



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة وهران 2 محمد بن أحمد

Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed

معهد الصيانة والأمن الصناعي

Institute de Maintenance et de Sécurité Industrielle

Département : Maintenance en Electromécanique

MÉMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Electromécanique.

Spécialité : Electromécanique industrielle.

Thème

**Etude et analyse des modes de défaillance d'un
équipement industriel**

Présenté et soutenu publiquement par :

BOUREZG-BELKHIR Souad et DJEBBAR Chems Fatima Zohra

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	grade	Etablissement	Qualité
Mr ADJELOUA Abdelaziz	MCA	IMSI	Président
Mme MOUFOK Souad	MAA	IMSI	Encadreur
Mme ABDI Gheziel	MCA	IMSI	Examineur

Année universitaire : 2023/2024

Table des matières

Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Remerciements	
Dédicace	
Introduction générale	1
Chapitre I.....	2
Présentation de l'entrepris	2
I.1 Introduction	2
I.2 Présentation de l'entreprise ENIE	2
I.3 Historique	3
I.4 Site géographique	3
I.5 Les objectifs de l'Entreprise ENIE	3
I.6 Les missions de l'ENIE	4
I.7 Les unités	4
I.7.1 Unité intégration électronique IE	4
I.7.1.1 Ses activités	4
I.7.1.2 Ses produits	5
I.7.2 Unité Energie Photovoltaïque	6
I.7.2.1 Ses activités	6
I.7.3 Unité des Laboratoires Maintenance, Etalonnage des Equipements Electroniques et Analyses des Matériaux	7
I.7.3.1 Ses missions	8
I.7.3.2 Ses laboratoires	8
I.7.4 Unité des Systèmes de Sécurité & Affichage à LEDs	9
I.7.5 Unité des laboratoires de recherche et développements	9
I.7.6 Unité Sous-traitance	10
I.8 L'organigramme de l'ENIE	11
I.9 Organigramme de l'unité d'assemblage IE ENIE	12
I.10 Processus de la production de l'unité intégration électronique	13
I.10.1 Zone d'insertion	13
I.10.2 Zone d'assemblage	14
I.10.3 Zone de la finition	15

I.10.4	Bain de soudure	16
I.10.4.1	Définition du bain de soudure	16
I.10.4.2	Principe de base d'une machine à braser à la vague	16
I.10.4.3	Les éléments de bain de soudure	16
I.11	Conclusion	17
Chapitre II	18
Généralités sur la maintenance et les outils de gestion et d'analyse		18
II.1	Introduction	18
II.2	Historique	18
II.3	Définition	19
II.4	Rôle de la maintenance	19
II.5	Les objectifs de la maintenance industrielle	20
II.6	Terminologies	21
II.6.1	Défaut	21
II.6.2	Défaillance	21
II.6.3	Panne	21
II.6.4	Taux de défaillance	22
II.7	Les niveaux de la maintenance	23
II.8	Les normes de la maintenance	24
II.9	Sûreté de fonctionnement (SDF)	25
II.9.1	Définition	25
II.9.2	Les composants de la sûreté de fonctionnement	25
II.9.2.1	La fiabilité	25
II.9.2.2	Disponibilité	25
II.9.2.3	Maintenabilité	25
II.9.2.4	Sécurité	25
II.10	Les politiques de la maintenance	26
II.10.1	Maintenance corrective	27
II.10.1.1	Maintenance palliative	28
II.10.1.2	Maintenance curative	28
II.10.2	Maintenance préventive	28
II.10.2.1	Maintenance systématique	29
II.10.2.2	Maintenance conditionnelle	29
II.10.2.3	Maintenance prévisionnelle	29
II.10.2.4	La maintenance améliorative	30

II.11	Les outils de maintenance.....	30
II.11.1	Arbre de défaillances Add.....	30
II.11.1.1	Principe.....	30
II.11.1.2	Avantages.....	30
II.11.1.3	Les inconvénients.....	31
II.11.2	Diagramme d'Ishikawa	31
II.11.2.1	But.....	32
II.11.2.2	Avantages.....	32
II.11.2.3	Inconvénients.....	32
II.11.3	Méthode Diagramme Pareto	32
II.11.3.1	Principe.....	33
II.11.4	Méthode AMDEC.....	34
II.11.4.1	Historique	34
II.11.4.2	Objectifs de la méthodologie AMDEC.....	35
II.11.4.3	Différents types d'AMDEC.....	35
II.11.4.4	Démarche de la méthode AMDEC	35
II.11.4.5	Analyse de la criticité.....	36
II.12	Conclusion.....	38
Chapitre III.....		39
Mise en place de la méthode PARETO		39
Et AMDEC dans l'entreprise.....		39
III.1	Introduction	39
III.2	Rappel sur la problématique et l'objectif de l'étude.....	39
III.3	Analyse de l'entreprise	39
III.3.1	Organigramme structurel de l'unité IE	40
III.3.2	Analyse par Pareto.....	40
III.3.2.1	Détermination des équipements critiques.....	40
III.3.2.2	Détermination des sous équipements critiques de chaque équipement.....	47
III.3.2.3	Synthèse	51
III.4	Etude AMDEC	52
III.4.1	Machine d'assemblage.....	52
III.4.1.1	AMDEC de la machine d'assemblage	52
III.4.1.2	Analyse Pareto de la criticité des éléments de la machine d'assemblage.....	54
III.4.1.3	Suggestions d'actions de maintenance à mettre en place	55

III.4.2	Bain de soudure	56
III.4.2.1	AMDEC de Bain de soudure.....	56
III.4.2.2	Analyse Pareto de la criticité des éléments de Bain de soudure	58
III.4.2.3	Suggestions d’actions de maintenance à mettre en place	59
III.5	Organigrammes des sous-équipements critiques	60
III.6	Conclusion.....	60
	Résumé	64
	Abstract.....	65
	Bibliographie	66

Liste des figures

Figure 1: ENIE.....	2
Figure 2: Site géographique de l'ENIE	3
Figure 3: Unité d'intégration électronique	4
Figure 4: Terminal de paiements.....	5
Figure 5: TV (SMART TV, LED TV).....	5
Figure 6: Téléphone électronique portable (ENIE Mobile)	6
Figure 7: Unité solaire (à gauche), Les cellules solaires (à droite).....	7
Figure 8: Unité des laboratoires de Maintenance et d'étalonnage ULME.....	8
Figure 9: Système de vidéo de surveillance	9
Figure 10: Unité des laboratoires de recherche et de développements.	10
Figure 11: Machine d'injection plastique expansé (figure à gauche), Injection polystyrène (figure à droite).	10
Figure 12: Entretien des moules.....	11
Figure 13: Organigramme ENIE.....	11
Figure 14: Organigramme de l'unité d'assemblage ENIE.	12
Figure 15: Chaîne de production de smart	13
Figure 16: Zone d'assemblage.....	14
Figure 17: Bain de soudure.....	14
Figure 18: Zone de finition	16
Figure 19: Symbole officiel de l'ENIE.	17
Figure 20: Les objectifs de la maintenance.....	20
Figure 21: Courbe de taux de défaillance	23
Figure 22: Les niveaux de la maintenance selon la norme AFNOR X60-0.....	24
Figure 23: Les composants de sureté de fonctionnement.....	26
Figure 24: Les politiques de la maintenance.....	27
Figure 25: La représentation de diagramme d'Ishikawa.	31
Figure 26: Diagramme de Pareto (Loi de 80- 20)	33
Figure 27: Démarche d'AMDEC.	36
Figure 28: Les étapes d'analyse des problèmes de l'entreprise.	39
Figure 29: Organigramme structurelle de l'unité IE.	40
Figure 30: Classification des équipements critiques.....	47
Figure 31: Classification des sous-équipements critiques de machine d'assemblage	49
Figure 32: Classification des sous équipements critiques de l'équipement bain de soudure	51
Figure 33: Classification des éléments critiques de la machine d'assemblage	55
Figure 34: Classification des éléments critiques de bain soudure	58
Figure 35: Organigramme des sous-équipements critiques.....	60

Liste des tableaux

Tableau 1: Les valeurs de fréquence.	37
Tableau 2: Les valeurs de la détection.	37
Tableau 3: Les valeurs de la gravité.	37
Tableau 4: Les valeurs de la criticité.....	38
Tableau 5 : Historique de pannes (période de 7 trimestres).....	41
Tableau 6: Les pourcentages cumulés de durées de pannes des 7 équipements.....	46
Tableau 7: Les pourcentages cumulés de durées de panne de l'équipement machine d'assemblage.....	48
Tableau 8: Les pourcentages cumulés de durées de panne de l'équipement bain de soudure	50
Tableau 9: Résumé de l'analyse des équipements et leurs sous équipements critiques.....	51
Tableau 10: AMDEC de la machine d'assemblage.....	53
Tableau 11: Les pourcentages cumulés de la criticité des éléments de la machine d'assemblage	54
Tableau 12: La suggestion d'actions de maintenance de la machine d'assemblage	55
Tableau 13: AMDEC de Bain de soudure	57
Tableau 14: Les pourcentages cumulés de la criticité des éléments de Bain de soudure	58
Tableau 15: La suggestion d'actions de maintenance de la machine d'assemblage	59

Liste d'abréviation

ENIE : Entreprise Nationale de l'industrie Electronique à Sidi -Bel-Abbes.

SONELEC : Société Nationale de fabrication et de montage du matériel électrique et électronique.

IE : Intégration Electronique.

SMT : Surface Mount Technology.

THT : Très Haute Tension.

IM : insertion manuel.

ULME : unité de laboratoire de maintenance et d'étalonnage.

CMS : composant monte en surface.

AFNOR : association française de normalisation.

GMAO : Gestion de maintenance assistée par ordinateur.

MTBF: mean time between Failure.

MTTR: mean time to repair.

SDF: Sûreté de fonctionnement.

ADD : arbre de défaillance.

AMDEC : Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité.

ISO : Organisation Internationale de normalisation.

PTB : Institut national de métrologie allemand.

Remerciements

En premier lieu, je tiens à remercier **ALLAH** notre créateur et la patience qu'il nous a donné pour accomplir ce travail.

Nous portons nos reconnaissances à notre encadreur madame **MOUFOK Souad** pour sa précieuse guidance, ses conseils éclairés et son soutien constant tout au long de ce travail.

Nos remerciements s'adressent aussi à tout le personnel de l'ENIE en particulier l'ingénieur de maintenance de l'unité IE pour la collecte des données nécessaires à cette recherche.

Par ailleurs nous tenons à remercier les membres du jury qui ont fait l'honneur par leur présence et leurs disponibilités à examiner le projet réalisé.

Nous sommes particulièrement reconnaissant envers nos familles, nos amis et collègues, pour leur soutien moral, leurs encouragements et les moments de convivialité partagés qui ont rendu cette période plus agréable.

Enfin, nous remercions toutes les personnes, de près ou de loin, qui ont contribué, par leur aide ou leur présence, à la réalisation de ce mémoire. Leur soutien, qu'il soit direct ou indirect, a été précieux tout au long de ce parcours.

Merci à Tous.

Dédicace

J'ai l'honneur de dédier ce modeste travail réalisé grâce à l'aide de Dieu tout-puissant tout d'abord :

*À **mon cher père** (puisse son âme reposer en paix) qui je ne le jamais oublier et que je l'aime.*

*À **ma chère mère** pour son amour inconditionnel, son soutien et son encouragement.*

Votre foi en moi m'a donné la force de persévérer et de réussir.

*À ma sœur d'Amour **HADJER**, mes frères **HABIB** et **AYMEN** pour leur patience, leur compréhension et leurs mots encourageants durant les moments de doute et de stress.*

*À mes meilleures amies **LYLIA** et **SOUAD***

*À mes chères amies **RYM** et **IKRAM***

Pour leur amitié sincère, leur aide précieuse et leurs encouragements et avec qui j'ai partagé les meilleurs et les pires moments

*À mes chères cousines **IMEN**, **MAJDA***

*Cher oncle **KAMAL** et sa femme*

*À tous les membres des familles **DJEBBAR** et **ABDELLAH BERRABAH***

À tous les amis et les proches de près ou de loin

À tous ceux qui, ont contribué à la réalisation de ce mémoire et m'ont encouragé.

Je vous adresse ma profonde gratitude.

CHEMS FATIMA ZOHRA

Dédicace

J'ai l'honneur de dédier ce modeste travail réalisé grâce à l'aide de Dieu tout-puissant tout d'abord :

À mon très cher père, À ma très amoureuse mère, pour leur amour inconditionnel, leur soutien indéfectible et leurs innombrables sacrifices, leur foi en moi a été ma plus grande motivation.

Je souhaite que Dieu vous protège.

À ma sœur d'Amour NADJET, pour sa patience, sa compréhension et ses mots encourageants durant les moments de doute et de stress.

À mon cher petit frère AHMED ABDELHALIM, la joie de ma vie.

À ma chère meilleure amie CHEMS FATIMA ZOHRA, À mes chères cousines FATIHA et MANAR, À ma très chère amie LYLIA

À mes amie RYM et IKRAM

Pour leur amitié sincère, leur aide précieuse et leurs encouragements, avec qui j'ai partagé les meilleurs et les pires moments.

À tous les membres des familles BOUREZG-BELKHIR et BELHADJ.

À tous les amis et les proches de près ou de loin,

À tous ceux qui, ont contribué à la réalisation de ce mémoire et m'ont encouragé.

Je vous adresse ma profonde gratitude.

BOUREZG-BELKHIR SOUAD

Introduction générale

Introduction générale

Dans le contexte industriel moderne, la fiabilité des équipements joue un rôle crucial dans la performance et la compétitivité des entreprises. La défaillance d'un équipement peut entraîner des interruptions coûteuses de la production, des dommages aux équipements environnants, voire des risques pour la sécurité des travailleurs. Ainsi, il est essentiel pour les entreprises de comprendre les différents modes de défaillance de leurs équipements afin de mettre en place des stratégies de maintenance préventive efficaces.

Cette étude vise à analyser en profondeur les modes de défaillance d'un équipement industriel spécifique, en l'occurrence (l'équipement...). Nous examinerons les différents types de défaillances possibles, tels que les défaillances mécaniques, électriques, hydrauliques, etc. Nous nous pencherons également sur les causes sous-jacentes de ces défaillances, qu'elles soient liées à des défauts de conception, à un mauvais entretien ou à des conditions de fonctionnement inappropriées.

L'objectif principal de cette étude est d'identifier les principaux modes de défaillance de l'équipement, d'évaluer leur criticité et de proposer des recommandations pour améliorer sa fiabilité et sa durée de vie. Pour ce faire, nous utiliserons des méthodes d'analyse telles que l'analyse des modes de défaillance, des effets et de leur criticité (AMDEC), ainsi que des techniques de surveillance et de diagnostic en temps réel.

Enfin, cette étude ne se limite pas à l'analyse des défaillances actuelles, mais vise également à anticiper les défaillances potentielles grâce à une approche proactive de la maintenance. En comprenant mieux les modes de défaillance de l'équipement, les entreprises pourront prendre des mesures préventives pour éviter les pannes coûteuses et améliorer ainsi leur efficacité opérationnelle.

Ce travail s'articulera autour de trois chapitres. Le premier chapitre sera consacré à une présentation globale de la société de ENIE SBA, son historique, ses missions, ses unités et ses différents produits. Dans le deuxième chapitre, nous explorons l'évolution de la maintenance industrielle, en présentant son historique, ces objectifs, ces politiques et ces normes. Ainsi qu'une présentation des outils de gestion et d'analyse de la maintenance, notamment : diagramme d'Ishikawa, Pareto, et AMDEC. Le troisième chapitre, est réservé à l'application de la méthode Pareto et AMDEC au sien de l'entreprise ENIE. Nous commencerons par la détermination des ateliers critiques et leurs équipements critiques toute en basant sur l'analyse Pareto. Ensuite, nous allons localiser les éléments critiques qui posent plus de panne en appliquant la méthode AMDEC. Finalement, Nous proposons des actions de maintenance afin de minimiser les temps d'arrêts. Enfin nous présentons une conclusion générale où nous résumons les résultats obtenus et les perspectives possibles.

Chapitre I

Présentation de l'entrepris

Chapitre 1 : présentation de l'entreprise

I.1 Introduction

Ce chapitre a pour objectif de donner une vue générale du cadre de déroulement de ce projet de fin d'études, il sera consacré à la présentation globale de la société de ENIE SBA, son historique, ses missions, ses unités et ses différents produits.

I.2 Présentation de l'entreprise ENIE

Créée le 1er Novembre 1982, suite à la restructuration de l'entreprise mère SONELEC, l'Entreprise Nationale des Industries Electroniques n'a cessé d'œuvrer dans le domaine électronique pendant plus de 30 ans, le siège social ainsi que le complexe électronique sont situés dans la zone industrielle de la ville Sidi Bel Abbas sur une superficie d'environ 40 hectares. Employant plus de 1200 agents et cadres dans ses différents domaines d'activité. [1]

ENIE a pour ambition d'être le premier fabricant d'appareils Audio-vidéo grand public en Algérie pour un marché national qui dépasse les 500 000 TVC et 1 000 000 appareils audio.

