectuer des audits réguliers pour vérifier le respect des consignes de sécurité (ex. : port des EPI, maintenance des systèmes d'aspiration) et identifier les risques résiduels.

IV.8.2. Amélioration de Disponibilité :

IV.8.2.1. Amélioration de la Disponibilité Intrinsèque (Di) :

IV.8.2.1.1. Réduire les pannes (MTBF) :

- **Maintenance préventive renforcée** : Augmenter la fréquence des interventions préventives (graissage, vérification des composants critiques comme les fins de course, les capteurs, etc.) pour éviter les pannes récurrentes.
- **Analyse des causes racines** : Identifier les composants les plus défaillants (ex : table, matrice, capteurs) et les remplacer par des pièces plus robustes ou mieux adaptées
- **Formation des opérateurs** : Sensibiliser les opérateurs aux bonnes pratiques pour réduire les erreurs de manipulation ou de paramétrage.

IV.8.2.1.2. Optimiser les temps de réparation (MTTR) :

- **Stocker les pièces critiques** : Avoir un stock suffisant de pièces souvent remplacées (capteurs etc.) pour minimiser les délais d'intervention.
- **Documentation des procédures** : Créer des guides standardisés pour les réparations courantes afin de réduire le temps de diagnostic et d'intervention.
- **Formation des techniciens** : Améliorer les compétences des équipes de maintenance pour qu'elles puissent intervenir plus rapidement et efficacement.

IV.8.2.2. Amélioration de la Disponibilité Instantanée D(t) :

IV.8.2.2.1. Optimiser le taux de réparation (μ) :

- **Interventions rapides** : Mettre en place un système de surveillance en temps réel (capteurs IoT) pour détecter les anomalies avant qu'elles ne provoquent des arrêts.
- **Maintenance prédictive** : Utiliser des outils d'analyse des données (vibrations, température, etc.) pour anticiper les défaillances et planifier les interventions hors des périodes de production.

IV.8.2.2.2. Réduire le taux de défaillance (λ) :

- **Amélioration des composants** : Remplacer les éléments souvent défaillants par des versions plus durables (ex : galets, glissières).
- **Automatisation des réglages** : Intégrer des systèmes automatiques pour les réglages fréquents (ex : table, matrice) afin de réduire les erreurs humaines.

IV.8.2.3. Actions complémentaires :

IV.8.2.3.1. Suivi et analyse continue :

- Enregistrer et analyser systématiquement les données de pannes pour identifier les tendances et ajuster les stratégies de maintenance.

IV.8.2.3.2. Collaboration avec le fabricant :

- Travailler avec FICEP pour obtenir des recommandations spécifiques à la machine et des mises à jour logicielles (ex : programmation CNC).

IV.8.3. Amélioration de maintenabilité :

IV.8.3.1. Réduire le MTTR (Mean Time To Repair):

Le MTTR actuel est de 1,17 heure, ce qui peut encore être optimisé.

— Standardiser les procédures de réparation :

- Créer des fiches d'intervention détaillées pour les pannes fréquentes (ex : réglage de la table, remplacement des capteurs, graissage).
- Inclure des schémas, photos et étapes clés pour accélérer le diagnostic.

— Améliorer l'accessibilité des composants critiques :

- Vérifier si certains éléments (ex : capteurs, fins de course) sont difficiles d'accès et proposer des modifications mécaniques pour faciliter leur remplacement.
- Utiliser des connexions rapides (ex : connecteurs électriques modulaires) pour réduire les temps de démontage.

— Optimiser la gestion des pièces détachées :

- Maintenir un stock stratégique des pièces les plus souvent remplacées (ex : capteurs, vérins, joints).
- Identifier les fournisseurs locaux pour réduire les délais d'approvisionnement.

— Former les équipes de maintenance :

- Organiser des formations pratiques sur les pannes récurrentes (ex : programmation CNC, réglage des glissières).
- Mettre en place des simulations de panne pour améliorer les réflexes d'intervention.

IV.8.3.2. Mettre en place une maintenance prédictive :

Plutôt que d'attendre une panne, il est possible d'anticiper les défaillances pour réduire les temps d'intervention.

— Surveillance en temps réel

- Installer des capteurs IoT (vibrations, température, usure) pour détecter les anomalies avant la panne.
- Utiliser un tableau de bord de supervision pour alerter en cas de dérive des paramètres.

— Interventions programmées

- Planifier les réglages (ex : graissage, alignement) en dehors des heures de production pour éviter les arrêts imprévus.

IV.8.3.3. Améliorer la traçabilité des interventions :

Un bon suivi permet d'identifier les tendances et d'optimiser les processus.

