



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

– المدرسة الوطنية العليا للتكنولوجيا والهندسة - عنابة

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DE TECHNOLOGIE ET D'INGENIERIE – ANNABA

Département Génie Industriel

MEMOIRE

En vue d'obtention du diplôme de MASTER

Domaine : Science et Technologie

Filière : Génie Industriel

Spécialité : Management Industriel

Présenté par

YAKOUB MAOUI

ABDERRAOUF YAHIA

QUELQUES METHODES D'ANALYSE, DE GESTION ET D'OPTIMISATION DE LA MAINTENANCE INDUSTRIELLE

Encadré par

Dr. Nouredine KHELIFA

ENSTI Annaba

Membres du jury :

Pr. Messaoud DJEGHABA	Président	ENSTI Annaba
Dr. Mohamed DJEMANA	Examineur	ENSTI Annaba
Dr. Naamane BENHASSINE	Examineur	ENSTI Annaba



Remerciement

Tout d'abord, je voudrais exprimer ma profonde gratitude envers le bon Dieu pour m'avoir accordé la force et la patience nécessaires pour mener à bien mon étude.

Je souhaite également adresser mes plus sincères remerciements à ma famille pour son soutien indéfectible et son encouragement tout au long de mon parcours scolaire.

Je tiens à exprimer ma reconnaissance particulière à Monsieur le Docteur **Noureddine KHELIFA**, pour son encadrement et son engagement et son soutien tout au long de la réalisation de ce mémoire. Son expertise et ses conseils précieux ont été d'une aide inestimable pour moi.

Enfin, je tiens à exprimer ma gratitude à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail. Leurs encouragements et leurs conseils ont été précieux pour moi.

Je vous adresse à tous mes sincères remerciements.



Dédicace

Je suis reconnaissant envers le Tout-Puissant pour nous avoir accordé la force et l'opportunité de mener à bien ce travail.

À mes parents,

Mes frères et sœurs,

Vous avez toujours été présents pour moi, m'entourant de votre bienveillance et faisant tous les sacrifices possibles.

J'espère être à la hauteur de vos attentes.

Que Dieu vous protège et vous accorde une longue vie emplie de bonheur.

YAKOUB





Dédicace

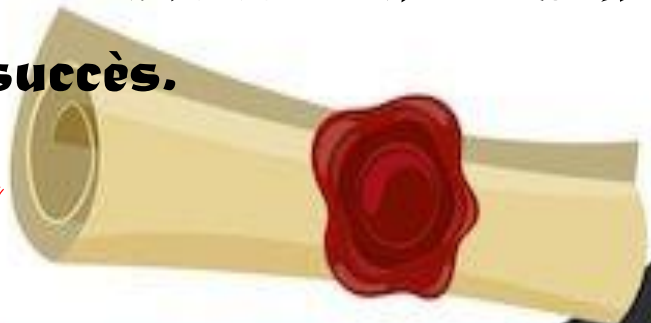
Avec l'aide de Dieu, j'ai pu réaliser ce travail que je dédie

À mes parents pour leur bienveillance et leur dévouement à m'encourager à terminer mon travail dans les meilleures conditions.

Je tiens également à remercier tous les membres de ma famille ainsi que tous mes amis, chacun nommément. En particulier,

Je souhaite exprimer ma gratitude à ceux qui ont été mes compagnons tout au long de ce chemin, en leur adressant tous mes vœux de succès.

ABDERRAOUF



Résumé

Ce travail porte sur l'étude et l'amélioration de la maintenance industrielle en examinant différentes approches. Avant d'aller plus loin, il met en évidence l'importance de ce secteur dans l'industrie contemporaine. Le diagramme d'Ishikawa, GMAO, l'analyse ABC et l'arbre de défaillance sont des méthodes qui proposent des points de vue différents mais complémentaires. On examine également attentivement la méthode AMDEC afin d'évaluer les risques de défaillance.

Mots clé : maintenance industrielle, diagramme d'Ishikawa, analyse ABC, arbre de défaillance, AMDEC, risques de défaillance.

Abstract

This work focuses on the study and improvement of industrial maintenance, examining different approaches. Before going any further, it highlights the importance of this sector in contemporary industry. The Ishikawa diagram, Gmao, ABC analysis and the fault tree are methods that offer different but complementary points of view. We also take a close look at the FMECA method for assessing failure risks.

Keywords: industrial maintenance, Ishikawa diagram, ABC analysis, fault tree, FMECA, failure risks.