Ses produits sont disponibles partout dans le territoire national et sont garantis 2 ans.

L'ENIE, au début de la décennie quatre-vingt marquée par une demande ascendante en divers produits électroniques, devait s'atteler à adopter et mettre en œuvre une stratégie appropriée de redéploiement industriel et commercial ; celle-ci en jetant les bases d'une véritable industrie électronique devrait en outre répondre sur le plan pratique, à un objectif de quantité et de qualité du produit ainsi que de sa conformité avec la technologie la plus récente.



Figure 1: ENIE

Chapitre 1 : présentation de l'entreprise

I.3 Historique

L'ENIE a été créée le 1er novembre 1982, suite à la restructuration de l'Entreprise mère SONELEC, le siège social est à SIDI BEL ABBES. Le passage à l'autonomie s'est effectué en Mars 1989, érigeant l'Entreprise en société par actions. Son capital social est de 8,3 Milliards de Dinars.

I.4 Site géographique

Le siège social de ENIE est situé dans la zone industrielle de la ville Sidi-Bel-Abbès, une ville de l'Algérie située à 450 km à l'ouest d'Alger.

1- ENIE Sidi Bel Abbés à l'aéroport Es-sénia d'Oran : 70 Km

2- ENIE Sidi Bel Abbés au port maritime d'Oran : 80 Km



Figure 2: Site géographique de l'ENIE

I.5 Les objectifs de l'Entreprise ENIE

Comme toutes les entreprises, ENIE a des objectifs à réaliser [2], notamment :

- Mettre en place un système de management – environnement selon les normes ISO14001.
- Augmenter la production.
- Réduire les couts du non qualité.
- Réduire les stocks.
- Réaliser des économies d'échelles.
- Augmenter le chiffre d'affaires.
- Maintenir l'effort de la promotion.

Chapitre 1 : présentation de l'entreprise

I.6 Les missions de l'ENIE

L'entreprise s'occupe de la recherche et du développement dans le domaine de l'électronique, de la maintenance des équipements et de l'exportation.

I.7 Les unités

On distingue six unités (06) aux niveaux de l'ENIE [1]:

I.7.1 Unité intégration électronique IE

L'unité d'intégration électronique est capable d'intégrer des équipements électroniques dans des ensembles de petites dimensions, jusqu'aux grands ensembles, du plus simplifié au plus complexe, pour une couverture complète des besoins dans l'intégralité des secteurs d'activités. Ses laboratoires possèdent un atelier spécial pour le montage et câblage d'ensembles ou sous-ensembles équipés (cartes électroniques, éléments électriques, éléments mécaniques) dans différents contenants (boîtiers, platines, coffrets, etc.) en toute adaptabilité.



Figure 3: Unité d'intégration électronique.

I.7.1.1 Ses activités

Cette unité travaille pour :

Chapitre 1 : présentation de l'entreprise

- Fabrication de Circuits Electroniques : comme (Ligne SMT, ligne THT, ligne IM)
- Ligne d'Assemblage : Processus en ligne pour assembler tous les composants du sous-ensemble.

I.7.1.2 Ses produits



Figure 4: Terminal de paiements.



Figure 5: TV (SMART TV, LED TV)

Chapitre 1 : présentation de l'entreprise



Figure 6: Téléphone électronique portable (ENIE Mobile).

I.7.2 Unité Energie Photovoltaïque

Unité ENIE -Photovoltaïque, c'est une unité qui est spécialisée dans la fabrication des panneaux solaires photovoltaïques, l'étude et l'installation des solutions dans le domaine des énergies renouvelables et la commercialisation.

I.7.2.1 Ses activités : [1]

Parmi les activités de l'unité d'énergie photovoltaïques :

- Eclairage public solaire
- Pompage solaire
- Habitations isolées
- Chauffe-Eau Solaire
- Chariot mobile
- Installations professionnelles (centrales solaires)



Figure 7: Unité solaire (image à gauche), Les cellules solaires (image à droite)

I.7.3 Unité des Laboratoires Maintenance, Etalonnage des Equipements Electroniques et Analyses des Matériaux

ENIE SBA et à travers ses laboratoires de Maintenance et d'étalonnage ULME possède toutes les qualifications requises pour prise en charge des équipements de mesure, et ce quel que soit sa mobilité et avec de meilleures incertitudes grâce à :

- Ses laboratoires
- Un personnel techniquement compétent possédant les qualités et les connaissances requises.
- Un milieu doté des installations requises et des équipements raccordés au PTB Allemand et E2M Français.
- Aux procédures requises et au contrôle de la qualité requis.



Figure 8: Unité des laboratoires de Maintenance et d'étalonnage ULME.

I.7.3.1 Ses missions

Cette unité sert à :

- Amener à une grande prise de conscience de la Métrologie.
- Donner aux entreprises les moyens de mettre en place de bonnes pratiques de mesurage.
- Permettre aux entreprises d'accroître leurs compétitivités.
- Améliorer la qualité des produits.
- Accroître la confiance des clients dans l'entreprise et ses produits.

I.7.3.2 Ses laboratoires

Unité des laboratoires de Maintenance et d'étalonnage ULME englobe les laboratoires suivants :

- Laboratoire de Maintenance industrielle
- Laboratoire Etalonnage
- Laboratoire Analyse des Matériaux
- Laboratoire Electrique
- Laboratoire Pression
- Laboratoire Température
- Laboratoire d'essais & analyse de la qualité
- Laboratoire mécanique

Chapitre 1 : présentation de l'entreprise

I.7.4 Unité des Systèmes de Sécurité & Affichage à LEDs

Mise en place par l'ENIE et spécialisée dans les domaines de sécurité. Depuis les années 90 ENIE-SBA opère dans le domaine de la sécurité, en faisant de cette dernière une priorité de premier plan qui s'enregistre dans l'approche de l'entreprise de diversification de ses activités et qui ne cesse de fournir aux utilisateurs des solutions complètes pour ces différents systèmes à savoir :

- Système de vidéo surveillance
- Système de contrôle d'accès
- Système de détection d'incendie
- Système anti-intrusion
- Système d'affichage dynamique



Figure 9: Système de vidéo de surveillance.

I.7.5 Unité des laboratoires de recherche et développements

Cette unité sert à :

- La contribution au développement dans le domaine de la recherche,
- La Fédération des compétences des entreprises, universités, et centres de recherches actifs dans le domaine de l'électronique, mécanique et énergie photovoltaïque.
- La détermination et l'optimisation des sous-traitances possibles entre les différents acteurs pour le sujet de recherche envisagé.

Chapitre 1 : présentation de l'entreprise



Figure 10: Unité des laboratoires de recherche et de développements.

I.7.6 Unité Sous-traitance

Cette unité permet de :

- Fabriquer des pièces plastiques,
- Fabriquer des pièces mécaniques de précision,
- Entretien et réparer des moules et matrices,
- Fabriquer des pièces en polystyrène expansé



Figure 11: Machine d'injection plastique expansé (figure à gauche), Injection polystyrène (figure à droite).

Chapitre 1 : présentation de l'entreprise



Figure 12: Entretien des moules.

I.8 L'organigramme de l'ENIE

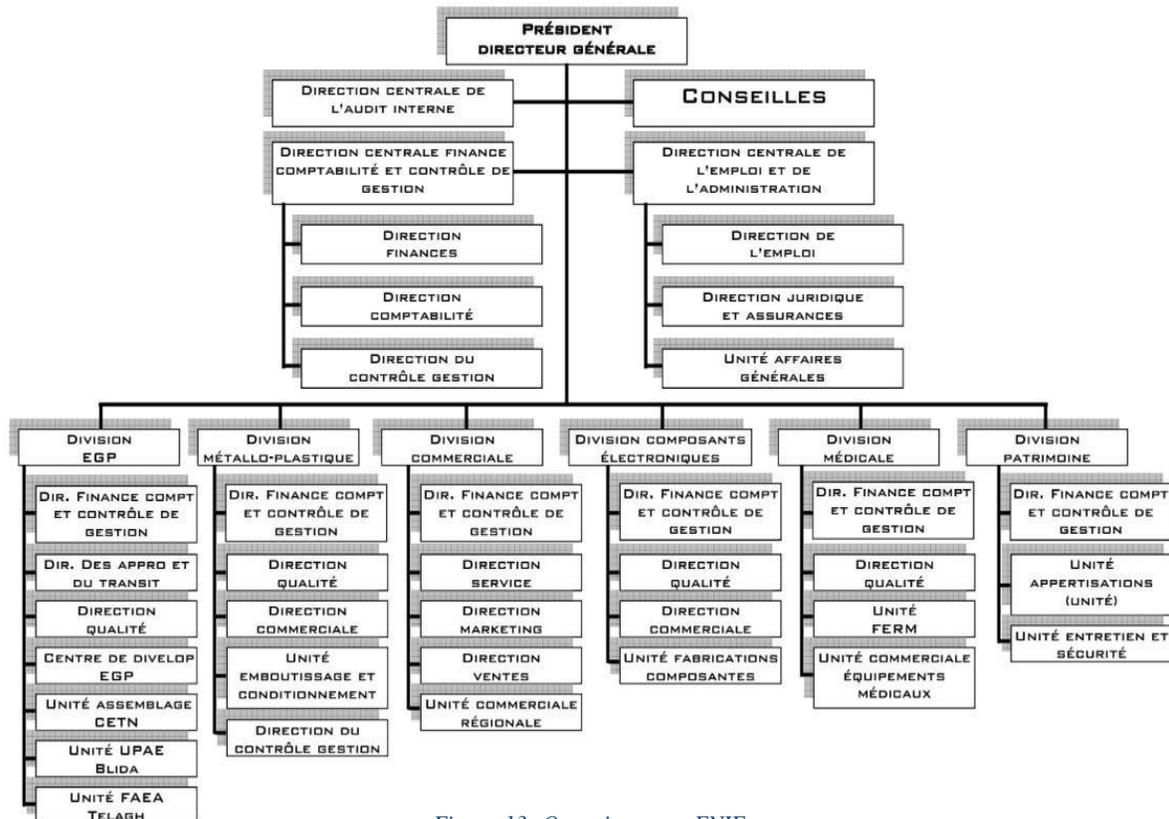


Figure 13: Organigramme ENIE.

I.9 Organigramme de l'unité d'assemblage IE ENIE

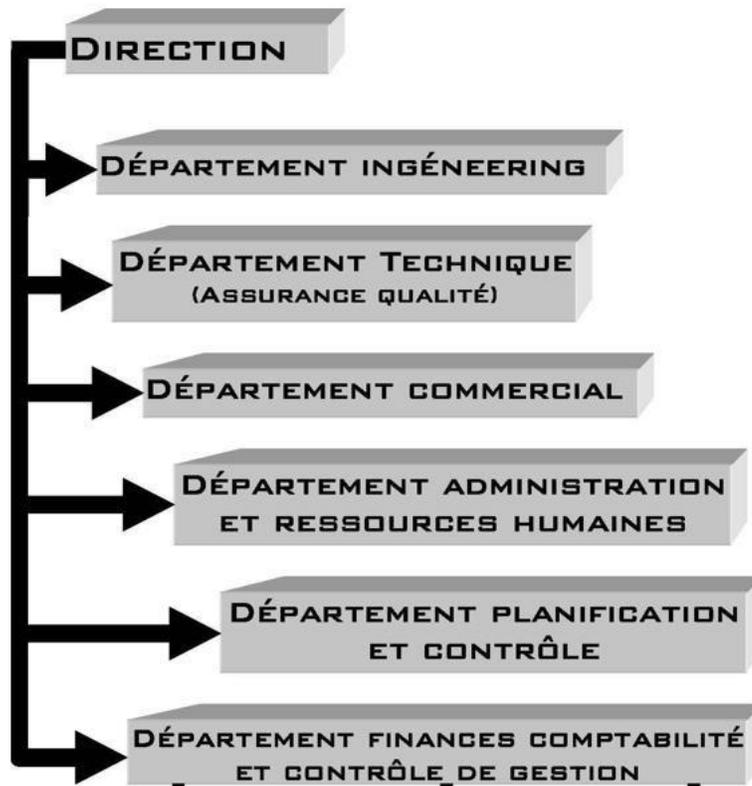


Figure 14: Organigramme de l'unité d'assemblage ENIE.

I.10 Processus de la production de l'unité intégration électronique

La fabrication des produits électroniques compte sur trois zones principales et autres complémentaires. Chaque zone contient des postes pour effectuer les différentes opérations. Ces zones sont : zone d'insertion, d'assemblage et de finition.



Figure 15: Chaîne de production de smart.

I.10.1 Zone d'insertion

- **Présentation** : C'est une phase initiale pour préparer les circuits imprimés et mettre en place sur les fixateurs.
- **Insertion** : C'est une phase pour insérer les composants électroniques (résistance, diode, transistor.....) de la carte d'alimentation sur le châssis. Chaque composant électronique a un lieu indiqué par un symbole.
- **Contrôle** : C'est une phase répétitive pour corriger les fautes d'insertion et pour éviter l'oubli des composants.



Figure 16: Zone d'insertion.

I.10.2 Zone d'assemblage

- **Soudure** : C'est une étape où on peut souder les composants électroniques à partir d'une machine électronique appelée « Bain de soudure ». Cette dernière comprend deux matières : un produit chimique « la résine » pour coller et l'étain pour souder.



Figure 17: Bain de soudure.

- **Retouche et coupe** : Ce sont deux étapes complémentaires qui suivent la soudure pour la retoucher et pour couper les pattes des composants supplémentaires comme il faut.

Chapitre 1 : Présentation de l'entreprise

- **Contrôle** : C'est une phase de vérification pour assurer que le produit est excellent et on peut le tester.
- **Pré-test** : C'est une opération pour tester le produit (la carte d'alimentation), en mesurant les différentes tensions possibles (300V, 5 VSB, 5V, 12V, 24V), pour dire que ce produit est valide ou non.
- **Dépannage** : C'est une phase de dépanner et réparer les cartes d'alimentations qui échouent dans le pré- test à l'aide des outils suivants :
 - Le multimètre : il sert à mesurer les tensions et vérifier les valeurs des composants.
 - Le fer à souder : il sert à souder et dessouder les composants.
 - La tresse : elle sert à enlever rapidement l'ancienne soudure dans le châssis.
 - Le contacte : c'est un produit vaporisateurs qui sert à nettoyer le châssis.
 - La brosse : elle sert à enlever les pattes.
 - Le tournevis : il sert à visser ou bien dévisser les vis.
 - La pince universelle.
 - La pince coupante.
 - L'étain.
- **Qu'issu** : C'est une étape pour mettre un couvercle sur les composants électroniques comme : mettre un plastique isolant sur une pièce avec la colle spéciale

I.10.3 Zone de la finition

- **Montage** : C'est une phase où les travailleurs vont assembler le produit pièce par pièce (carte mère, alimentation, HP stéréo, les touches manuelles, les commandes, connecteur USB, carte mémoire, HD, HDM1, 2,3 et les PC).
- **Câblage** : Dans cette étape, on branche tous les câbles intérieurs et on les fixe.
- **Test** : Avant la fermeture de cache-arrière, il doit tester le produit.
- **Fermeture cache-arrière** : Si le test est réussi, on va fermer le produit.
- **Test vidéo et audio** : Cette opération nous permet de tester les options, les accessoires et les connecteurs de ce produit pour la garantie.
- **Contrôle de qualité** : A cette étape, les ingénieurs spécialistes vont contrôler le produit pour assurer une meilleure qualité.
- **Emballage et étiquetage** : C'est la dernière étape, on met le produit sur une boîte de carton avec ses accessoires. Aussi, on lui donne une étiquette qui porte son numéro de série.



Figure 18: Zone de finition.

I.10.4 Bain de soudure

L'entreprise ENIE est équipée d'un outil capable de concevoir et de faire l'intégration électronique dont on cite la machine à outil suivante :

I.10.4.1 Définition du bain de soudure

Une machine de soudure à la vague comprend un convoyeur à doigts ou à chariots chargé de transporter les cartes électroniques successivement dans les zones bien distinctes de fluxage, de préchauffage, de brasure et de refroidissement avant d'en être déchargé. Au cours du brasage, un bain de brasure en fusion est amené au contact de la carte et de ses composants préalablement collés.

I.10.4.2 Principe de base d'une machine à braser à la vague

Le brasage à la vague est une méthode utilisée en cas de mixité des composants CMS (Composant Monté en Surface) et traditionnels. La soudure se fait ensuite grâce à une vague d'étain en fusion, la carte passant au-dessus, au contact de l'étain et par capillarité les terminaisons des composants CMS et les broches des composants sont soudées sur le circuit.