— Carnet de maintenance digital

- Utiliser un logiciel de GMAO (Gestion de Maintenance Assistée par Ordinateur) pour enregistrer :
 - Temps d'intervention
 - Pièces utilisées
 - Causes racines des pannes
 - Analyser les données pour identifier les composants les plus défaillants et améliorer leur fiabilité.

IV.8.3.4. Optimiser la maintenabilité via des améliorations techniques :

Certaines modifications mécaniques ou logicielles peuvent faciliter la maintenance.

— Automatiser les réglages fréquents

- Paramétrier des séquences automatiques pour le réglage de la table, des galets et de la matrice.
- Simplifier l'interface CNC pour éviter les erreurs de programmation.

— Améliorer la conception pour la maintenance

- Remplacer les fixations complexes par des systèmes rapides (ex : clips, vis à ergots).
- Ajouter des marquages ou codes couleurs pour faciliter l'identification des composants.

IV.8.4. Amélioration de sécurité :

□ Renforcement des protections physiques

- Installer des protections autour des zones dangereuses (unités de poinçonnage, perçage, et coupe thermique) pour éviter tout contact accidentel avec les opérateurs.
- Mettre en place des systèmes de verrouillage qui coupent l'alimentation lorsque les protections sont ouvertes ou retirées.

□ Amélioration des systèmes d'urgence

- Placer des boutons d'arrêt d'urgence à des endroits stratégiques autour de la machine, accessibles rapidement en cas de danger.
- Intégrer des capteurs pour détecter les anomalies (surchauffe, blocage d'outils, etc.) et déclencher automatiquement un arrêt.

□ Formation et sensibilisation des opérateurs

- Organiser des sessions de formation sur les risques spécifiques liés à la machine et les bonnes pratiques de sécurité.
- Afficher des consignes de sécurité visibles près de la machine, incluant les procédures d'urgence.

□ Gestion des risques liés aux outils et aux copeaux

- Renforcer les systèmes d'aspiration pour éliminer les copeaux et fumées générés lors des opérations de perçage et de coupe thermique, réduisant ainsi les risques d'incendie et d'inhalation.
- Mettre en place un système de surveillance de l'état des outils (poinçons, matrices, etc.) pour prévenir les ruptures ou usures excessives.

□ Conformité aux normes ISO 45001

- Réaliser une analyse approfondie des dangers conformément à la norme ISO 45001 et mettre en œuvre des mesures correctives.
- Effectuer des audits réguliers pour s'assurer que les procédures de sécurité sont respectées et efficaces.

□ Amélioration de l'ergonomie

- Réorganiser l'espace autour de la machine pour faciliter les mouvements des opérateurs et réduire les risques de blessures.
- Améliorer l'éclairage des zones de travail et ajouter une signalisation claire pour les zones à risque.

□ Technologies de sécurité avancées

- Installer des caméras ou capteurs pour surveiller les zones aveugles et détecter les intrusions dans des zones dangereuses.
- Automatiser certaines opérations critiques pour limiter l'exposition des opérateurs aux risques.

IV.9.Conclusion:

Pour améliorer la disponibilité de Tipo B254 FICEP il convient de réduire le nombre de ses arrêts (en améliorant sa fiabilité) et de minimiser le temps requis pour résoudre les causes de ces arrêts (en améliorant sa maintenabilité) et moins d'incidents destructeurs (en renforcer la sécurité).

CONCLUSION GÉNÉRALE

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Ce travail a permis d'explorer de manière approfondie la sûreté de fonctionnement (SDF) et son application pratique à la machine FICEP Tipo B254, un équipement critique au sein de l'unité PROMECH Annaba. À travers une analyse systématique combinant des outils théoriques et pratiques, nous avons pu évaluer et proposer des améliorations pour améliorer la fiabilité, la maintenabilité et la disponibilité de cette machine.

L'analyse fonctionnelle, réalisée via les diagrammes de la Bête à Cornes et Pieuvre, a permis de clarifier les fonctions principales et contraintes de la machine, mettant en lumière son rôle central dans la transformation des tôles métalliques. L'étude de la fiabilité, basée sur le modèle de WEIBULL, a révélé une fiabilité insuffisante (MTBF de 109,925 heures) mais perfectible, avec un taux de défaillance reflétant une période de fatigue ($\beta = 2,4$). Le test de Kolmogorov-Smirnov a validé l'adéquation de ce modèle, confirmant sa pertinence pour décrire les défaillances de la machine. La maintenabilité, avec un MTTR de 1,17 heure, indique une bonne réactivité des équipes de maintenance, bien que des marges d'amélioration subsistent. Enfin, la disponibilité intrinsèque (0,74) et instantanée montre une performance satisfaisante, mais des efforts supplémentaires peuvent encore réduire les temps d'arrêt.