المخلص

يرتكز هذا العمل على دراسة وتحسين الصيانة الصناعية في المؤسسة من خلال دراسة مختلف المناهج المستعملة. وتم تسليط الضوء على عدة أدوات التحليل وأهميتها في قطاع الصناعة الحديثة من بينها : مخطط إيشيكوا، وGmao، والتحليل الأبجدي ABC، وشجرة الأعطال هي طرق تقدم وجهات نظر مختلفة ولكن متكاملة. كما تم التطرق الى طريقة AMDEC المستعملة في تقييم مخاطر الأعطال والعيوب في مختلف الأنظمة الصناعية .

الكلمات المفتاحية: الصيانة الصناعية، التحليل و الأساليب، مخطط إيشيكوا، تحليل ABC ، شجرة الأعطال، طريقة AMDEC ، مخاطر الفشل.

Liste des abréviations

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

GMAO : Gestion de Maintenance Assisté par Ordinateur

AdD : Arbre de Défaillances

E.R : Evènement Redouté

AO : Assistance informatique (par Ordinateur)

GM : Gestion de la Maintenance

FMECA : Failure Mode Effet Critically Analysis

D : aptitude à la Détection

N : aptitude de Non détection

S : Sévérité

G : Gravité

O : Occurrences

F : Fréquence

C : Criticité

Liste des tableaux

Tableau 2.1 : En-tête de la matrice AMDEC	10
Tableau 2.2 : Grille de l'échelle de non détection	13
Tableau 2.3 : Grille de l'échelle de gravité	13
Tableau 2.4 : Grille de l'échelle de fréquence d'apparition	13
Tableau 2.5 : Grille de l'échelle de gravité	14
Tableau 3.1 : Analyse ABC (Pareto)	17
Tableau 3.2 : Analyse de Système de chauffage et d'extrusion	20

Liste des figures

Fig. 1.1 : Courbe théorique d'analyse ABC	4
Fig. 1.2 : Les 5M d'Ishikawa	5
Fig. 2.1 : Les causes de défaillance	12
Fig. 2.2 : Causes et effet	12
Fig. 2.3 : Les démarches d'AMDEC	14
Fig. 3.1 : Diagramme d'Ishikawa (pannes mécanique)	15
Fig. 3.2 : La courbe d'ABC	18
Fig. 3.3 : Arbre de défaillance d'extrudeuse	19

Sommaire

Introduction Générale	1
Chapitre 01 : Quelques méthodes d'analyse de la maintenance industrielle	2
1.1 Introduction	2
1.2 Méthode ABC (Diagramme Pareto)	2
1.2.1 Définition	2
1.2.2 Objectif	2
1.2.3 Méthodologie et démarche	2
1.2.4 Les avantages de diagramme de Pareto	3
1.2.5 Présentation graphique	4
1.3 Le diagramme d'Ishikawa	4
1.3.1 Définition	4
1.3.2 Les 5 M du diagramme d'Ishikawa	5
1.3.3 Les étapes d'ISHIKAWA	5
1.3.4 Pourquoi utiliser le diagramme d'Ishikawa ?	5
1.4 L'arbre de défaillance	6
1.4.1 Définition	6
1.4.2 Objectif	6
1.4.3 Principe de fonctionnement	7
1.5 La Gestion de maintenance assistée par ordinateur ou GMAO	7
1.5.1 Définition et fonctionnement	7
1.5.2 Que signifie GMAO ?	7
1.5.3 Les fonctionnalités du système GMAO	7
1.5.4 Avantages d'une GMAO	8
Chapitre 02 : Méthode d'analyse des modes de défaillance AMDEC	9
2.1. Histoire et Evolution	9
2.2 Présentation	9
2.4 Objectifs de l'AMDEC	10

2.5 La matrice	10
2.5.1 Les composants	10
2.5.2 Les fonctions	11
2.5.3 Les défaillances	11
2.5.3.1 Les modes de défaillance	11
2.5.3.2 Les causes de défaillance	11
2.5.3.3 Les effets de défaillance	12
2.5.3.4 La détection	12
2.5.4 Les critères	13
2.5.4.1 Le Critère D (aptitude à la détection) ou N (aptitude de Non détection)	13
2.5.4.2 Le critère S (sévérité) ou G (gravité)	13
2.5.4.3 Le critère O (occurrences) ou F(Fréquence)	13
2.5.4.4 Le critère C (criticité)	14
Chapitre 03 : Exemples d'application des méthodes d'analyse et de gestion de la maintenance industrielle	15
3.1 Application Ishikawa	15
3.1.1 Main-d'oeuvre	15
3.1.1 Main-d'oeuvre	15
3.1.3 Matérielle	16
3.1.4 Milieu	16
3.1.5 Matière	16
3.2 Application de la loi de Pareto (loi des 20-80)	16
3.2.1 Interprétation de la courbe	18
3.3 Application de L'arbre de défaillance	19
3.4 Application de l'AMDEC	20
3.4.1 Analyse de l'extrudeuse par la méthode AMDEC	20
Conclusion générale	21
Références bibliographiques	22