I.10.4.3 Les éléments de bain de soudure

Les éléments de base qui composent le bain de soudure sont :

- Le convoyeur à doigts,
- Le fluxage,
- Le préchauffage,
- Station de brasage

Chapitre 1 : Présentation de l'entreprise

I.11 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté l'Entreprise Nationale de l'Industrie Electronique et ses activités, ainsi que ses différentes unités. Notre analyse se focalise sur l'unité d'intégration électronique. Dans le chapitre suivant nous allons définir la maintenance avec ces types et leurs méthodes d'analyse quantitatives et qualitatives.

Voici le symbole officiel de l'ENIE :



Figure 19: Symbole officiel de l'ENIE.

Chapitre II

Généralités sur la maintenance et les outils de gestion et d'analyse

Chapitre II : Généralités sur la maintenance et les outils de gestion et d'analyse.

II.1 Introduction

La maintenance industrielle est un pilier essentiel de toute stratégie de gestion des actifs, visant à assurer la disponibilité, la fiabilité et la durabilité des équipements et des installations. Depuis ses débuts modestes lors de la révolution industrielle jusqu'à son évolution actuelle, la maintenance a connu de profonds changements, passant d'une approche purement réactive à une approche proactive et prédictive.

Ce chapitre explore l'évolution de la maintenance industrielle, depuis ses origines jusqu'à ses pratiques contemporaines. Nous examinerons les différentes stratégies de maintenance, telles que la maintenance préventive, la maintenance corrective, la maintenance prédictive et la maintenance conditionnelle, ainsi que les technologies et les outils modernes qui révolutionnent la façon dont nous gérons les actifs industriels tel que : le diagramme de Pareto, la méthode d'Ishikawa et la méthode AMDEC.

II.2 Historique

La maintenance industrielle a une histoire riche et évolutive qui a vu l'émergence de nouvelles approches et technologies pour assurer le bon fonctionnement des équipements. Voici un aperçu de l'histoire de la maintenance :

- Avant la Seconde Guerre mondiale, la maintenance des machines industrielles était réalisée au coup par coup, en cas de panne, car les exigences de production n'étaient pas aussi élevées qu'aujourd'hui
- À partir des années 1980, avec l'augmentation de la complexité des installations et des systèmes, la maintenance industrielle est devenue plus spécialisée et essentielle pour éviter les arrêts de production coûteux
- La maintenance préventive s'est développée pour anticiper les pannes et prolonger la durée de vie des équipements, tandis que de nouvelles approches comme la maintenance productive ont révolutionné le secteur
- Les années 2000 ont vu les entreprises chercher à améliorer la gestion de leur maintenance pour réduire les arrêts de production tout en augmentant l'efficacité
- Actuellement, la maintenance industrielle évolue vers une approche prédictive

Chapitre II : Généralités sur la maintenance et les outils de gestion et d'analyse.

(Maintenance 4.0) grâce à l'utilisation de technologies telles que l'internet des objets et l'intelligence artificielle pour détecter les anomalies avant qu'elles ne deviennent critiques. Cette évolution témoigne de l'importance croissante de la maintenance industrielle dans le maintien de la productivité, la réduction des coûts et l'amélioration globale des performances des entreprises.

II.3 Définition

Selon la norme **AFNOR** (Association Française de Normalisation) **NF-X 60 000**, la **maintenance** est « L'ensemble des activités ayant pour objectif de maintenir ou rétablir un bien dans un état spécifié de fonctionnement pour établir une fonction requise. ».

La maintenance rassemble donc l'ensemble des actions techniques (prévention, entretien, dépannage, révision et vérification, réparation, contrôle et diagnostic), mais aussi administratives et de management, permettant à une entreprise de conserver le bon fonctionnement des équipements et d'assurer la production. [3]

II.4 Rôle de la maintenance

La maintenance industrielle joue un rôle crucial dans le bon fonctionnement des équipements industriels et la prévention des pannes. Ses missions incluent le contrôle, la réparation, le réglage, la révision, et la vérification des équipements

De nos jours, la maintenance va au-delà de la simple réparation pour englober des activités préventives et prédictives grâce aux avancées technologiques telles que les capteurs électroniques et les solutions de GMAO

Les objectifs principaux de la maintenance sont d'éviter les arrêts de production, de prévenir les pannes, et d'améliorer la maintenabilité des outils productifs

Les professionnels de la maintenance, tels que les techniciens, ingénieurs, et chargés de maintenance, sont essentiels pour assurer le bon fonctionnement des équipements et optimiser la production industrielle. En outre, la maintenance industrielle contribue à réduire les coûts, à améliorer l'efficacité, et à garantir la qualité des produits ou services fabriqués [4].

Chapitre II : Généralités sur la maintenance et les outils de gestion et d'analyse.

II.5 Les objectifs de la maintenance industrielle

Les objectifs de la maintenance industrielle sont multiples et essentiels pour assurer le bon fonctionnement des équipements et des infrastructures dans le secteur industriel. Voici un aperçu des principaux objectifs de la maintenance industrielle [5] [6].

- Assurer le bon fonctionnement des matériels de production.
- Atteindre la production prévue.
- Assurer les normes de qualité des produits fabriqués.
- Optimiser la durée de chaque production et des livraisons des produits finis.
- Réduire les pollutions et préserver l'environnement.
- Protéger les personnels de l'usine et améliorer les conditions de travail.

1. ↗ la disponibilité des machines (D)
2. ↗ la durée de vie des machines (MTBF)
3. ↘ les taux de défaillances (λ)
4. ↘ les temps d'intervention (MTTR)
5. ↗ les taux de réparation (μ)
6. ↘ les coûts d'exploitation (C_o)
7. Eviter les consommations anormales d'énergie
8. Supprimer les causes d'accidents graves (S).

Figure 20: Les objectifs de la maintenance.

Ces objectifs visent à garantir la performance, la fiabilité, la sécurité, et la durabilité des équipements industriels, tout en contribuant à la productivité et à la rentabilité des entreprises du secteur

Chapitre II : Généralités sur la maintenance et les outils de gestion et d'analyse.

II.6 Terminologies

II.6.1 Défaut

Dans le domaine de la maintenance, un "défaut" fait référence à une imperfection, une anomalie ou un dysfonctionnement constaté sur un bien, un équipement ou une machine. La maintenance corrective intervient après la détection de ce type de défaut pour rétablir l'équipement dans un état lui permettant d'accomplir sa fonction requise. [7]

II.6.2 Défaillance

La défaillance se réfère au passage d'un équipement de l'état de fonctionnement à l'état de panne, marquant ainsi une perte de fonction. C'est le moment où un système ou un appareil ne peut plus produire le résultat attendu. La défaillance est distincte de la panne, car elle représente le passage de l'état de marche à l'état de panne, indiquant une perte de fonction [7]

II.6.3 Panne

Une panne se produit lorsque l'équipement cesse de fonctionner normalement, passant de l'état de marche à l'état de panne. C'est un symptôme révélant un dysfonctionnement nécessitant une intervention de maintenance corrective pour rétablir l'équipement en état de fonctionnement optimal.

Si un état où un équipement cesse de fonctionner correctement, nécessitant une action de maintenance corrective pour identifier la cause sous-jacente et remédier au problème afin de restaurer la capacité opérationnelle de l'équipement.

La Panne est un état et la défaillance est le passage de l'état de Marche à l'état de Panne. [8]

Figure 21: Courbe de taux de défaillance.

Chapitre II : Généralités sur la maintenance et les outils de gestion et d'analyse.

II.6.4 Taux de défaillance

C'est la proportion d'éléments qui en vécu un temps (t) et qui ne sont plus en vie à l'instant (t + dt). Il représente la vitesse de variation de fiabilité R(t) au cours du temps.

Ou bien il est exprimé par la probabilité qu'il apparaisse une défaillance entre l'instant (t) et à l'instant (t + dt) rapportée à la pulsation des survivants à l'instant (t), comme est donné par l'équation (Eq II.1) [9]:

$$\lambda(t) = -\frac{1}{R} \frac{dR}{dt} = -\frac{d(\ln R)}{dt} \quad (\text{Eq II.1})$$

Avec:
t= temps ,
R= fiabilité,
 λ = Le taux de défaillance évoluer dans le temps (plus il augmente, plus la fiabilité du produit diminue), comme c'est indiqué dans la figure [12].

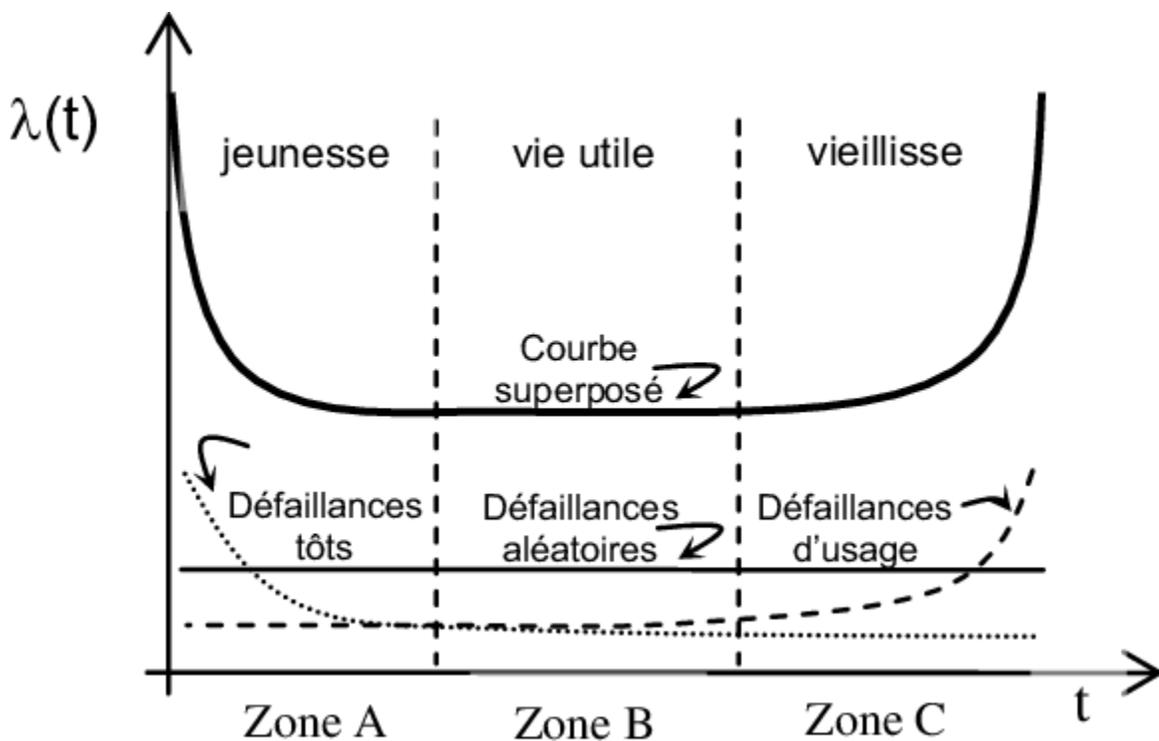


Figure 22: Courbe de taux de défaillance.

II.7 Les niveaux de la maintenance

Un niveau de maintenance se définit par rapport à :

- La nature de l'intervention.
- La qualification de l'intervenant.
- Les différents moyens mis en œuvre. [9]

La norme (NF X60-010) propose, à titre indicatif, les 5 niveaux suivants, qui sont résumés dans la figure suivante :

Norme AFNOR X 60 – 010 2/2

Niveaux de maintenance

	OBJECTIFS	OPERATEURS	MOYENS
V	Reconstruction Rénovation	Constructeur Reconstructeur	Définis par le constructeur
IV	Révisions Réparation moyenne	Equipe d 'encadrement technique spécialisée	Atelier - out. spécialisé Doc. complète
III	Diagnostic des pannes et échange standard d 'éléments complexes Réparations mineures	Technicien spécialiste	Outillage spécifique Doc. partielle détaillée
II	Dépannage par échange standard Maintenance préventive mineure	Technicien moyen- nement qualifié	Outillage portable
I	Réglages simples Echanges d 'éléments consommables	Exploitant (utilisateur)	Pas d 'outillage

Figure 22: Les niveaux de la maintenance selon la norme AFNOR X60-0

II.8 Les normes de la maintenance

Les normes de la maintenance industrielle sont essentielles pour garantir des pratiques de maintenance efficaces et sécurisées. Plusieurs normes régissent ce domaine, parmi lesquelles on retrouve [12]:

- **La norme NF EN 13306 X 60-319** : qui définit les principaux termes de la maintenance, tels que la maintenance préventive et corrective
- **La norme NF X 60-000** : qui présente les lignes directrices pour concevoir le processus de maintenance d'une entreprise, en intégrant différents niveaux de maintenance du niveau 1 au niveau 5
- **La norme NF EN 17007** : qui fournit des indications pour déterminer les indicateurs de performance clés pour mesurer l'efficacité des interventions de maintenance
- **La norme NF EN 15341** : qui intègre les indicateurs de performance dans un processus de maintenance dynamique
- **La norme NF EN 15628** : qui spécifie les qualifications du personnel de maintenance
- **La série de normes NF EN 60300** : qui décrit le cadre de la sûreté de fonctionnement des processus, systèmes, services et produits
- **La norme NF EN 16646** : qui décrit les processus de maintenance dans le cadre de la gestion d'actifs physique.

Ces normes couvrent divers aspects de la maintenance industrielle, allant de la qualification du personnel à la planification des activités de maintenance et à l'établissement d'indicateurs de performance pour évaluer l'efficacité des interventions.

Chapitre II : Généralités sur la maintenance et les outils de gestion et d'analyse.

II.9 Sûreté de fonctionnement (SDF)

II.9.1 Définition

La sûreté de fonctionnement est l'aptitude d'un système à remplir une ou plusieurs fonctions requises dans des conditions données. [13]

II.9.2 Les composants de la sûreté de fonctionnement

Elle englobe principalement quatre composantes : la fiabilité, la maintenabilité, la disponibilité et la sécurité. La connaissance de cette aptitude permet aux utilisateurs du système de placer une confiance justifiée dans le service qu'il leur assure.

II.9.2.1 La fiabilité

La fiabilité (Reliability en anglais) est l'aptitude d'une entité à accomplir les fonctions requises dans des conditions données pendant une durée donnée. Elle est caractérisée par la probabilité $R(t)$ que l'entité E accomplisse ces fonctions, dans les conditions données pendant l'intervalle de temps $[0, t]$, sachant que l'entité n'est pas en panne à l'instant 0. [14]

$$R(t) = P [E \text{ non défaillance sur } [0, t]] \quad (\text{Eq II. 2})$$

II.9.2.2 Disponibilité

La disponibilité (Availability en anglais) 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 est caractérisée par la probabilité $A(t)$ que l'entité E soit en état, à l'instant t , d'accomplir les fonctions requises dans des conditions données. [14]

$$A(t) = P [E \text{ non défaillante à l'instant } t] \quad (\text{Eq II. 3})$$

II.9.2.3 Maintenabilité

La maintenabilité (Maintainability en anglais) est l'aptitude d'une entité à être maintenue ou rétablie dans un état dans lequel elle peut accomplir une fonction requise, lorsque la maintenance est réalisée dans des conditions données avec des procédures et des moyens prescrits. Elle 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. [14]

$$M(t) = P [E \text{ est réparée sur } [0, t]] \quad (\text{Eq II. 4})$$

II.9.2.4 Sécurité

La sécurité (Safety en anglais) est l'aptitude d'une entité à éviter de faire apparaître, dans des

Chapitre II : Généralités sur la maintenance et les outils de gestion et d'analyse.

conditions données, des événements critiques ou catastrophiques. Elle est caractérisée par la probabilité $S(t)$ que l'entité E ne laisse pas apparaître dans des conditions données, des événements critiques ou catastrophiques. [14] [16]



Figure 23: Les composants de sûreté de fonctionnement.