L'application de la méthode PIEU a classé la FICEP Tipo B254 comme un équipement très critique ($CR < 1$), justifiant une attention prioritaire dans la politique de maintenance. Les suggestions d'amélioration proposées, telles que le renforcement de la maintenance préventive, l'optimisation des temps de réparation, l'intégration de technologies de surveillance en temps réel (IoT) et l'amélioration de la formation des opérateurs et techniciens, visent à augmenter la fiabilité et la maintenabilité tout en réduisant les temps d'arrêt. Ces actions, combinées à une meilleure gestion des pièces détachées et à une collaboration avec le fabricant FICEP, permettraient d'améliorer la disponibilité globale de la machine.

Par ailleurs, l'intégration des principes de la norme ISO 45001 dans la gestion de la santé et de la sécurité au travail a renforcé l'importance d'une approche proactive pour identifier les dangers, réduire les risques et assurer la conformité réglementaire. Cette norme, appliquée à PROMECH Annaba, contribue à créer un environnement de travail plus sûr et à minimiser les incidents, en alignement avec les objectifs de performance industrielle.

Cette étude met en évidence l'importance d'une approche intégrée combinant analyse fonctionnelle, modélisation statistique (WEIBULL), gestion des risques (méthode PIEU) et

Conclusion Générale

conformité aux normes internationales (ISO 45001) pour optimiser la performance des équipements industriels critiques. Les recommandations formulées offrent une feuille de route claire pour PROMECH Annaba afin d'améliorer la sûreté de fonctionnement de la FICEP Tipo B254, tout en renforçant la productivité et la sécurité.

Ce travail constitue une base solide pour de futures investigations, notamment sur l'intégration de technologies prédictives avancées et l'extension de ces méthodologies à d'autres équipements de l'entreprise.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Demri, Amel. Contribution à l'évaluation de la fiabilité d'un système mécatronique par modélisation fonctionnelle et dysfonctionnelle. 2009, Université d'Angers.
- [2] Claire, Pagetti. Module de sûreté de fonctionnement. Décembre 2012.
- [3] Gabriel Antonio, Perez Castaneda. Évaluation par simulation de la sûreté de fonctionnement de systèmes en contexte dynamique hybride. 2009, Institut National Polytechnique de Lorraine.
- [4] Dr, Belhadj Djilali Abdelkadir. Maintenance et sûreté de fonctionnement. Année 2020.
- [5] Florent, Brissaud. Contributions à la Modélisation et à l'Évaluation de la Sûreté de Fonctionnement de Systèmes de Sécurité à Fonctionnalités Numériques. 2010.
- [6] Abdelhak, Mkhida. Contribution à l'évaluation de la sûreté de fonctionnement des Systèmes Instrumentés de Sécurité à Intelligence Distribuée. 2008.
- [7] B. DEBRAY, S. CHAUMETTE, S. DESCOURIERE, V. TROMMETER. Méthodes d'analyse des risques générés par une installation industrielle. 13 octobre 2006.
- [8] Jean-Louis, FANCHON. Guide des sciences et technologies industrielles. 4 mars 1996.
- [9] ELRIC, THOMAS. Étude des systèmes « Analyse fonctionnelle ». 2010.
- [10] Aslain Brisco , Ngnassi Djami. Analyse Conceptuelle Et Optimisation De La Fiabilité Des Systèmes : Cas D'une Unité De Production De Farines Des Nourrissons. European Scientific Journal August, 2018.
- [11]
<https://www.iso.org/fr/standard/63787.html#:~:text=ISO%2045001%20est%20une%20Norme,performance%20en%20mati%C3%A8re%20de%20S%26ST>.
- [12] FORMATION-HSE.com. Systèmes de management de la santé et de la sécurité au travail — Exigences et lignes directrices pour leur utilisation. 20 mars 2018.