Introduction Générale

Il est essentiel de gérer de manière efficace la maintenance industrielle afin d'assurer la performance et la fiabilité des équipements. Dans cette situation, ce mémoire de master examine différentes approches pour analyser et optimiser la maintenance industrielle. En examinant ces approches, notre objectif est de donner aux experts en maintenance les ressources requises afin d'améliorer la disponibilité des équipements, diminuer les dépenses liées à la maintenance et prolonger la durée de vie des biens.

Le présent mémoire est structuré en trois chapitres principaux.

Le chapitre 1 aborde tout d'abord certaines des méthodes d'analyse les plus fréquemment employées dans le domaine de la gestion de maintenance, telles que le diagramme d'Ishikawa, l'analyse Pareto (règle des 20-80), l'arbre de défaillance et la gestion de maintenance assistée par ordinateur (GMAO).

Dans le deuxième chapitre, une méthode d'analyse particulière est abordée : l'Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité (AMDEC). Grâce à cette méthode systématique, il est possible de prévenir les défaillances en repérant et en évaluant les différentes formes de défaillance possibles, leurs conséquences et leur importance. Nous examinerons de manière approfondie le processus AMDEC et son utilisation concrète dans le domaine de la maintenance sur le terrain.

Enfin, le troisième chapitre exposera des illustrations concrètes d'utilisation des techniques d'analyse et de gestion de la maintenance technique. Ces exemples concrets mettront en évidence la manière dont les diverses méthodes étudiées peuvent être utilisées afin de résoudre des problèmes spécifiques, d'optimiser les stratégies de maintenance et d'améliorer les performances opérationnelles dans différents sites industriels.

Dans l'ensemble, l'objectif de ce mémoire est de donner une compréhension approfondie des techniques d'analyse de gestion de la maintenance industrielle et de mettre en évidence leur importance dans l'amélioration de la fiabilité, de l'efficacité et de la rentabilité des tâches de maintenance.

Chapitre 01

Quelques méthodes d'analyse de la maintenance industrielle

1.1 Introduction

Dans le contexte actuel d'ouverture des marchés, les entreprises doivent améliorer leurs capacités Compétitivité et productivité. « Dépenser moins et produire plus » signifie Une plus grande disponibilité des moyens de production signifie moins de dépenses. Cependant, la maintenance affecte les deux facteurs : une maintenance plus ciblée signifie moins de maintenance. Non disponible un meilleur contrôle de la maintenance signifie moins de dépenses, étant donné L'importance des procédures de maintenance et leur impact sur les performances de l'unité, Des méthodes d'optimisation ont été développées pour aider les responsables de Maintenance Créer ou modifier des méthodes de maintenance telles que des méthodes AMDEC, méthode Ishikawa (ou diagramme de cause à effet), diagramme de Pareto, arbre de défaillance, GMAO.

1.2 Méthode ABC (Diagramme Pareto)

1.2.1 Définition

Le diagramme de Pareto « règle des 80/20 » ou « diagramme ABC » est une méthode bien connue

Améliorer et résoudre les problèmes de l'industrie. De manière générale, déterminez la relation du pourcentage entre l'effet et sa cause.

Cela signifie que 80 % des résultats proviennent de 20 % des causes. Par rapport à la maintenance, ce qui signifie que 80 % des temps d'arrêt des équipements ne causeront que 20% des causes d'échec indiquées. [1]

1.2.2 Objectif

Le but est d'analyser un phénomène, en le représentant par un graphique qui permet de déterminer l'existence d'une relation entre deux groupes de données. La courbe ABC permette de classer les événements selon l'enjeu qu'elles représentent. Elle permette de visualiser rapidement les priorités d'action, de faire un choix et de se concentrer sur les problèmes à traiter en priorité. C'est un moyen simple de classer les phénomènes par ordre d'importance.