II.10 Les politiques de la maintenance

Il existe deux principales familles de maintenance : la maintenance corrective et la maintenance préventive. La maintenance corrective est celle appliquée sur le système lorsque la défaillance est déjà présente et qu'il faut réparer. La maintenance préventive est celle qui permet d'anticiper et de prévenir les défaillances. [16]

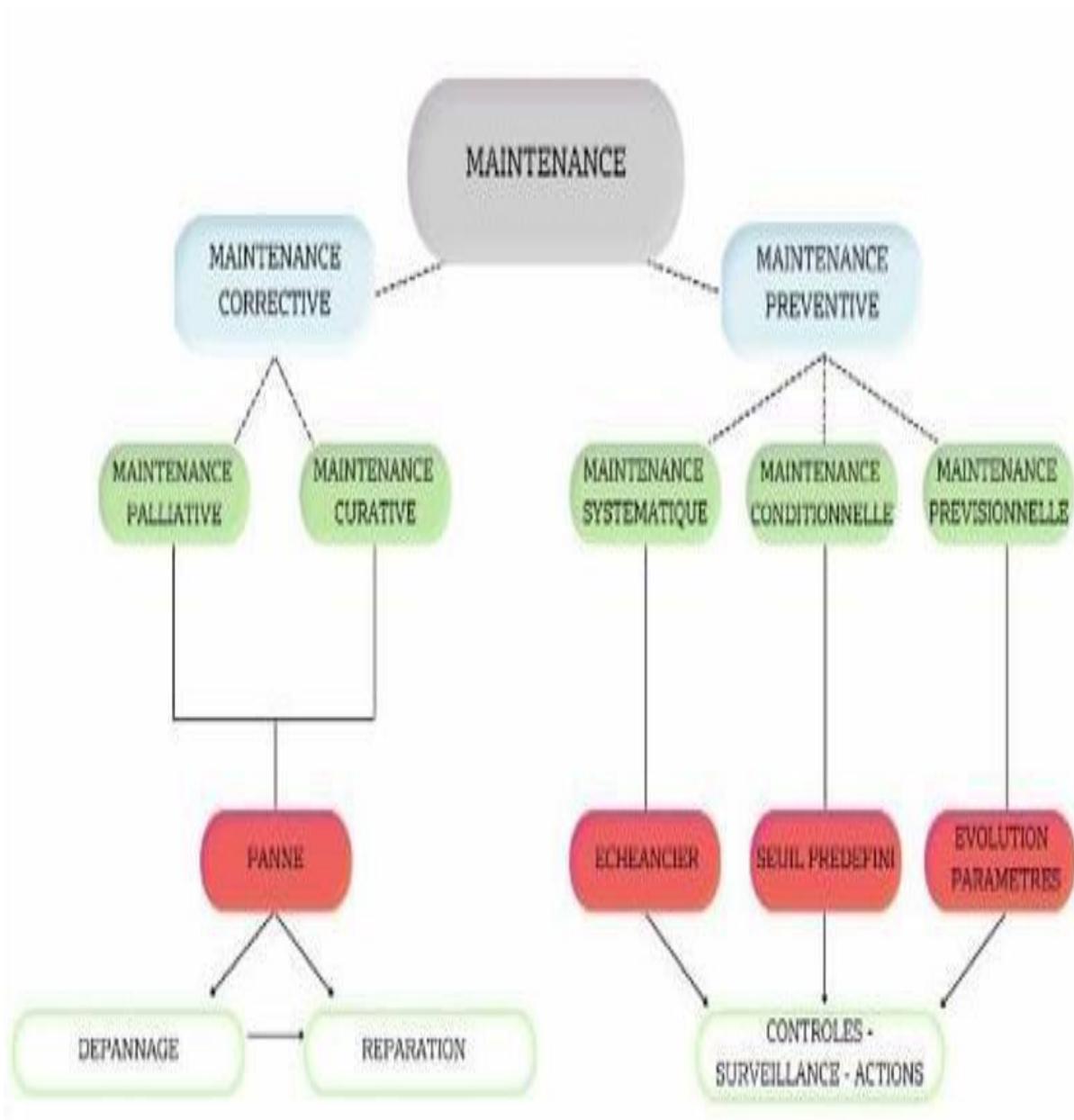


Figure 24: Les politiques de la maintenance.

II.10.1 Maintenance corrective

Définition AFNOR de la maintenance corrective : « Maintenance exécutée après détection d'une panne et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise ».

La maintenance corrective correspond à une opération engagée suite à une panne, un sinistre ou un aléa. Elle a pour objectif de remettre en fonctionnement les machines par un dépannage, une réparation ou le remplacement de pièces défectueuses.

On distingue deux types de maintenance corrective : [17]

Chapitre II : Généralités sur la maintenance et les outils de gestion et d'analyse.

II.10.1.1 Maintenance palliative

La maintenance palliative correspond au dépannage. Elle consiste à remettre provisoirement une machine ou un outil en état, dans l'attente de sa réparation. La maintenance palliative permet d'éviter l'arrêt totale de production, on parle alors de reprise de production en mode « dégradé ».

- **Dépannage** : actions physiques exécutées pour permettre à un bien d'accomplir sa fonction requise pendant une durée limitée jusqu'à ce que la réparation soit exécutée.
- **Exemple** : Lorsqu'un tuyau d'arrosage est percé, une maintenance palliative consiste à réparer provisoirement la fuite avec du ruban adhésif. [17]

II.10.1.2 Maintenance curative

La maintenance curative répare les causes et conséquences de la panne. Contrairement à la maintenance palliative, il s'agit d'une action en profondeur qui agit sur le long terme, souvent en remplaçant la pièce défectueuse par une neuve. L'équipement reprend alors une production normale.

- **Réparation** : actions physiques exécutées pour rétablir la fonction requise d'un bien en panne.
- **Exemple** : L'action de maintenance curative sera de changer le tuyau d'arrosage percé par un nouveau tuyau. [17]

II.10.2 Maintenance préventive

Définition AFNOR de la maintenance préventive : « Maintenance exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits et destinée à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'un bien ». La maintenance préventive est donc, comme son nom l'indique, de la prévention par l'entretien régulier d'une machine ou d'un bien. Elle consiste à faire des contrôles selon des normes établies et/ou conformément aux instructions du fabricant, mais également en fonction de l'expérience humaine et des historiques d'interventions réalisés sur le bien. La maintenance préventive a pour but de :

- Garantir la disponibilité du bien.
- Augmenter sa durée de vie,
- Diminuer la probabilité des pannes et donc d'actions de maintenance corrective,
- Contrôler les consommations d'énergie ou de pièces détachées en contribuant à la maîtrise des stocks.

Chapitre II : Généralités sur la maintenance et les outils de gestion et d'analyse.

On distingue plusieurs types de maintenance préventive : [17]

II.10.2.1 Maintenance systématique

La maintenance préventive systématique est effectuée selon un échéancier, en fonction du temps ou du nombre d'unités d'usage, mais sans contrôle préalable du bien.

La fréquence des interventions est établie à compter de la mise en fonctionnement du bien ou à la suite d'une révision partielle ou complète de celui-ci.

- **Exemple** : Le changement d'huile sur une machine peut être défini au bout d'un certain nombre de semaines d'utilisation sans contrôle spécifique préalable. [17]

II.10.2.2 Maintenance conditionnelle

La maintenance préventive conditionnelle est basée sur une surveillance du bien en fonction d'un type d'évènement prédéfini (auto-diagnostique, information de capteurs...). Elle fait intervenir des informations recueillies en temps réel, au moyen de techniques comme la tribologie ou la thermographie par infra-rouge, avec pour objectif d'intervenir au moment où le bien a franchi le seuil d'usure ou de dégradation fixé préalablement. Il s'agit d'effectuer la bonne opération au bon moment, pour une meilleure maîtrise des coûts.

- **Exemple** : L'analyse régulière des huiles d'une machine permet de détecter les pollutions, les usures de l'équipement et la qualité du lubrifiant, et de changer le lubrifiant lorsqu'il ne répond plus aux critères pour un bon fonctionnement. [17]

II.10.2.3 Maintenance prévisionnelle

La maintenance prévisionnelle (parfois appelée prédictive) est d'après la définition AFNOR « une maintenance conditionnelle exécutée en suivant les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évaluation de paramètres significatifs de la dégradation du bien ».

Elle consiste à anticiper les besoins de la maintenance en permettant de prévenir les pannes ou les défaillances. C'est la maintenance 4.0, avec une surveillance en continu des évolutions de certains paramètres, des seuils, des différentes data (logiciel GMAO, etc...), permettant une gestion précise pour déclencher la bonne intervention en fonction de l'ensemble des paramètres. [17]

Chapitre II : Généralités sur la maintenance et les outils de gestion et d'analyse.

II.10.2.4 La maintenance améliorative

La maintenance améliorative est moins connue et souvent considérée comme une « activité connexe ». Elle désigne un ensemble de mesures techniques, administrative et de gestion visant à améliorer la sûreté de fonctionnement d'un bien en modifiant la conception d'origine mais sans changer sa fonction requise.

Les objectifs de la maintenance améliorative peuvent être, réduire la consommation d'énergie, augmenter la durée de vie des composants, améliorer la maintenabilité, augmenter les performances de production, etc.

Les interventions de maintenance améliorative prennent la forme d'actions de rénovation, de reconstruction ou de modernisation. [18]

II.11 Les outils de maintenance

Il existe plusieurs outils de maintenance, dont on cite :

II.11.1 Arbre de défaillances AdD

Un arbre de défaillances ou ADD (aussi appelé arbre pannes ou arbre défauts) est une technique d'ingénierie très utilisée dans les études de sécurité et de fiabilité des systèmes statiques. [19]

II.11.1.1 Principe

L'analyse par arbre de défaillances est une méthode de type déductif. En effet, il s'agit, à partir d'un événement redouté défini a priori, de déterminer les enchaînements d'événements ou combinaisons d'événements pouvant finalement conduire à cet événement. Cette analyse permet de remonter de causes en causes jusqu'aux événements de base susceptibles d'être à l'origine de l'événement redouté. [20]

II.11.1.2 Avantages

L'arbre de défaillance permet de :

- Considérer des combinaisons d'événements pouvant éventuellement conduire à un événement redouté.
- Disposer des critères pour déterminer les priorités pour la prévention d'accidents potentiels.
- Avoir une bonne adéquation avec l'analyse d'accidents. [20]

Chapitre II : Généralités sur la maintenance et les outils de gestion et d'analyse.

II.11.1.3 Les inconvénients

L'arbre de défaillance contient les inconvénients suivants :

- Ne rend pas compte de l'aspect temporel des scénarios d'événements conduisant à la défaillance.
- Cette méthode est binaire, un événement peut soit se produire, soit ne pas se produire. [21]

II.11.2 Diagramme d'Ishikawa

Le diagramme d'Ishikawa est un outil qui a été développé par Kaoru Ishikawa en 1962. Ce diagramme représente de façon graphique les causes aboutissant à un effet. Il peut être utilisé comme outil de résolution de problème d'entreprise et de visualisation synthétique et de communication des causes identifiées. Il peut être utilisé dans le cadre de recherche de cause d'un problème ou d'identification et de gestion des risques lors de la mise en place d'un projet. Ce diagramme se structure habituellement autour du concept des 5 M (Main-d'œuvre, Matériel, Matière, Méthode et Milieu). [22]

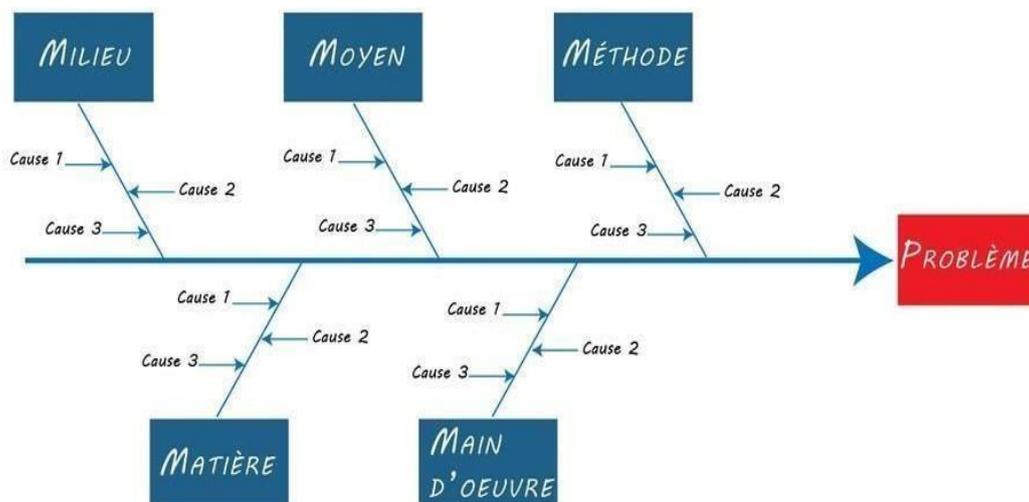


Figure 25: La représentation de diagramme d'Ishikawa.
[9]

Chapitre II : Généralités sur la maintenance et les outils de gestion et d'analyse.

II.11.2.1 But

Le principal intérêt du diagramme d'Ishikawa est d'identifier l'ensemble des causes qui ont une influence, plus ou moins directe, sur un problème observé. [23]

II.11.2.2 Avantages

Le diagramme d'Ishikawa présente plusieurs avantages, notamment :

- Ils aident à identifier les causes profondes des problèmes.
- Ils aident les membres de l'équipe à communiquer et à partager des idées plus efficacement.
- Ils permettent aux équipes d'organiser visuellement des informations complexes.
- Ils peuvent être utilisés pour trouver des solutions à des problèmes.
- Ils permettent aux équipes de suivre les progrès et de planifier les actions futures. [24]

II.11.2.3 Inconvénients

Le diagramme d'Ishikawa présente quelques inconvénients à prendre en compte, notamment :

- Leur création peut prendre beaucoup de temps.
- Il peut être difficile à interpréter s'il n'est pas bien conçu.
- Il peut être biaisé ou incomplet si les membres de l'équipe ne participent pas activement au processus d'analyse.
- Il peut y avoir un risque de se concentrer trop fortement sur les facteurs individuels au lieu de considérer comment ils pourraient interagir les uns avec les autres.
- Il peut être difficile à appliquer dans des situations où de multiples facteurs interdépendants sont impliqués. [24]

II.11.3 Méthode Diagramme Pareto

Le diagramme de Pareto est un graphique, basé sur le principe de la loi de Pareto, qui cherche à examiner les données que l'on peut répartir en catégories, dans le but d'identifier les catégories sur lesquels il faut concentrer les efforts d'amélioration.

On peut utiliser cette méthode dans divers contextes. Par exemple, dans l'industrie, pour le traitement des réclamations client, les coûts, les pannes. [25]

Chapitre II : Généralités sur la maintenance et les outils de gestion et d'analyse.

II.11.3.1 Principe

La loi de Pareto est une méthode qui a pour but de déceler ce qui est important et prioritaire de ce qui est moins important et secondaire. L'intérêt est de se focaliser sur ce qui est stratégique comme les causes principales d'un problème, ou ce qui génère le plus de valeur. [25]

Ce diagramme est construit en plusieurs étapes, voire Figure 26:

- Collecte des données
- Classement des données au sein de catégories
- Calcul du pourcentage de chaque catégorie par rapport au total
- Tri des catégories par ordre d'importance [26]

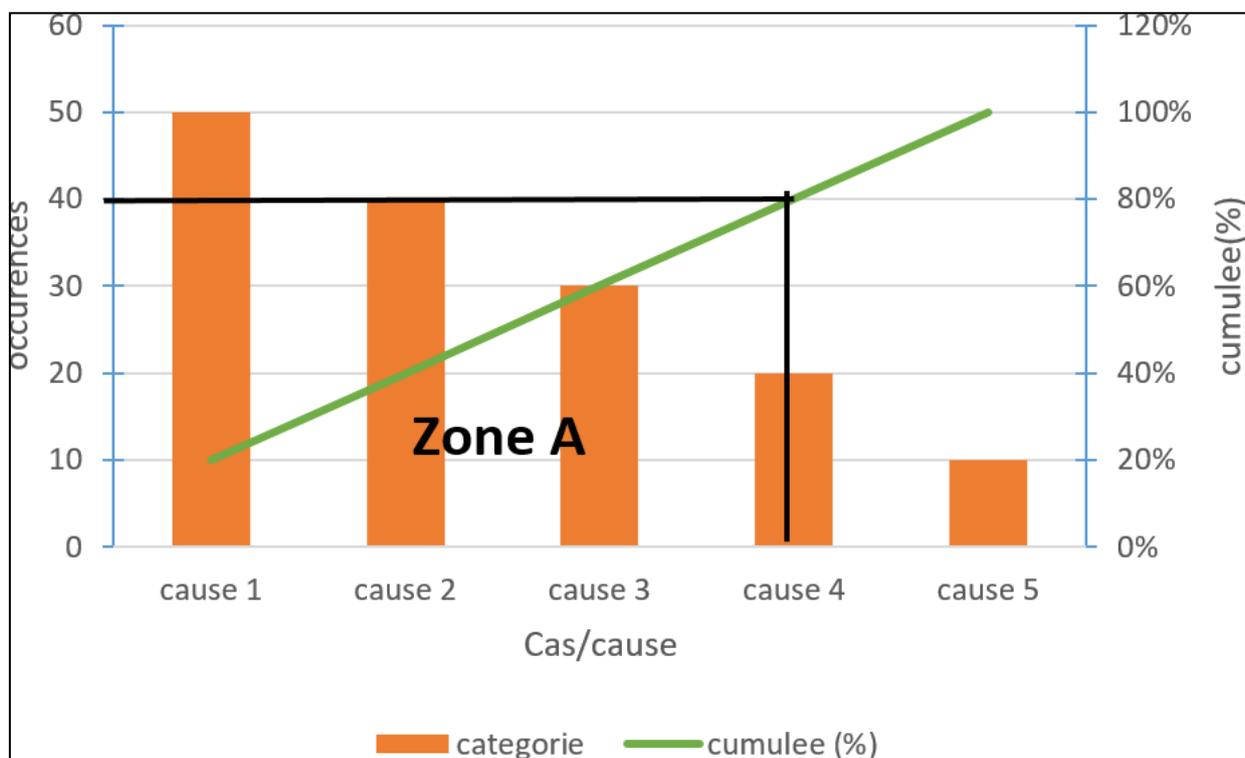


Figure 26: Diagramme de Pareto (Loi de 80-20)

Selon la figure 26, les causes : (cause 1, cause 2, cause 3, cause 4) représentent 80% des résultats proviennent 20% des causes.