- [13] ZWINGELSTEIN, Gilles. Évaluation de la criticité des équipements-Méthodes d'exploitation des jugements d'experts. 2014.
- [14] CLAVER, DIALLO. DÉVELOPPEMENT D'UN MODÈLE D'IDENTIFICATION ET DE GESTION DES PIÈCES DE RECHANGE. 2006, à la Faculté des études supérieures de l'Université Laval QUÉBEC.
- [15] <https://mobility-work.com/fr/blog/goulot-detanglement-machine/>
- [16] FICEP S.p.A. TIPO B254 Ligne Automatique de Poinçonnage et Coupe Thermique à CNC. 2015.
- [17] Pr. Ahmed BELLAOUAR et M.A. Salima BELEULMI. polycopié de fiabilité, maintenabilité et disponibilité (FMD). 2013.
- [18] François Monchy. Maintenance Méthodes et organisations .2003

ANNEXE

Annexe 1 :

Tableau de test Kolmogorov Smirnov :

Taille de l'échantillon	Risque de 1ère espèce (α)				
	0,20	0,15	0,10	0,05	0,01
1	0,900	0,925	0,950	0,975	0,995
2	0,684	0,726	0,776	0,842	0,929
3	0,565	0,597	0,642	0,708	0,828
4	0,494	0,525	0,564	0,624	0,733
5	0,446	0,474	0,510	0,565	0,669
6	0,410	0,436	0,470	0,521	0,618
7	0,381	0,405	0,438	0,486	0,577
8	0,358	0,381	0,411	0,457	0,543
9	0,339	0,360	0,388	0,432	0,514
10	0,322	0,342	0,368	0,410	0,490
11	0,307	0,326	0,352	0,391	0,468
12	0,295	0,313	0,338	0,375	0,450
13	0,284	0,302	0,325	0,361	0,433
14	0,274	0,292	0,314	0,349	0,418
15	0,266	0,283	0,304	0,338	0,404
16	0,258	0,274	0,295	0,328	0,392
17	0,250	0,266	0,286	0,318	0,381
18	0,244	0,259	0,278	0,309	0,371
19	0,237	0,252	0,272	0,301	0,363
20	0,231	0,246	0,264	0,294	0,356
25	0,21	0,22	0,24	0,27	0,32
30	0,19	0,20	0,22	0,24	0,29
35	0,18	0,19	0,21	0,23	0,27
supérieur à 35	{	$\frac{1,07}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,14}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,22}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,36}{\sqrt{n}}$

Annexe 2

La table de WEIBULL

β	A	B
0,20	120	1901
0,25	24	199
0,30	9,2605	50,08
0,35	5,0731	19,98
0,40	3,3234	10,44
0,45	2,4786	6,44
0,50	2	4,47
0,55	1,7024	3,35
0,60	1,5046	2,65
0,65	1,3663	2,18
0,70	1,2638	1,85
0,75	1,1906	1,61
0,802	1,1330	1,43
0,85	1,0880	1,29
0,90	1,0522	1,17
0,95	1,0234	1,08
1	1	1
1,05	0,9803	0,934
1,10	0,9649	0,878
1,15	0,9517	0,830
1,20	0,9407	0,787
1,25	0,9314	0,750
1,30	0,9236	0,716
1,35	0,9170	0,687
1,40	0,9114	0,660
1,45	0,9067	0,635

β	A	B
1,50	0,9027	0,613
1,55	0,8994	0,593
1,60	0,8966	0,574
1,65	0,8942	0,556
1,70	0,8922	0,540
1,75	0,8902	0,525
1,80	0,8893	0,511
1,85	0,8882	0,498
1,90	0,8874	0,486
1,95	0,8867	0,474
2	0,8862	0,463
2,1	0,8857	0,443
2,2	0,8856	0,425
2,3	0,8859	0,409
2,4	0,8865	0,393
2,5	0,8873	0,380
2,6	0,8882	0,367
2,7	0,8893	0,355
2,8	0,8905	0,344
2,9	0,8917	0,334
3	0,8930	0,325
3,1	0,8943	0,316
3,2	0,8957	0,307
3,3	0,8970	0,299
3,4	0,8984	0,292
3,5	0,8997	0,285
3,6	0,9011	0,278
3,7	0,9025	0,272
3,8	0,9038	0,266
3,9	0,9051	0,260

β	A	B
4	0,9064	0,254
4,1	0,9077	0,249
4,2	0,9089	0,244
4,3	0,9102	0,239
4,4	0,9114	0,235
4,5	0,9126	0,230
4,6	0,9137	0,226
4,7	0,9149	0,222
4,8	0,9160	0,218
4,9	0,9171	0,214
5	0,9182	0,210
5,1	0,9192	0,207
5,2	0,9202	0,203
5,3	0,9213	0,200
5,4	0,9222	0,197
5,5	0,9232	0,194
5,6	0,9241	0,191
5,7	0,9251	0,186
5,8	0,9260	0,185
5,9	0,9269	0,183
6	0,9277	0,180
6,1	0,9286	0,177
6,2	0,9294	0,175
6,3	0,9302	0,172
6,4	0,9310	0,170
6,5	0,9316	0,168
6,6	0,9326	0,166
6,7	0,9333	0,163
6,8	0,9340	0,161
6,9	0,9347	0,156