1.2.3 Méthodologie et démarche

Le diagramme de Pareto est élaboré en plusieurs étapes :

- Déterminer le problème à résoudre.
- La collecte de données

La collecte des données est une action essentielle car toute l'analyse va être basée sur la validité des informations recueillies

Il convient donc de vérifier :

- La justesse des périodes de mesures.
- La véracité des enregistrements.
- Les unités de mesure identiques pour l'ensemble de la source de données.
- La cohérence des catégories.
- Le regroupement des causes mineures en une seule catégorie "Divers".
- Classer les données en catégories et prévoir une catégorie "Divers" pour les catégories à peu d'éléments.
- Quantifier l'importance de chaque catégorie et déterminer le pourcentage de chacune par rapport au total.
- Classer ces pourcentages par valeur décroissante, la catégorie "Divers" est toujours en dernier rang.
- Représenter les données sous forme d'un histogramme. L'histogramme peut être complété par "La courbe des valeurs cumulées" dont les points sont déterminés par l'addition des valeurs de tous les catégories (ou causes) identifiés précédemment, jusqu'à obtenir 100%.

La courbe « ABC », quant à elle, découpe la courbe de Pareto en trois segments A, B et C :

- "A" représente 75 à 80% de l'ensemble
- "A" + "B" représente 90 à 95% de l'ensemble
- "A" + "B" + "C" représente 100% de l'ensemble

Ainsi, lorsque les causes correspondant au segment "A" sont traitées, 75 à 80% des problèmes sont supprimés. Par cet outil, les priorités d'action sont donc rapidement visualisées. [2]

1.2.4 Les avantages de diagramme de Pareto

Parmi les avantages de l'utilisation du diagramme de Pareto pour la prise de décision, on peut citer

- Identification des problèmes principaux : Le schéma de Pareto offre la possibilité de repérer rapidement les principales difficultés associées à un processus, un produit ou un service. De cette manière, ils ont la possibilité de focaliser leurs efforts d'amélioration sur les domaines les plus importants et d'obtenir des résultats significatifs dans un laps de temps déterminé.
- Hiérarchisation des efforts d'amélioration : En repérant les principales difficultés, le schéma de Pareto permet de classer les initiatives d'amélioration de manière hiérarchique. On peut mettre l'accent sur les problèmes qui ont le plus d'influence sur la réussite du processus ou sur la satisfaction du client.
- Visualisation de l'importance relative : L'utilisation du diagramme de Pareto permet de visualiser l'importance relative de chaque problème. Cela favorise une meilleure compréhension de la nature du problème et de son influence sur le rendement global.

- Communication efficace : Le diagramme de Pareto est un outil de communication efficace qui permet d'impliquer les parties intéressées et de favoriser la collaboration dans le processus d'amélioration continue.
- Gain de temps et de ressources : Le diagramme de Pareto peut permettre d'économiser du temps et des ressources en mettant l'accent sur les efforts d'amélioration et en concentrant les ressources sur les domaines les plus essentiels.

1.2.5 Présentation graphique

Elle consiste à classer les pannes par ordre décroissant de coûts, chaque panne se rapportant à une machine ou rubrique. Puis à établir un graphe faisant correspondre le pourcentage de coûts, chaque panne se rapportant à une machine ou rubrique

Zone "A" : Dans la majorité des cas, on constate qu'environ 20% des pannes représente 80% des coûts, ceci constitue la zone A, zone des priorités.

Zone "B" : Dans cette tranche, les 30% des pannes suivantes ne coûtent 15% supplémentaire.

Zone "C" : Dans cette zone les 50% des pannes restantes ne représentent qu'à 5% de coûts [3].