II.11.4 Méthode AMDEC

L'AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité) est une méthode d'analyse prévisionnelle de la fiabilité, qui permet de recenser les modes de défaillances potentielles dont les conséquences affectent le bon fonctionnement du moyen de production, de l'équipement ou du processus étudié, puis d'estimer les risques liés à l'apparition de ces défaillances, afin d'engager les actions correctives ou préventives à apporter lors de la conception, la réalisation ou l'exploitation du moyen de production, du produit ou du processus. Il s'agit d'une technique d'analyse exhaustive (qui permet d'analyser à la fois les causes, les effets et leurs modes de défaillances) et rigoureuse de travail en groupe. Cette méthode est très efficace dès lors que l'on met en commun l'expérience et la compétence de chaque participant du groupe de travail.

AMDEC peut s'appliquer à tous les systèmes risquant de ne pas tenir les objectifs de fiabilité, maintenabilité, qualité du produit fabriqué et/ou de sécurité. [27]

II.11.4.1 Historique

La méthode AMDEC a été développée aux États-Unis et utilisée depuis les années quarante en spatial et en aéronautique. Depuis sa première mise en œuvre, des adaptations ont été apportées et concernent les AMDEC : produit, procédé, machines, moyens de production et organisationnelles. De très nombreuses normes internationales, nationales et sectorielles ont vu le jour depuis plusieurs décennies.

L'AMDEC a été utilisée aux États-Unis par la société Mc Donnell Douglas depuis les années soixante. Elle consistait à dresser la liste des composants d'un produit et accumuler des informations sur les modes de défaillance, leur fréquence et leurs conséquences. La méthode a été mise au point sous le nom de FMEA pour évaluer l'efficacité d'un système.

À la fin des années soixante-dix, la méthode fait largement adoptée par Toyota, Nissan, Ford, BMW, Peugeot, Volvo, Chrysler et d'autres grands constructeurs d'automobiles. La méthode a fait ces preuves dans les industries suivantes : spatiales, mécanique, électronique, électrotechnique, automobile, nucléaire, aéronautique, chimie, informatique plus récemment, on commence à s'y intéresser dans les services, actuellement elle est adoptée :

- Parmi les méthodes d'analyse de la fiabilité.
- Certaines procédures définies dans le cadre d'une démarche qualité (application des Normes ISO 9000, par exemple) incluent l'utilisation de l'AMDEC à différents stades du développement des produits ou des procédés.
- Dans ses principes, L'AMDEC est une méthode stabilisée depuis de nombreuses années : la

Chapitre II : Généralités sur la maintenance et les outils de gestion et d'analyse.

Norme NF X 60-510 « techniques d'analyse de la fiabilité des systèmes - Procédure d'analyse des modes de défaillance et de leurs effets (AMDE) » a été publiée en décembre 1986. [9]

II.11.4.2 Objectifs de la méthodologie AMDEC

Dans le cadre de la démarche qualité, la méthode AMDEC, qui signifie Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité, joue un rôle clé. Elle consiste à :

- Identifier les causes et les effets de l'échec potentiel d'un procédé ou d'un moyen de production
- Identifier les actions pouvant éliminer (ou du moins réduire) l'échec potentiel
- Elle consiste à imaginer les dysfonctionnements menant à l'échec avant même que ceux-ci naissent produisent. [28] [1]

II.11.4.3 Différents types d'AMDEC

Il existe différents types d'AMDEC, dont les trois principaux sont :

- **AMDEC Produit** : Analyse des défaillances d'un produit, dues à sa conception, sa fabrication ou son exploitation, pour améliorer sa qualité et sa fiabilité.
- **AMDEC Processus** : Analyse des défaillances sur les méthodes de production d'un produit ainsi que les procédures mises en œuvre pour accomplir une tâche.
- **AMDEC Moyens de Production** : Analyse des défaillances des machines et équipements intervenants dans la réalisation d'un produit. [29]

II.11.4.4 Démarche de la méthode AMDEC

La méthode **AMDEC Processus / Procédé** est utilisée pour analyser les modes de défaillance et valider la fiabilité d'un processus de fabrication. L'idée est de rechercher comment un processus pourrait mener à une non-conformité et quelles pourraient-être les conséquences associées. [30]

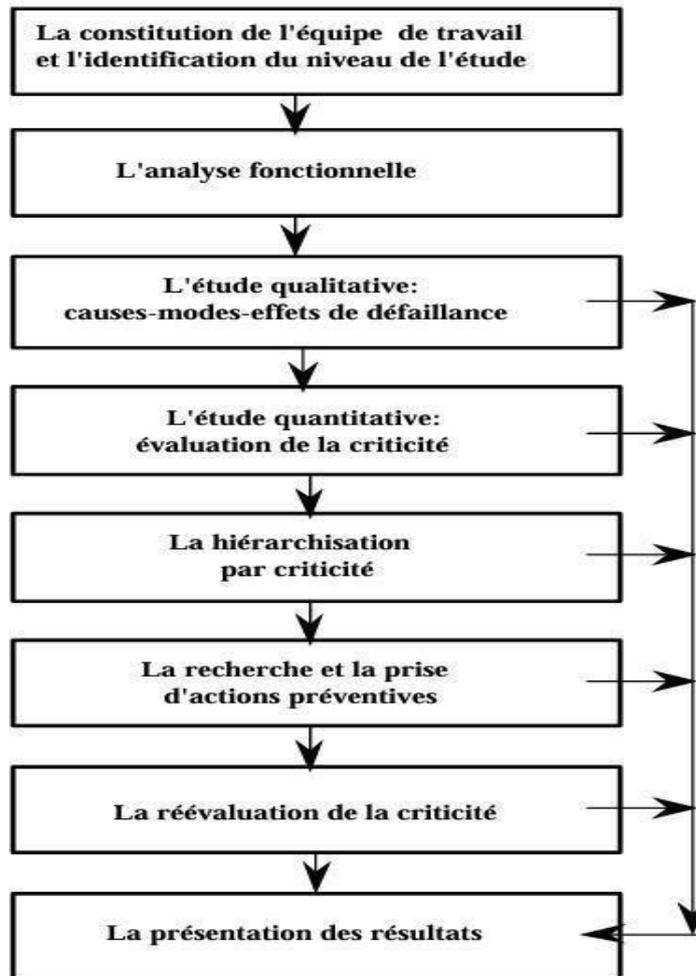


Figure 27: Démarche d'AMDEC. [1]

II.11.4.5 Analyse de la criticité

La criticité est obtenue par une triple cotation : [9]

F : La fréquence d'apparition de la défaillance,

G : La gravité de la défaillance,

N : La probabilité de non-détection de la défaillance, C :

Indice de criticité,

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

(Eq II.6)

Chapitre II : Généralités sur la maintenance et les outils de gestion et d'analyse.

Les tableaux 1, 2 et 3 correspondent aux valeurs de fréquence, détection et gravité, qui permettent de calculer la criticité. Le tableau 4 correspond à la valeur de criticité qui permet, de savoir les actions Correctives à engager. [9]

Tableau 1: Les valeurs de fréquence. [9]

Fréquence: F	
1	1 défaillance maxi par année
2	1 défaillance maxi par trimestre
3	1 défaillance maxi par mois
4	1 défaillance maxi par semaine

Tableau 2: Les valeurs de la détection. [9]

No détection : N	
1	Visite par opérateur
2	Détection aisée par un agent de maintenance
3	Détection délicate
4	Indécelable

Tableau 3: Les valeurs de la gravité. [9]

Gravité : G	
1	Pas d'arrêt de la production
2	Arrêt \leq 1 heure
3	1 heure $<$ arrêt \leq 1 jour
4	arrêt $>$ 1 jour

Chapitre II : Généralités sur la maintenance et les outils de gestion et d'analyse.

Tableau 4: Les valeurs de la criticité.

Niveau de criticité	Actions correctives à engager
$1 \leq C < 10$ Criticité négligeable	Aucune modification de conception Maintenance corrective
$10 \leq C < 20$ Criticité moyenne	Amélioration des performances de l'élément Maintenance préventive systématique
$20 \leq C < 40$ Criticité élevée	Révision de la conception de sous-ensemble et du choix des éléments Surveillance particulière, maintenance préventive conditionnelle/prévisionnelle
$40 \leq C < 64$ Criticité interdite	Remise en cause complète de la conception

II.12 Conclusion

La maintenance industrielle est un processus essentiel pour les entreprises afin d'améliorer leurs performances et de respecter les réglementations et normes environnementales. Cependant, cela peut également comporter des risques pour la sécurité des travailleurs et l'environnement.

Dans le chapitre suivant, nous allons étudier la maintenance des équipements de l'entreprise ENIE, en utilisant comme outils le diagramme de Pareto et AMDEC.

Chapitre III
Mise en place de la méthode
PARETO
Et AMDEC dans l'entreprise.

Chapitre III : Mise en place de la méthode PARETO et AMDEC dans l'entreprise.

III.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons appliquer des méthodes de maintenance sur l'entreprise ENIE de SIDI BEL ABBES (unité intégration électronique) pour améliorer le rendement de production. Cela en appliquant le diagramme de Pareto pour extraire les sous-équipements les plus critiques. Par la suite, mettre en place la méthode AMDEC sur les sous équipements défaillants, qui nous permet de proposer le type de maintenance appliqué à chaque élément critique et suggérer quelques solutions sur ces éléments afin de réduire la diminution de rendement de production.

III.2 Rappel sur la problématique et l'objectif de l'étude

L'entreprise ENIE SIDI BEL ABBES fait face à des défis liés à la qualité de ses produits ou services, ainsi qu'à la gestion des risques associés à ses processus. Ces défis peuvent se manifester par des défauts récurrents dans la production, des erreurs de conception, des problèmes de fiabilité, ou encore des risques potentiels pour la sécurité des clients ou des employés. La problématique centrale est donc de comprendre et de résoudre ces problèmes de manière efficace et efficiente.

Ceci nous a poussé à mener une démarche d'amélioration continue basé sur la méthode AMDEC et les outils d'analyse comme Pareto, afin d'essayer de planifier la maintenance en basant sur les équipements critiques qui causent plus de pannes.

III.3 Analyse de l'entreprise

La résolution de ce problème de diminution de rendement nécessite une enquête en profondeur (Voir figure 28) afin d'analyser la chaîne de valeur de l'entreprise afin de remonter aux causes principales de défauts et défaillances. Pour ce faire, nous allons effectuer une analyse par Pareto, pour but de connaître les équipements et les sous-équipements qui présentent plus de pannes. Finalement, chaque équipement critique sera analysé par la méthode AMDEC afin de proposer des solutions correctives.

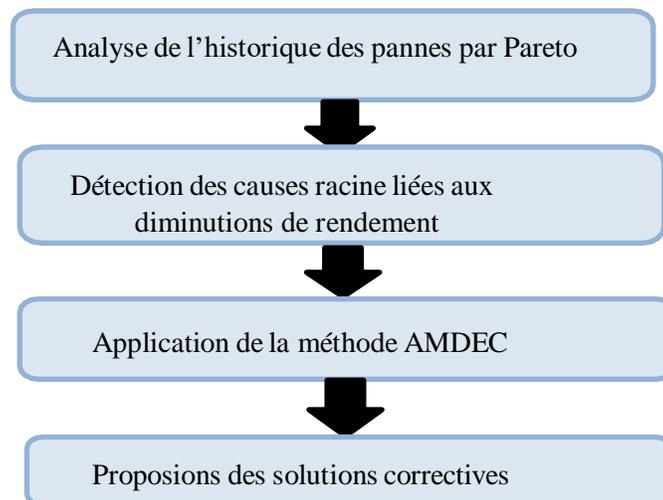


Figure 28: Les étapes d'analyse des problèmes de l'entreprise. [9]

Chapitre III : Mise en place de la méthode PARETO et AMDEC dans l'entreprise.

III.3.1 Organigramme structurel de l'unité IE

L'organigramme suivant (figure 29) illustre les différentes unités de l'entreprise ENIE, précisent les équipements que nous allons les étudier dans l'unité IE.

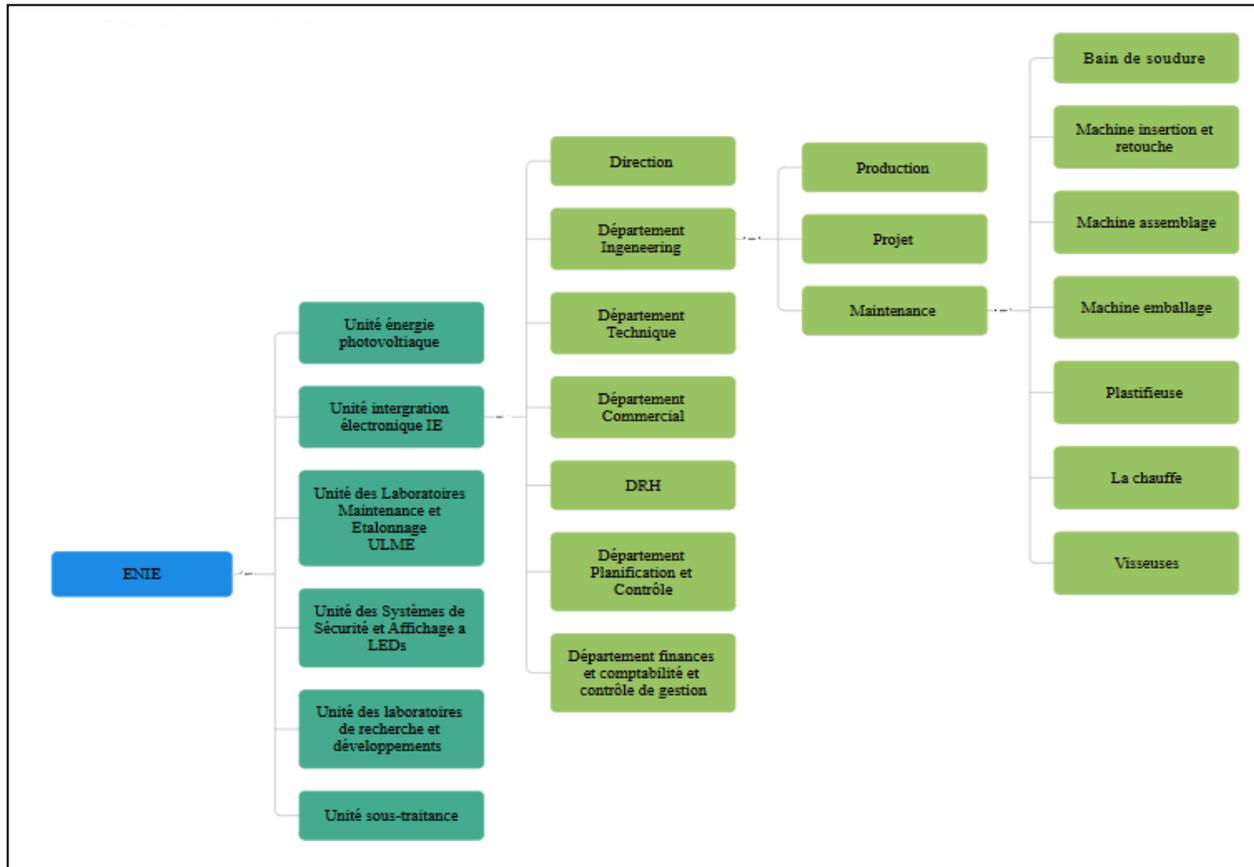


Figure 29: Organigramme structurelle de l'unité IE.

III.3.2 Analyse par Pareto

Le diagramme de Pareto est un outil simple, permis d'exposer de façon factuelle les équipements sur lesquelles il faut agir pour résoudre le problème. Il faut d'abord établir l'historique de panne de chaque équipement, cela permis d'utiliser la durée de panne comme un indicateur pour déterminer les équipements critiques et ensuite ces sous-équipements critiques.

III.3.2.1 Détermination des équipements critiques

D'après les informations données par le département technique de la société, un historique des pannes de trois équipements de production d'une période de **7 trimestres pendant 5ans** a été établi. Les pannes avec leurs causes d'arrêts sont résumées dans le tableau III.1.

Chapitre III : Mise en place de la méthode PARETO et AMDEC dans l'entreprise.

Tableau 5 : Historique de pannes (période de 7 trimestres)

Équipements	Sous-équipements	Causes d'arrêt	Nombre de panne	Temps de panne (min)	Temps globaux de panne de L'équipement(min)
Machine d'insertion et retouche	La chaîne d'insertion	Réparation de la chaîne d'insertion	2	60	610
	La chaîne de sortie	Réparation de la chaîne sortie bain de soudure	3	180	
	Variateur de vitesse du convoyeur	Changement du variateur de Vitesse du convoyeur d'insertion	1	30	
	Ventilateurs de refroidissement	Changement des ventilateurs de refroidissements des cartes électroniques	2	180	
	La terre	Installation de la mise à la terre	1	120	
	pignon de convoyeur sortie b.s.03	Réparation du pignon de convoyeur sortie b.s.03	2	40	
Bain de soudure	Pompes b.s.03	Changement des pompes centrifuges b.s.03	1	120	2300
	bagues d'étanchéité des pompes	Changement des bagues d'étanchéité des pompes	4	60	
	Doigts de convoyeur	Changement des doigts usés du bain de soudure	15	930	

Chapitre III : Mise en place de la méthode PARETO et AMDEC dans l'entreprise.

	les roulements de l'arbre	Remplacement les roulements de l'arbre SmartWave	1	35	
	capteurs	Changement des capteurs	3	180	
	fixtures	Blocage des fixtures	2	240	
	Chaine de sortie bain de soudure	Réglage le problème du la chaine de sortie bain de soudure	2	60	
	La grille	Changement de la grille	3	45	
	Fluxer a buse	Réglage le problème de fluxer à buse	1	300	
	filtres	Changement desfiltres	3	150	
	Electrovanne	Fuite de flux au niveau de l'électrovanne	2	60	
	Les lampes chauffantes	Changement des lampes chauffantes du bain de soudure 02	1	120	
Machine d'assemblage	vérin pneumatique	Changement du vérin pneumatique	1	30	3485
	l'ascenseur CPL1 (chaine1)	blocage de l'ascenseur CPL1 (chaine1)	5	75	
	La sertisseuse	Réparation de la sertisseuse	4	270	

Chapitre III : Mise en place de la méthode PARETO et AMDEC dans l'entreprise.

la terre (chaîne2- assemblage)	Installation de la mise à la terre (chaîne2- assemblage)	1	45
pignon traversant TRV1 (chaîne 2)	Réparation du problème de pignon traversant TRV1 (chaîne 2)	6	90
moteur asynchrone	Contrôle l'état des moteur asynchrone	1	240
la chaîne de sortie	Réparation de la chaîne de sortie	1	360
convoyeur	Réglage le problème du convoyeur	2	60
switch de la chaîne d'assemblage	Réglage le problème de switch de la chaîne d'assemblag e	10	210
raccord pneumatique	Problème de raccord pneumatique	4	120
visseuses pneumatiques et électriques	Installation des visseuses pneumatiques et électriques 2	4	240
tables de dépannages	Installation électrique des tables de dépannages	4	180
mèches des visseuses pneumatiques	Changement des mèches des visseuses pneumatiques de la chaîne 2	2	20
palettes	Changement des palettes	4	360
ascenseur 2eme chaîne CPL3	Problème d'ascenseur 2eme chaîne CPL3	4	210

Chapitre III : Mise en place de la méthode PARETO et AMDEC dans l'entreprise.

		(défaillance de distributeur)			
	capteur d'ascenseur 4	Changement du capteur d'ascenseur 4 (chaîne 1)	4	60	
	Capteur d'ascenseur 2 (chaîne 1)	Changement du capteur d'ascenseur 2 (chaîne 1)	2	30	
	disjoncteur principal de la chaîne 1	Problème du disjoncteur principal de la chaîne 1	4	480	
	paliers du convoyeur	Changement des paliers du convoyeur	1	120	
	Moteur réducteur	Contrôle du Moteur réducteur	1	360	
La chauffe	La chauffe	Problème électrique au niveau de la chauffe	1	240	240
Machine d'emballage	l'agrafeuse pneumatique 2	Réparation de l'agrafeuse pneumatique 2	2	20	290
	machine d'emballage	Réparation le blocage du machine d'emballage	4	240	
	l'agrafeuse pneumatique 1	Réparation de l'agrafeuse pneumatique 1	2	30	
plastifieuse	La chaîne	Réparation de la chaîne	5	520	1360
	l'ionisateur 1	Installation de l'ionisateur 1		30	
	l'ionisateur 2	Installation de l'ionisateur 2		30	

Chapitre III : Mise en place de la méthode PARETO et AMDEC dans l'entreprise.

	roulement de palier plastifieuse 1	Changement du roulement de palier plastifieuse 1	1	60	
	capteur de sécurité de la plastifieuse 1	Réparation du capteur de sécurité de la plastifieuse 1		60	
	capteur de position de la plastifieuse 1	Réparation du capteur de position de la plastifieuse 1	4	240	
	rouleau de plastifieuse 1	Changement du rouleau de plastifieuse 1		120	
	rouleau de plastifieuse 2	Changement du rouleau de plastifieuse 2	4	120	
	capteur de sécurité de la plastifieuse 2	Réparation du capteur de sécurité de la plastifieuse 2	2	120	
	la terre	Installation de la mise à la terre	1	60	
visseuses	Alimentation pour les visseuses électriques	Installation des alimentations pour les visseuses électriques	1	60	165
		Changement l'emplacement des visseuses électriques	1	45	
		Installation de visseuse électrique	2	60	

Chapitre III : Mise en place de la méthode PARETO et AMDEC dans l'entreprise.

Pour identifier les équipements critiques, on commence par classer les pannes de chaque équipement par ordre décroissant de durée. Ensuite, calculer le cumul de ces pannes et leurs pourcentages (voir tableau 6). Enfin, établissez le graphe de Pareto comme illustré dans la figure 28.

Tableau 6: Les pourcentages cumulés de durées de pannes des 7 équipements.

Équipements	Temps de pannes (min)	Cumulée des temps de pannes (min)	Cumulée des temps de pannes (%)
Machine d'assemblage	3485	3485	41,24%
Bain de soudure	2300	5785	68,46%
plastifieuse	1360	7145	84,55%
Machine d'insertion et retouche	610	7755	91,77%
Machine d'emballage	290	8045	95,20%
La chauffe	240	8285	98,04%
visseuses	165	8450	100%

En se basant sur les résultats présentés dans le tableau ci-dessus, nous traçons le diagramme suivant :

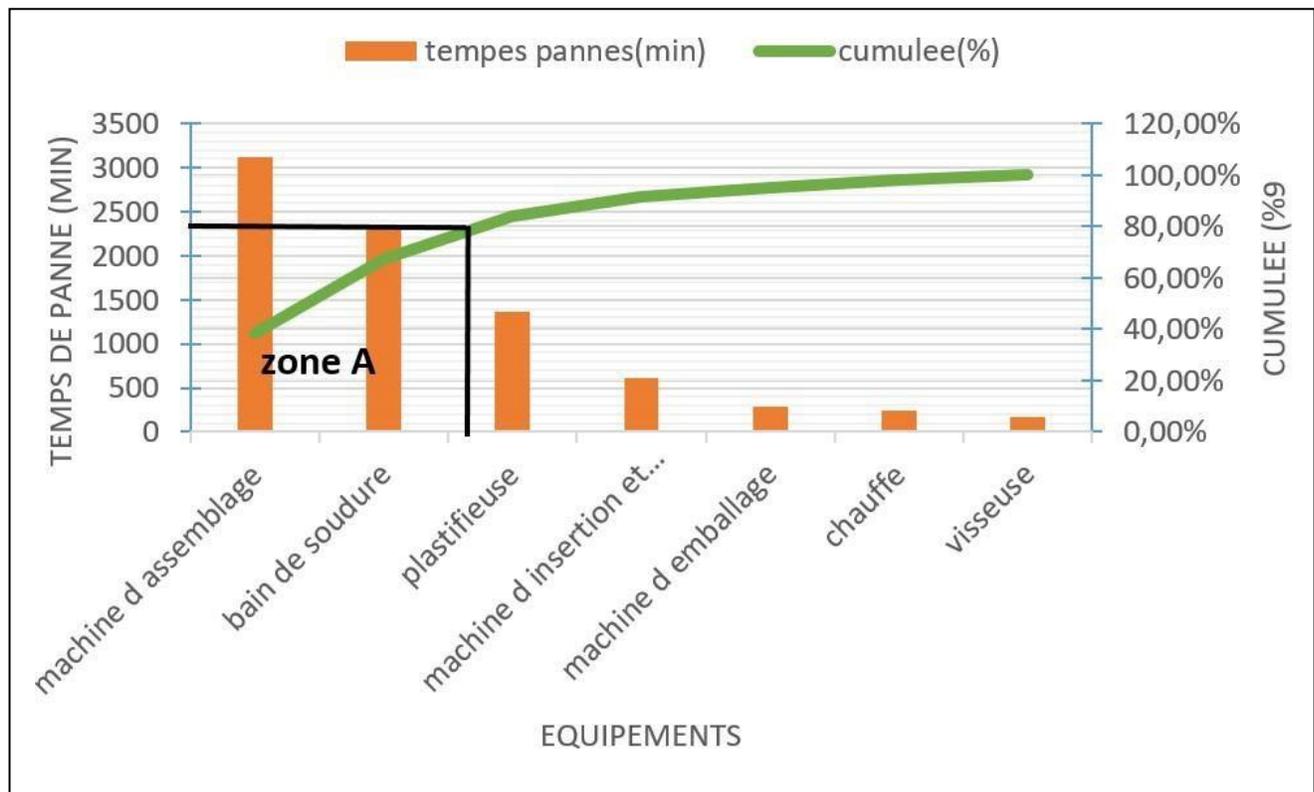


Figure 30: Classification des équipements critiques.

À partir du diagramme de la figure 30, on observe que deux équipements situés dans la zone (A) représentent 80 % de la durée des pannes. Ces équipements, appelés équipements critiques, sont la machine d'assemblage et le bain de soudure. Par la suite, ces deux équipements critiques seront analysés afin d'identifier les sous-équipements critiques associés à chacun d'eux.

III.3.2.2 Détermination des sous équipements critiques de chaque équipement

Pour identifier les sous-équipements critiques de chaque équipement, il est d'abord nécessaire de classer les pannes de chaque sous-équipement par ordre décroissant de durée, puis de calculer le cumul de ces pannes ainsi que leurs pourcentages (voir tableaux 30 et 31). Ensuite, il convient de créer le graphe de Pareto, comme présenté dans les figures 31 et 32.

A. Machine d'assemblage

Le tableau suivant présente les pourcentages cumulés de durée de panne associés à l'équipement machine d'assemblage.

Chapitre III : Mise en place de la méthode PARETO et AMDEC dans l'entreprise.

Tableau 7: Les pourcentages cumulés de durées de panne de l'équipement machine d'assemblage.

Equipements	Sous-équipements	Temps de pannes (min)	Cumulée des temps de pannes (min)	Cumulée des temps de pannes (%)
Machine d'assemblage	disjoncteur principal de la chaine 1	480	480	13,48%
	la chaine de sortie	360	840	23,60%
	palettes	360	1200	33,71%
	Moteur réducteur	360	1560	43,82%
	La sertisseuse	270	1830	51,40%
	moteur asynchrone	240	2070	58,15%
	visseuses pneumatiques et électriques	240	2310	64,89%
	switch de la chaine d'assemblage	210	2520	70,79%
	Ascenseur 2eme chaine CPL3	210	2730	76,69%
	tables de dépannages	180	2910	81,74%
	raccord pneumatique	120	3030	85,11%
	paliers du convoyeur	120	3150	88,48%
	pignon traversant TRV1 (chaine 2)	90	3240	91,01%
	convoyeur	60	3375	94,80%
	capteur d'ascenseur 4	60	3435	96,49%
	la terre (chaine2-assemblage)	45	3480	97,75%
	vérin pneumatique	30	3510	98,60%
Capteur d'ascenseur 2 (chaine 1)	30	3540	99,44%	
mèches des visseuses pneumatiques	20	3560	100%	

Chapitre III : Mise en place de la méthode PARETO et AMDEC dans l'entreprise.

A partir des résultats mentionnés dans le tableau au-dessus on dessine le diagramme suivant :

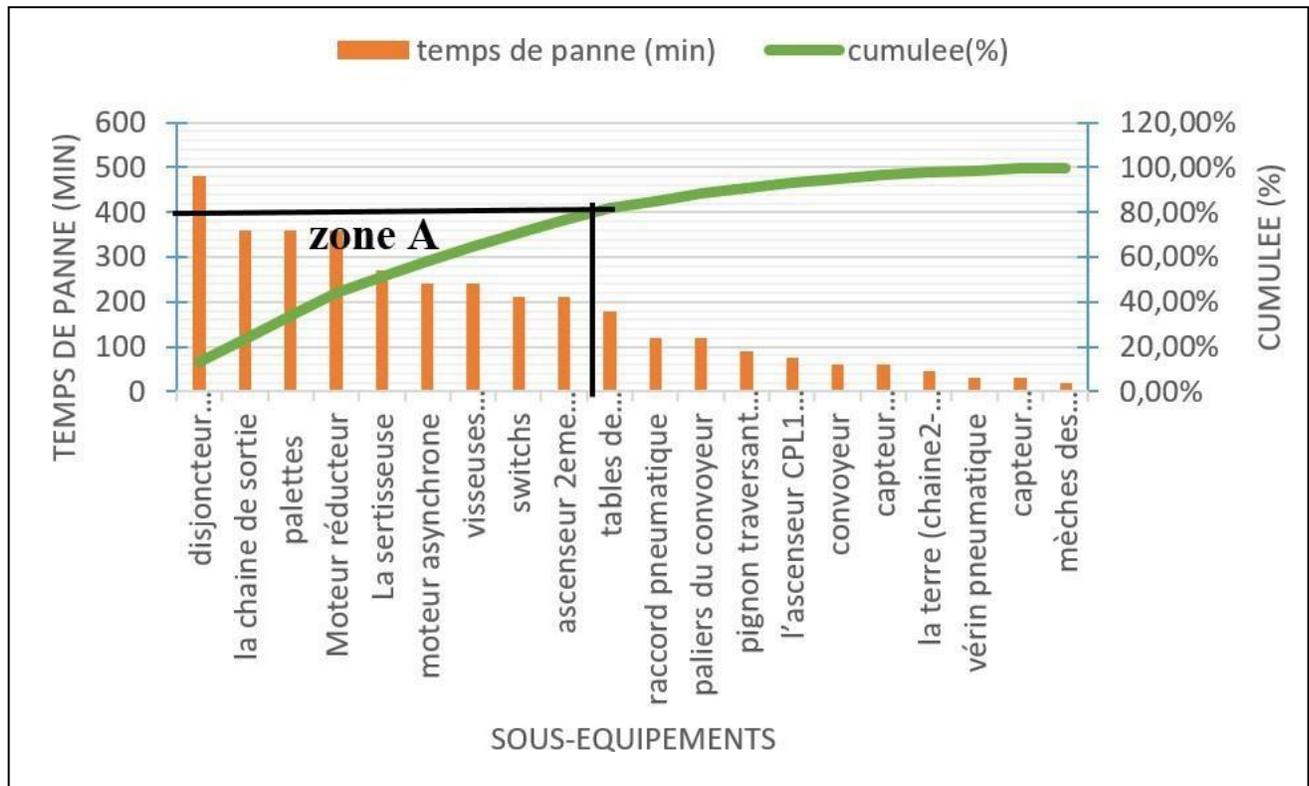


Figure 31: Classification des sous-équipements critiques de machine d'assemblage.

D'après la figure 31, nous avons identifié 9 sous-équipements dans la zone (A) représentant 80 % de la durée totale des pannes de l'équipement d'assemblage. Ces sous-équipements, considérés comme critiques, sont les suivants : disjoncteur principal de la chaîne 1, chaîne de sortie, palettes moteur réducteur, sertisseuse, moteur asynchrone, visseuses pneumatiques et électriques, et switch de la chaîne d'assemblage et ascenseur 2ème chaîne CPL3.

Chapitre III : Mise en place de la méthode PARETO et AMDEC dans l'entreprise.

B. Bain de soudure

Tableau 8: Les pourcentages cumulés de durées de panne de l'équipement bain de soudure.

Equipement	Sous équipement	Temps de pannes (min)	Cumulée des temps de pannes (min)	Cumulée des temps de pannes (%)
Bain de soudure	Doigts du convoyeur	930	930	40,43%
	Fluxer a buse	300	1230	53,48%
	fixtures	240	1470	63,91%
	capteurs	180	1650	71,74%
	filtres	150	1800	78,26%
	Pompes b.s.03	120	1920	83,48%
	Les lampes chauffantes	120	2040	88,70%
	Bagues d'étanchéité des pompes	60	2100	91,30%
	Chaine de sortie bain de soudure	60	2160	93,91%
	Electrovanne	60	2220	96,52%
	La grille	45	2265	98,48%
	les roulements de l'arbre	35	2300	100,00%

Chapitre III : Mise en place de la méthode PARETO et AMDEC dans l'entreprise.