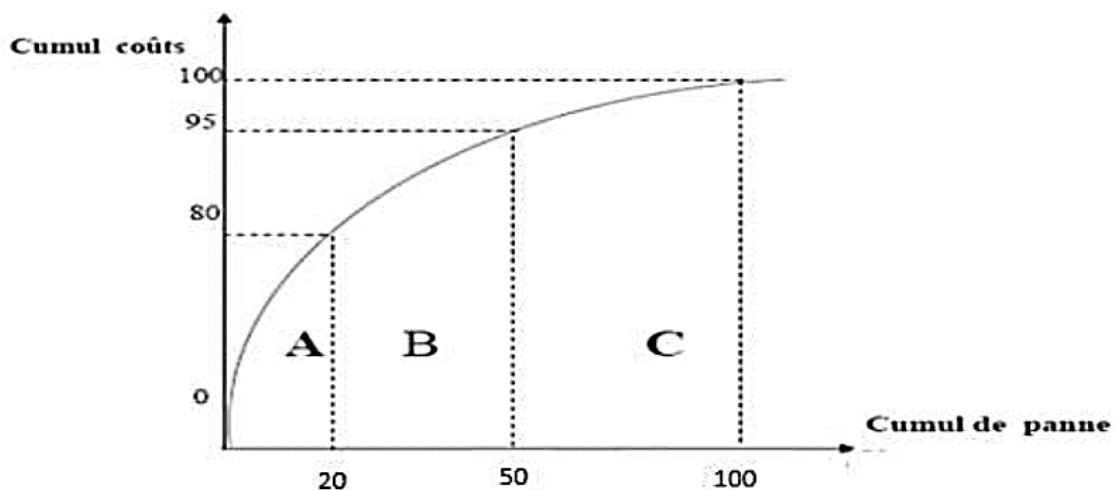


Fig. 1.1 : Courbe théorique d'analyse ABC [4]

1.3 Le diagramme d'Ishikawa

1.3.1 Définition

Le schéma d'Ishikawa, également connu sous le nom de schéma de causes et effets ou de schéma en arêtes de poisson, est un outil utilisé pour résoudre des problèmes d'entreprise. Ce schéma est dessiné par Kaoru Ishikawa et représente un arbre à plusieurs branches (ou une arête de poisson). Les branches représentent l'effet, le problème que l'entreprise rencontre à la tête et les causes. Chacune de ces causes, les « 5 M », constitue une partie essentielle de l'entreprise, nous aborderons ces 5 M dans l'article. [5]

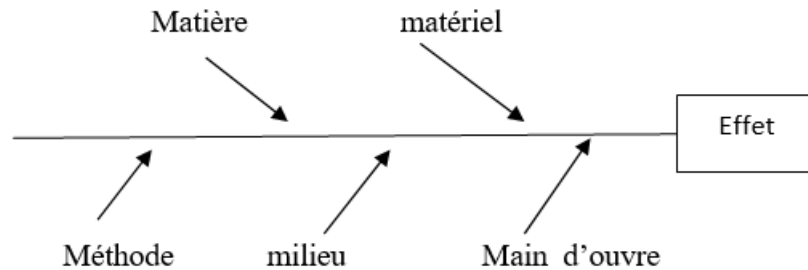


Fig. 1.2 : Les 5M d'Ishikawa [5]

Cet outil, assez visuel, est particulièrement utilisé dans la gestion des risques, propre à la gestion de projet, puisqu'il vous permet d'anticiper tout un éventail de difficultés qui pourraient avoir des retombées assez catastrophiques sur l'activité de votre entreprise.

1.3.2 Les 5 M du diagramme d'Ishikawa

On peut classer les causes d'un problème en cinq catégories, les 5 M :

- Processus : Méthode de fabrication du produit ou du service. La recherche et l'innovation.
- Matière : Les matériaux employés pour fabriquer le produit.
- Contexte : La concurrence, l'état du marché.
- Équipement : Les équipements, le système informatique et les logiciels. Tous les équipements qui contribuent à améliorer la valeur du matériau de base.
- La main-d'œuvre comprend les employés et toutes les interventions humaines (les ressources humaines).

De nouvelles catégories de causes peuvent être élaborées en fonction du problème constaté et des objectifs de l'entreprise. Il est possible d'ajouter un « sixième M » pour le Moyen financier afin de donner une importance particulière à cet aspect qui est généralement inclus dans Matériel. Il est primordial de personnaliser les domaines en fonction du contexte de l'entreprise, de ses objectifs et de sa problématique.

1.3.3 Les étapes d'ISHIKAWA

- ✓ Identification et définition du problème à traiter.
- ✓ Listing des sources possibles d'un dysfonctionnement.
- ✓ Classement des causes dans les familles : Matière, Milieu, Méthode, Machine et Main d'œuvre.
- ✓ Représentation du diagramme cause effet.

1.3.4 Pourquoi utiliser le diagramme d'Ishikawa ?

Le diagramme d'Ishikawa a pour but principal de repérer toutes les causes qui ont un impact, plus ou moins direct, sur un problème observé. Par exemple, une entreprise confrontée à une diminution de son chiffre d'affaires se demande naturellement pourquoi cette diminution se produit. C'est pour répondre à ce genre de question que l'utilisation de cet outil s'avère utile. Par

la suite, les causes identifiées sont classées, ce qui permet à l'entreprise de donner la priorité aux actions à entreprendre pour résoudre le problème.

Le diagramme d'Ishikawa possède une grande force en tant qu'outil visuel, une représentation graphique facilite considérablement la communication concernant le problème. Cela permet également au chef d'avoir une vision globale, à la fois synthétique et précise, de l'impact négatif repéré. Le schéma de causes et effets peut être utilisé pour toute entreprise qui fait face à un problème, peu importe sa taille ou son secteur d'activité. [5]

1.4 L'arbre de défaillance

1.4.1 Définition

AdD (également connu sous le nom d'arbre de défaillances ou arbre de défaillances) est une technique d'ingénierie largement utilisée dans l'étude de la sécurité et de la fiabilité des systèmes statiques. La méthode consiste en une représentation graphique qui permet la réalisation d'événements indésirables prédéfinis (également appelés « défauts »). Combinaisons d'événements possibles. Incident effrayant"). [6].

1.4.2 Objectif

L'objectif est de suivre une logique déductive en partant d'un événement redouté pour Déterminer de manière exhaustive (exhaustif : sujet traité à fond) l'ensemble de ses causes Jusqu'aux plus élémentaires les objectifs sont résumés en quatre points : [7]

- La recherche des événements élémentaires, ou leurs combinaisons qui conduisent à un évènement redouté (E.R).
- La représentation graphique des liaisons entre les événements. Remarquons qu'il existe une Représentation de la logique de défaillance du système pour chaque E.R. Ce qui implique qu'il y Aura autant d'arbres de défaillances à construire que d 'E.R. retenus.
- Analyse qualitative : cette analyse permet de déterminer les faiblesses du système. Elle est faite dans le but de proposer des modifications afin d'améliorer la fiabilité du système. La Recherche des éléments les plus critiques est faite en déterminant les chemins qui conduisent à un E.R. Ces chemins critiques représentent des scénarios qui sont analysés en fonction des Différentes modifications qu'il est possible d'apporter au système. L'analyse des scénarios qui Conduisent à un E.R. est faite à partir des arbres de défaillances, il est alors possible de disposer des "barrières de sécurité" pour éviter les incidents.
- Enfin, il est possible d'évaluer la probabilité d'apparition de l'E.R. connaissant la probabilité des événements élémentaires. C'est l'analyse quantitative qui permet de déterminer d'une manière quantitative les caractéristiques de fiabilité du système étudié.

L'objectif est en particulier de définir la probabilité d'occurrence des divers événements analysés. Les calculs reposent sur : les équations logiques tirées de la structure de l'arbre de défaillances et des probabilités d'occurrence des événements élémentaires.

1.4.3 Principe de fonctionnement

La méthode de l'arbre de défaillances définit d'abord les événements de défaillance à analyser. Ensuite, créez un arbre pour décrire la cause de cet échec.

Un arbre de défaillances est une représentation graphique des événements pouvant conduire à une défaillance. Les événements sont divisés en branches et sous-branches, représentant les causes et les effets.

Les événements sont divisés en deux catégories : les événements de base et les événements avancés. Les événements de base sont des événements qui ne peuvent pas être décomposés dans les sous-événements. Les événements avancés sont des événements qui sont le résultat de plusieurs événements de base. [8]

1.5 La Gestion de maintenance assistée par ordinateur ou GMAO

1.5.1 Définition et fonctionnement

La GMAO fait partie du système d'information, de gestion et de pilotage de la fonction maintenance qui a pour mission de garder les installations dans un état tel qu'ils puissent constamment répondre aux spécifications pour lesquelles ils ont été conçus et ceci d'une manière efficace et économique. L'outil informatique de gestion est alors une aide pour tracer, archiver, analyser et prendre des décisions. [9]

1.5.2 Que signifie GMAO ?

En 1985 M. Gabriel et Y. Pimor définissaient la gestion de la maintenance assistée par ordinateur en ces termes : « Un système informatique de management de la maintenance est un progiciel organisé autour d'une base de données permettant de programmer et de suivre sous les trois aspects techniques, budgétaire et organisationnel, toutes les activités d'un service de maintenance et les objets de cette activité (services, lignes, ateliers, machines, équipements, sous-ensembles, pièces, etc.) à partir de terminaux disséminés dans les bureaux techniques, ateliers, magasins et bureaux d'approvisionnement. » [10]

GM (gestion de la maintenance) : c'est avant tout la compétence de l'acquéreur utilisateur.