A partir des résultats mentionnés dans le tableau au-dessus on dessine le diagramme suivant :

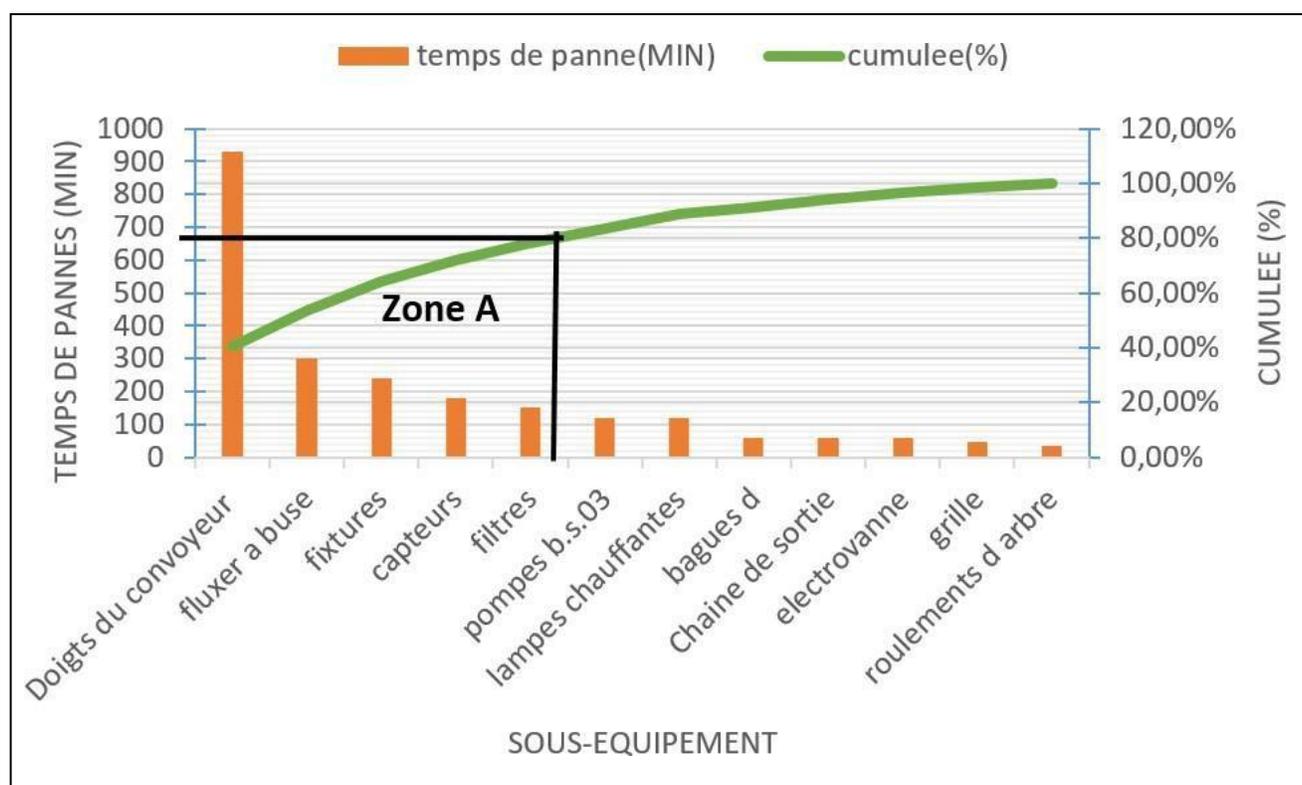


Figure 32: Classification des sous équipements critiques de l'équipement bain de soudure.

À partir de la figure 32, nous avons trouvé qu'il y a 5 sous équipements dans la zone (A) qui représente 80% de la durée totale des pannes de l'équipement bain de soudure, donc on les appelle les sous équipements critiques qui sont les suivantes : (doigts de convoyeur, Fluxer a buse, fixtures, capteurs, filtres).

III.3.2.3 Synthèse

À partir des analyses réalisées sur chaque équipement à l'aide du diagramme de Pareto, les équipements et leurs sous-équipements critiques sont répertoriés dans le tableau 9.

Tableau 9: Résumé de l'analyse des équipements et leurs sous équipements critiques.

Equipement	Sous équipement(s) critique(s)
Machine d'assemblage	Disjoncteur principal de la chaîne 1, la chaîne de sortie, palettes Moteur réducteur, La sertisseuse, moteur asynchrone, visseuses pneumatiques et électriques, switch de la chaîne d'assemblage, ascenseur 2eme chaîne CPL3
Bain de soudure	Doigts de convoyeur, Fluxer a buse, fixtures, capteurs, filtres

Chapitre III : Mise en place de la méthode PARETO et AMDEC dans l'entreprise.

III.4 Etude AMDEC

La mise en œuvre de la méthode AMDEC est essentielle dans cette étude. Pour ce faire, nous allons décomposer chaque équipement à des sous équipements selon leurs fonctions, Puis nous calculons la criticité de chaque sous équipements à l'aide de l'historique des pannes. Ensuite, Nous utilisons l'analyse Pareto pour déterminer les sous équipements critiques de chaque équipement.

III.4.1 Machine d'assemblage

III.4.1.1 AMDEC de la machine d'assemblage

Le tableau suivant (Tableau 10) présente les modes de défaillance des éléments de la machine d'assemblage, leurs fonctions, leurs causes, leurs effets, et leurs criticités.

Chapitre III : Mise en place de la méthode PARETO et AMDEC dans l'entreprise.

Tableau 10: AMDEC de la machine d'assemblage.

Equipment	Éléments	Fonction d'élément	Mode de défaillance	Cause de défaillance	Effet de défaillance	Criticité			
						F	G	D	C
Machine d'assemblage	Disjoncteur principal de la chaîne 1	Couper l'électricité en cas de court-circuit ou de surintensité	Déclenchement	dysfonctionnement de disjoncteur	-Arrêt des résistances - interruption de courant	2	3	3	18
	La chaîne de sortie	Transport des produits finis	bruit	-les engrenages cassés -vieillessement de la courroie	-arrêt de la production	1	3	3	9
	Palettes	Transporter et stocker des charges	déformation	Usure des supports de palettes	Mal positionnement des palettes	2	3	2	12
	Moteur réducteur	baisser la vitesse d'un moteur électrique et d'augmenter le couple	Vibration	Vieillessement	arrêt de production	1	3	2	6
	La sertisseuse	créer une connexion sécurisée entre deux pièces	-Bruit -vibration -mauvaise sertissage	Usure des composants mécanique (matrice de sertissage et roulements)	Ralentissement de production	2	2	2	8
	Moteur asynchrone	Permet un échange d'énergie bidirectionnelle entre une installation électrique parcourue par un courant électrique alternatif et un dispositif mécanique	échauffement	Augmentation de la vitesse	Arrêt de production	1	3	2	6
	Visseuse pneumatique et électrique	visser et dévisser	Bruit	- les mandrins usés -perte de puissance	Qualité de produit dégradée	2	2	2	8
	Switch de la chaîne d'assemblage	Ouvrir ou fermer un circuit électrique (marcher ou arrêter une chaîne d'assemblage)	Ne reste pas en position en ON ou OFF	-Usure des composants mécanique de switch -surcharge	Arrêt de la chaîne d'assemblage	3	2	2	12
	Ascenseur 2eme chaîne CPL3	Un transport sécurise des produits de table de dépannage	Pas de mouvement	Dysfonctionnement de l'ascenseur	Blocage de table de dépannage	2	2	2	8

Chapitre III : Mise en place de la méthode PARETO et AMDEC dans l'entreprise.

III.4.1.2 Analyse Pareto de la criticité des éléments de la machine d'assemblage

On a accumulé les résultats obtenus de la criticité dans le tableau 11.

Tableau 11: Les pourcentages cumulés de la criticité des éléments de la machine d'assemblage.

Éléments	Criticité	Criticité Cumulée	Criticité cumulée (%)
disjoncteur principal de la chaine 1	18	18	20.62%
switch de la chaine d'assemblage	12	30	34.48%
palettes	12	42	48.28%
La chaine de sortie	9	51	58.62%
Visseuse pneumatique et électrique	8	59	67.82%
La sertisseuse	8	67	77.01%
ascenseur 2eme chaine CPL3	8	75	86.21%
Moteur réducteur	6	81	93.10%
moteur asynchrone	6	87	100%

A partir des résultats mentionnés dans le tableau au-dessus on dessine le diagramme suivant :

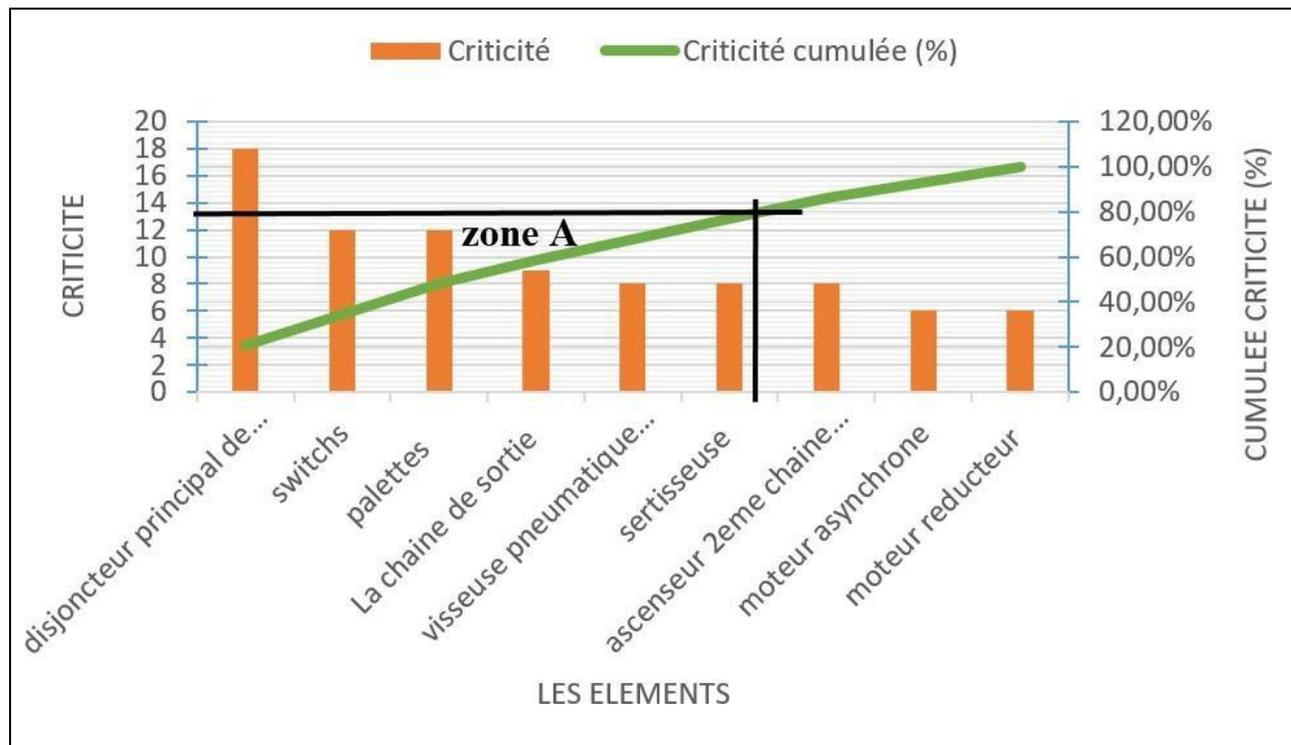


Figure 33: Classification des éléments critiques de la machine d'assemblage.

À partir des résultats de ce diagramme on peut conclure que les 6 éléments suivant : (disjoncteur principale de la chaine 1, switch de la chaine d'assemblage, palettes, la chaine de sortie, visseuses pneumatiques, la sertisseuse) représentent 80% des arrêts de la machine d'assemblage.

III.4.1.3 Suggestions d'actions de maintenance à mettre en place

Cette partie dédiée à des propositions de solutions de maintenance (voir tableau 12)

Tableau 12: La suggestion d'actions de maintenance de la machine d'assemblage.

Eléments	Maintenance préventive	Maintenance corrective
Disjoncteur principale de la chaine 1	-inspection visuelle chaque jour -test de fonctionnement chaque période pour assurer le fonctionnement correct de disjoncteur	
Switch de la chaine d'assemblage	-vérification visuelle chaque début d'assemblage pour détecter tout signe d'usure -nettoyage régulière -contrôle de condition environnementale (température) -utilisation des switches de haute qualité	

Chapitre III : Mise en place de la méthode PARETO et AMDEC dans l'entreprise.

Palettes	-vérification visuelle régulière chaque fin de production des palettes et des supports - changement de supports chaque 06 mois	
La chaîne de sortie	-lubrification de la chaîne chaque début de production	-changement de pièces endommagées (les engrenages)
Visseuse pneumatique et électrique	-appliquer régulièrement de l'huile pneumatique pour maintenir les composants interne -inspection visuelle régulière pour détecter tout signe de dommage - nettoyer régulièrement les filtres à air -mettre en place des systèmes de surveillance pour détecter le dysfonctionnement de la visseuse -utiliser des régulateurs de tension pour protéger la visseuse contre les variations de courant	- changement des composants usés (les joints, les roulements)
La sertisseuse	-lubrification -inspection visuelle -nettoyage régulière -vérifier et ajuster régulièrement la calibration de la sertisseuse pour garantir des sertissages précis et uniformes	-changement des composants usés

III.4.2 Bain de soudure

III.4.2.1 AMDEC de Bain de soudure

Le tableau suivant (Tableau 13) présente les modes de défaillance des éléments de Bain de soudure, leurs fonctions, leurs causes, leurs effets et leurs criticités

Tableau 13: AMDEC de Bain de soudure.

Equipment	éléments	Fonction d'élément	Mode de défaillance	Cause de défaillance	Effet de défaillance	Criticité			
						F	G	D	C
Bain de soudure	Doigts de convoyeur	Guider les cartes électroniques à souder à travers le processus de soudage	-Blocage -déformation thermiques -usure mécaniques	- Corrosion - Augmentation de température -fissure	-Soudure mal alignée - arrêt de production	3	3	2	18
	Fluxer a buse	Appliquer un flux sur les composants électroniques avant le processus de soudage (nettoyer, désoxyder les surfaces métalliques)	Buse bouchée	Dépôts de flux	-Absence du flux Mauvaise qualité de soudage -fluxer à buse ne fonctionne pas	1	3	3	9
	Fixtures	Positionner les composants Électroniques à souder dans la position désirée	-Mauvaise alignement des Composants électroniques. -Blocage du fixtures.	Usure mécanique	Variation dimensionnelle Dans les produits finis	1	3	2	6
	Capteurs (température , position)	Contrôler la température. -surveiller la position des cartes électroniques	-Des données incorrectes. -Absence de réponse.	-Surcharge -Défaillances des composants internes	-Des données incorrectes. -réduction de la fiabilité	1	3	2	6
	Filtres	Filtrer les impuretés du Bain de soudure (déchets métalliques)	Particules indésirables	-colmatage -obstruction (Poussières, saletés)	Qualité de la soudure dégrader.	1	2	2	4

III.4.2.2 Analyse Pareto de la criticité des éléments de Bain de soudure

On a accumulé les résultats obtenus de la criticité dans le tableau 14.

Tableau 14: Les pourcentages cumulés de la criticité des éléments de Bain de soudure.

Éléments	Criticité	Criticité Cumulée	Criticité cumulée
Doigts de convoyeur	18	18	41.86%
Fluxer a buse	9	27	62.79 %
Fixtures	6	33	76.74 %
Capteurs	6	39	90.70 %
filtres	4	43	100%

A partir des résultats mentionnés dans le tableau au-dessus on dessine le diagramme suivant :

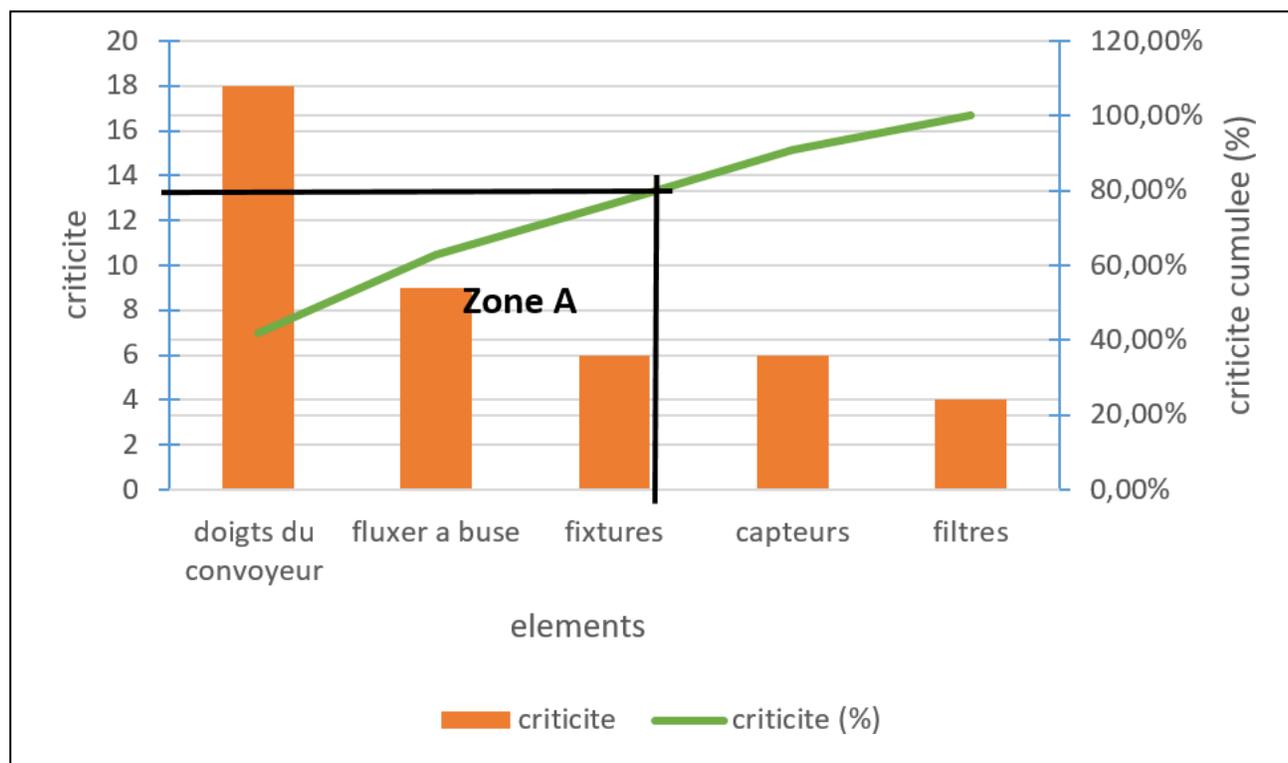


Figure 34: Classification des éléments critiques de bain soudure.