AO (assistance informatique) : c'est la compétence du vendeur (qui n'ignore pas la maintenance, mais ne connaît pas votre entreprise). Une GMAO investie est une « valise pleine d'informatique et vide de maintenance » il s'agit de la remplir, puis d de la faire vivre à l'intérieur d'une organisation préalablement éprouvée. [11]

1.5.3 Les fonctionnalités du système GMAO

L'outil de GMAO se caractérise par quatre fonctionnalités standard : - Gestion de la maintenance c'est-à-dire des interventions préventives et curatives sur les machines. - Gestion du personnel de maintenance : planning, affectations aux personnes, gestion des formations (peu usité). - Gestion des stocks de pièces détachées : contrôle des stocks en magasin, alertes sur seuil, réception de pièces. - Gestion des achats : Edition des commandes, gestion des

fournisseurs et de leur prix, facturation. [12] Un recensement de l'offre commerciale en matière de logiciels de GMAO et d'aide à la maintenance fait ressortir environ 800 logiciels et progiciels de GMAO et d'aide diverses à la maintenance pour tous les secteurs industriels. [9]

1.5.4 Avantages d'une GMAO

L'utilisation d'une GMAO présente de nombreux avantages, notamment :

- L'amélioration de la qualité du service : En assurant le suivi et la gestion des données relatives aux activités de maintenance, la GMAO peut aider les organisations à améliorer la qualité de leurs services. Cette amélioration de la qualité de service peut conduire à une plus grande satisfaction des clients.
- Réduction des temps d'arrêt : En rationalisant et en optimisant les opérations de maintenance d'une organisation, la GMAO peut contribuer à réduire les temps d'arrêt. Cette réduction des temps d'arrêt peut conduire à une augmentation de la productivité et à une diminution des coûts.
- Augmentation de la productivité : En réduisant les temps d'arrêt et en améliorant la qualité des services d'une entreprise, la GMAO peut contribuer à augmenter la productivité. Cette productivité accrue peut conduire à une augmentation des profits
- Réduction des coûts de maintenance : En rationalisant et en optimisant les opérations de maintenance d'une organisation, la GMAO peut contribuer à réduire les coûts de maintenance. Cette réduction des coûts peut entraîner une augmentation des bénéfices.
- Suivi précis de la maintenance industrielle : La GMAO peut aider les organisations à suivre avec précision leurs activités de maintenance. Ce suivi précis peut aider à améliorer la prise de décision et permettre une meilleure planification.

Chapitre 02

Méthode d'analyse des modes de défaillance AMDEC

2.1. Histoire et Evolution

L'AMDEC ou (FMECA (Failure mode effet critically analysis)) a été créée aux États-Unis par la société Mc Donnelly Douglas en 1966. Elle consistait à dresser la liste des composants d'un produit et à cumuler des informations sur les modes de défaillance, leur fréquence et leurs conséquences. La méthode a été mise au point par la NASA et le secteur de l'armement pour évaluer l'efficacité d'un système.

Dans un contexte spécifique, cette méthode est un outil de fiabilité. Elle est utilisée pour les systèmes où l'on doit respecter des objectifs de fiabilité et de sécurité. À la fin des années soixante-dix, la méthode fut largement adoptée par Toyota, Nissan, Ford, BMW, Peugeot, Volvo, Chrysler et d'autres grands constructeurs d'automobiles.

La méthode d'abord été utilisée pour évaluer la fiabilité des produits, puis les processus de production, et sert maintenant à analyser le risque et la criticité de processus divers. C'est un outil courant des programmes de gestion de la qualité. Elle est utilisée systématiquement dans les industries à risque et est un outil obligatoire de l'accréditation à certaines normes, par exemple, celles de l'industrie automobile. [13]

Actuellement, les AMDEC sont mises en œuvre :

- De façon réglementaire : sûreté des industries à risque (nucléaire, chimie, aérospatiale, Transports, etc.) ;
- De façon contractuelle : équipementiers de l'automobile principalement ;
- De façon volontaire : construction d'une bonne disponibilité à l'origine ou amélioration de la disponibilité en phase d'exploitation. [14]

2.2 Présentation

En matière de maintenance, l'AMDEC est un outil qui permet d'analyser tous les types de systèmes, qu'ils soient complexes ou non, et qui se concentre sur la façon dont un composant peut être à l'origine d'une dérive (le mode de défaillance), les conséquences de celle-ci (les effets) et son importance qualitativement chiffrée (la criticité) [15].