À partir des résultats de ce diagramme on peut conclure que les 3 éléments suivant : (doigts du convoyeur, fluxer a buse, fixtures) représentent 80% des arrêts de Bain de soudure.

III.4.2.3 Suggestions d'actions de maintenance à mettre en place

Cette partie dédiée à des propositions de solutions de maintenance (voir tableau 15).

Tableau 15: La suggestion d'actions de maintenance de la machine d'assemblage.

Eléments	Maintenance préventive	Maintenance corrective
Doigts du convoyeur	<ul style="list-style-type: none"> -nettoyage chaque jour -vérification de serrage des doigts -lubrification pour les parties mobiles pour éviter le frottement -remplacement des doigts chaque mois -surveiller l'état des doigts à l'aide d'un capteur de systèmes de surveillance 	
Fluxer a buse	<ul style="list-style-type: none"> -nettoyage de fluxer a buse régulièrement Pour éviter l'accumulation de résidus de flux -vérification visuelle de fonctionnement correcte de fluxer a buse et qu'il applique le flux de manière uniforme - 	<ul style="list-style-type: none"> -remplacement de la buse et de tuyaux
Flxtures	<ul style="list-style-type: none"> -lubrification des fixtures - Nettoyage régulier des surfaces de contact -vérification visuelle des fixtures - vérification de serrage des éléments de fixations 	<ul style="list-style-type: none"> -réalignement des fixtures -changement des composants usés de la fixture -serrage des éléments de fixations - rectification de surfaces endommagées

III.5 Organigrammes des sous-équipements critiques

L'organigramme suivant (figure 35) représente un organigramme des équipements et sous-équipements critiques.

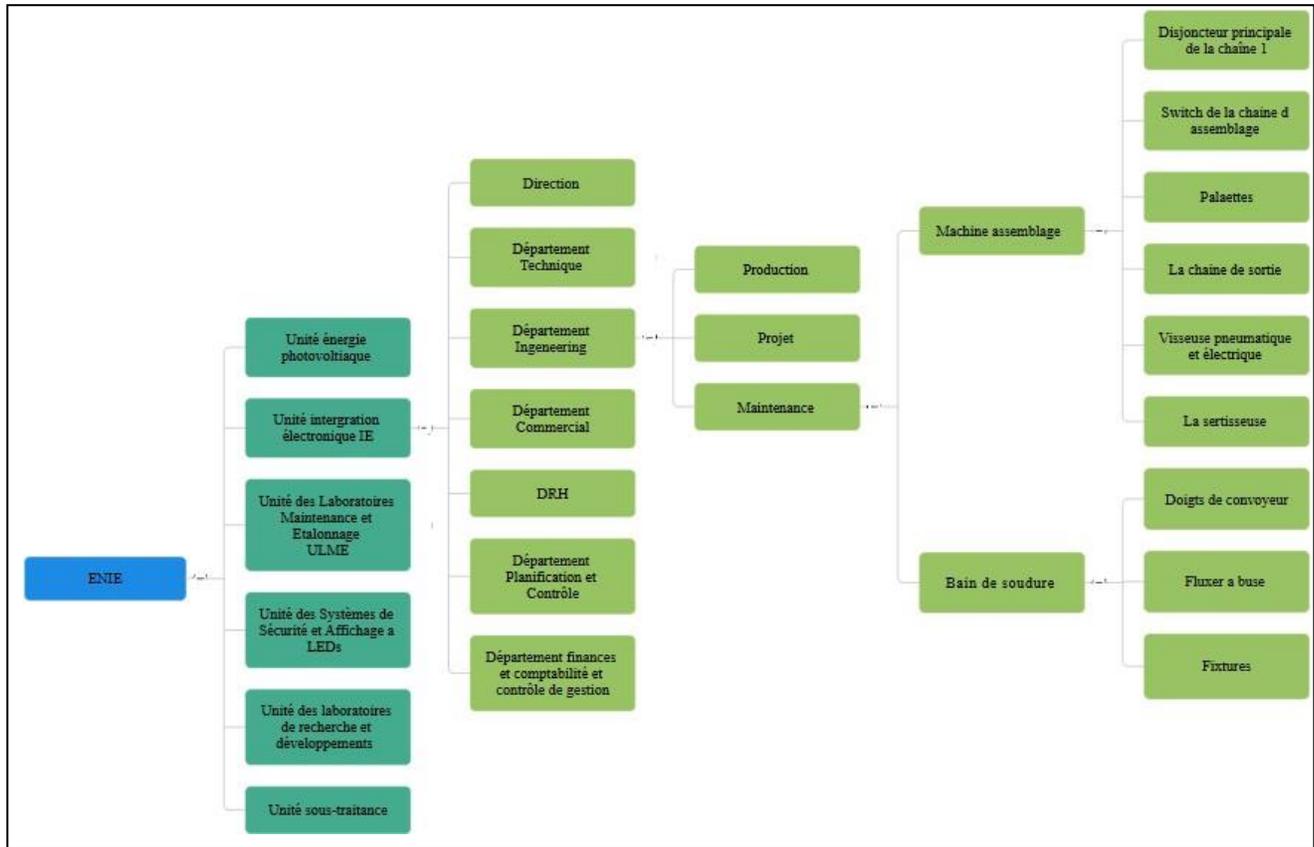


Figure 35: Organigramme des sous-équipements critiques.

III.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons tenté de détailler notre mise en œuvre de la méthode Pareto et AMDEC au sein de l'entreprise ENIE SBA,

Au début, nous avons réalisé une analyse des pannes de chaque équipement en utilisant Pareto. Puis, nous avons réalisé l'étude AMDEC ce qui nous a permis de détecter les sous équipements critiques qui cause plus de panne. A la fin nous avons proposé des actions de maintenance pour réduire les temps d'arrêts.

Grâce à cette étude, nous avons pu définir des actions prioritaires pour réduire les risques de défaillance et améliorer la fiabilité opérationnelle.

Conclusion générale

Conclusion générale et Perspective

Au cours de ce mémoire, nous avons entrepris l'étude Pareto et AMDEC dans le but de résoudre le problème identifié dans l'entreprise nationale de l'industrie électronique ENIE SBA, précisément unité IE concernant

L'identification des causes sous-jacentes des défaillances et de proposer des stratégies d'amélioration pour augmenter la fiabilité, la performance et la durée de vie de l'équipement.

Au début nous avons consultés l'historique de pannes de l'entreprise ENIE, puis nous avons analysé ce dernier à l'aide de diagramme Pareto qui nous a permis de déterminer les équipements critiques et leurs sous-équipements critiques qui représentent 80% des temps de pannes. Les équipements critiques sont : (machine d'assemblage et bain de soudure).

Ensuite nous avons appliqué la méthode AMDEC qui nous a permis de classer les défaillances selon leurs criticités et diagnostiquer la nature de la gravité des pannes qui surviennent et appliquer les actions correctives à chaque degré de criticité et ainsi les actions de maintenance préventive dans le but de maintenir les équipements en bon état de marche.

Grace à cette étude nous avons pu approfondir nos connaissances dans la maintenance et l'univers industriel. Cette expérience a été trop bénéfique.

Comme perspective, nous pouvons proposer de faire une comparaison entre les méthodes étudiées dans ce manuscrite (Pareto, AMDEC) avec d'autres méthodes comme la méthode des Arbres de défaillances et les méthodes de l'Intelligence Artificielle.

« دراسة وتحليل أنماط الأعطال المعدات الصناعية »

المخلص

تلعب الصيانة دوراً حيوياً في الحفاظ على كفاءة وأداء العمليات الصناعية. الهدف الرئيسي للصيانة هو ضمان التشغيل الأمثل للمعدات والأدوات مع تقليل أوقات التوقف والتكاليف المرتبطة بالأعطال إلى أدنى حد ممكن.

الهدف من هذه الدراسة هو تحسين توافر المعدات لشركة صناعة الإلكترونيات الوطنية سيدي بلعباس. ولهذا نستخدم مخطط باريتو ودراسة AMDEC لتحديد أعطال المعدات والعثور على أكثرها أهمية واقتراح

الإجراءات التصحيحية والوقائية من أجل تحسين أداء وجودة إنتاج الشركة.

AMDEC ، باريتو ، المعدات ، الأعطال ، الصيانة : الكلمات المفتاحية

« Etude et analyse des modes de défaillance d'un équipement industriel »

Résumé

La maintenance joue un rôle crucial dans le maintien de l'efficacité et de la performance des opérations industrielles. L'objectif principal de la maintenance est d'assurer le fonctionnement optimal des équipements et des outils tout en minimisant les temps d'arrêt et les coûts associés aux pannes.

Le but de cette étude est d'améliorer la disponibilité des équipements de l'entreprise nationale d'industrie électronique SIDI-BEL-ABBES. Pour cela, nous utilisons le diagramme Pareto et étude AMDEC pour déterminer les pannes des équipements et trouver les plus critiques et proposer des actions correctives et préventives afin d'améliorer le rendement et la qualité de la production de l'entreprise.

Mots clés : Maintenance, AMDEC, Pareto, Equipement, Pannes.

«Study and analysis of failure modes of industrial equipment»

Abstract

Maintenance plays a crucial role in maintaining the efficiency and performance of industrial operations. The primary objective of maintenance is to ensure the optimal functioning of equipment and tools while minimizing downtime and the costs associated with failures.

The purpose of this study is to improve the availability of equipment at the National Electronic Industry Company in Sidi-Bel-Abbes. To achieve this, we use the Pareto diagram and AMDEC study to identify equipment failures, determine the most critical ones, and propose corrective and preventive actions to improve the company's production efficiency and quality.

Key Words: Maintenance, AMDEC, Pareto, Equipment, Failure.

Bibliographie

- [1] ENIE, «Présentation de l'entreprise nationale des industries électroniques,» Algérie.
- [2] L. Nazar, «Etude AMDEC et mise en place d'un planning de maintenance préventive _ Application sur un groupe électrogène 300KVA Cas : l'entreprise nationale l'ENIEM, [Memoire de Master],» Algérie, 2021-2022.
- [3] «Les différents types de maintenance» 6 Octobre 2021. [En ligne]. Available: <https://www.tribofilm.fr/les-differents-types-de-maintenance/>. [Accès le janvier 2024].
- [4] «Tous savoir de la maintenance industrielle» [En ligne]. Available: <https://mobility-work.com/fr/blog/maintenance-industrielle/>. [Accès le février 2024].
- [5] «Maintenance industrielle: quels sont les objectifs?» 9 février 2023. [En ligne]. Available: <https://www.picomto.com/5-types-de-maintenance-a-connaître-absolument/>. [Accès le février 2024].
- [6] «Quel est l'objectif de la maintenance industrielle?» [En ligne]. Available: <https://www.processindustries.fr/quel-est-l'objectif-de-la-maintenance-industrielle/>. [Accès le janvier 2024].
- [7] «Organisation de la maintenance» [En ligne]. Available: <https://www.inrs.fr/risques/maintenance/definitions.html>. [Accès le 2024].
- [8] «Wiki-Main... la panne et la défaillance» [En ligne]. Available: <https://e-bpm.tech/wiki-maint-la-panne-et-la-defaillance/>. [Accès le 2024].
- [9] K. A. e. B. Abdelkarim, *Etude et analyse des modes de défaillance d'un processus de production du céramique*, Université Mohamed Seddik Ben Yahia - Jijel: Mémoire de Master, 2020.
- [10] « Comportement typique du taux de défaillance d'un composant » octobre 2008. [En ligne]. Available: https://www.researchgate.net/figure/Comportement-typique-du-taux-de-defaillance-dun-composant_fig2_200803674
- [11] AFNOR, « Norme NF X 60-510 » 1986. [En ligne]. Available: à vérifier.
- [12] « Quelles sont les normes de la maintenance industrielle ? » [En ligne]. Available: <https://mobility-work.com/fr/blog/normes-maintenance/>. [Accès le 2024].
- [13] *Sûreté de fonctionnement*, Wikipédia.
- [14] A. G. MIHALACHE, « Modélisation et évaluation de la fiabilité des systèmes MECATRONIQUES :APPLICATION SUR SYSTEME EMBARQUE, [Thèse de doctorat, Institut des Sciences et Techniques de l'Ingénieur d'Angers],» 2007.
- [15] N. Daujeard, Écrivain, *L'AMDEC*. [Performance]. 2022.
- [16] C. O. F. P. Cerinod, «Réalisation d'une analyse des modes de défaillances, de leurs effets et de leur criticité (AMDEC) du système DC des turbines de la centrale électrique à du congo, [Mémoire de Master en Génie électrique et énergétique industrielle]» Congo, 2019.
- [17] Les différents types de maintenance, » 6 octobre 2012. [En ligne]. Available: <https://www.tribofilm.fr/les-differents-types-de-maintenance/>. [Accès le 2024].
- [18] « Tout savoir sur la maintenance industrielle » [En ligne]. Available: <https://mobility-work.com/fr/blog/maintenance-industrielle/>. [Accès le 2024].
- [19] «Arbre de défaillances» Wikipedia, 2023.
- [20] « Prévention des Risques » [En ligne]. Available: <https://www.previnform.net/sections.php?op=viewarticle&artid=40>. [Accès le 2024].
- [21] « Méthode de l'Arbre de Défaillance ou de Défaut ou de Faute » [En ligne]. Available: http://ressources.unit.eu/cours/cyberrisques/etage_3_aurelie/co/Module_Etage_3_synthese_39. [Accès le 2024].
- [22] *Diagramme de causes et effets*, Wikipedia, 2023.
- [23] «Diagramme d'Ishikawa un guide utilie» 15 Janvier 2024. [En ligne]. Available: <https://safetyculture.com/fr/themes/diagramme-dishikawa/>.

- [24] «Diagramme d'Ishikawa un guide utile» 15 Janvier 2024. [En ligne]. Available: <https://safetyculture.com/fr/themes/diagramme-dishikawa/>.
- [25] «Diagramme Pareto: appliquer le principe de Pareto et l'analyser» [En ligne]. Available: <https://blog-gestion-de-projet.com/principe-de-pareto-et-la-gestion-de-projet/>. [Accès le 2024].
- [26] *Diagramme de Pareto*, Wikipedia, 2024.
- [27] «AMDEC: Mode d'emploi» [En ligne]. Available: <https://qualiblog.fr/outils-et-methodes/amdec-mode-demploi/>. [Accès le 2024].
- [28] «AMDEC : Définition et Etapes d'implémentation (+Exemples)» [En ligne]. Available: <https://blog-gestion-de-projet.com/amdec/>. [Accès le 2024].
- [29] «AMDEC : définition et mise en oeuvre» [En ligne]. Available: <https://www.manager-go.com/management-de-la-qualite/amdec.htm>. [Accès le 2024].
- [30] J. Kélada, «L'AMDEC, Ecole des Hautes Etudes Commerciales» 1994.
- [31] ENIE, janvier 2023-2024. [En ligne]. Available: <https://www.enie.dz/?portfolio=enie-photovoltaïque>. [Accès le janvier 2024].
- [32] n. rempli. [En ligne].
- [33] n. rempli. [En ligne].
- [34] ENIE, «ENIE Photovoltaïque,» janvier 2023-2024. [En ligne]. Available: <https://www.enie.dz/?portfolio=enie-photovoltaïque>. [Accès le janvier 2024].