2.3 Définition

L'AMDEC est une analyse impliquant des réflexions qui observent d'éventuels dommages sur chaque composant. Chacun de ces écarts est ensuite évalué au regard des critères de criticité

exprimés par le produit. Chaque réflexion, du composant à l'indice de criticité pouvant conduire à une défaillance, se déroule par étapes : fonction, mode, cause, effet et détection. [16]

2.4 Objectifs de l'AMDEC

L'AMDEC est une procédure d'analyse des modes de défaillance et de leurs effets. Cette méthode a pour objectif :

- ✓ Analyser les conséquences des défaillances.
- ✓ Identifier les modes de défaillances.
- ✓ Préciser pour chaque mode de défaillance les moyens et les procédures de détection.
- ✓ Déterminer l'importance ou la criticité de chaque mode de défaillance,
- ✓ Classer les modes de défaillance.
- ✓ Etablir des échelles de signification et de probabilité de défaillance. [17]

2.5 La matrice

En plus de ce tableau (2.1), l'en-tête de la matrice contient toutes les informations pertinentes pour l'analyse. Ci-dessous, les colonnes de gauche à droite forment les étapes de progression de la réflexion depuis chaque composant jusqu'à l'indice de criticité C.

La matrice présente quatre parties principales correspondant aux éléments de base de ce type d'analyse : le composant, sa fonction, les éventuels défauts pouvant en être la source, et enfin la criticité de ces défauts [16].

AMDEC-analyse des modes de défaillance, de leur effet et de leur criticité										
Système : CMI02		Sous système : POMPE			Date :		Critères			
Composant	Fonction (s)	Défaillances								
		Mode(s)	Cause (s)	Effet(s)		Détection	D	O	S	C
Système	Autres composants									
Joint	Étanchéité	Détérioration	Usure	Écoulement	Salissures	Fuite				
			Montage	Écoulement	Salissures	Fuite				

Tableau 2.1 : En-tête de la matrice AMDEC [16]

2.5.1 Les composants

Tous les organes du système sont présents dans la première colonne. Un élément est, dans un système simple, un élément incorporé qui ne peut pas être dissocié (comme un joint dans le cas d'une pompe).

Si des systèmes complexes sont envisagés, il est possible d'assimiler des ensembles d'éléments à des composants (comme la pompe de lubrification dans le cas d'une analyse sur une machine-outil complète). [15]

2.5.2 Les fonctions

Les fonctions d'un élément sont généralement peu visibles par rapport au système global, mais elles permettent de réaliser la fonction globale. La fonction d'un composant peut varier (roulement : orienter un arbre en rotation, réduire les frottements...). À cette étape, il est préférable d'utiliser des verbes à l'infinitif, car il est plus précis de désigner une fonction par son action : guider, réduire, pour reprendre le précédent exemple. [15].

2.5.3 Les défaillances

L'objectif principal de l'AMDEC est de détecter d'éventuels défauts ou points faibles. Ces événements seront donc naturellement plus spécifiques. Par conséquent, nous pensons qu'une défaillance est caractérisée par la manière dont elle se produit, pourquoi elle se produit et son impact sur le système ainsi que sur d'autres composants.

Quantification d'un défaut déterminé, dont l'évaluation de la gravité est obtenue par le produit de trois critères numériques : détection, occurrence et gravité. [15]

2.5.3.1 Les modes de défaillance

Les modes de défaillance sont les manières par lesquelles un composant peut rencontrer des anomalies telles qu'une partie de sa fonctionnalité n'est plus garantie (perte de fonctionnalité, perte, dégradation, déclenchement inopiné). [15]

2.5.3.2 Les causes de défaillance

La cause de l'échec est la dérive des événements qui ont produit et/ou favorisé l'émergence de tout comme chaque fonction peut avoir plusieurs modes de défaillance, chaque mode de défaillance peut également avoir plusieurs causes.

La recherche de la cause d'une panne peut être facilitée en utilisant les 5M connus (Méthode, Moyens (ou Machine), Matériaux (ou Matériaux), Environnement et Main d'œuvre), la méthode en arête de poisson ou la méthode des causes et effets. Cette approche suggère, entre autres, que la cause de l'anomalie pourrait être éloignée dans le temps et dans l'espace de l'organe, sans lien direct apparent avec son origine. "5M" peut être remplacé par d'autres types. Les raisons sont généralement exprimées sous forme de faits. [16]

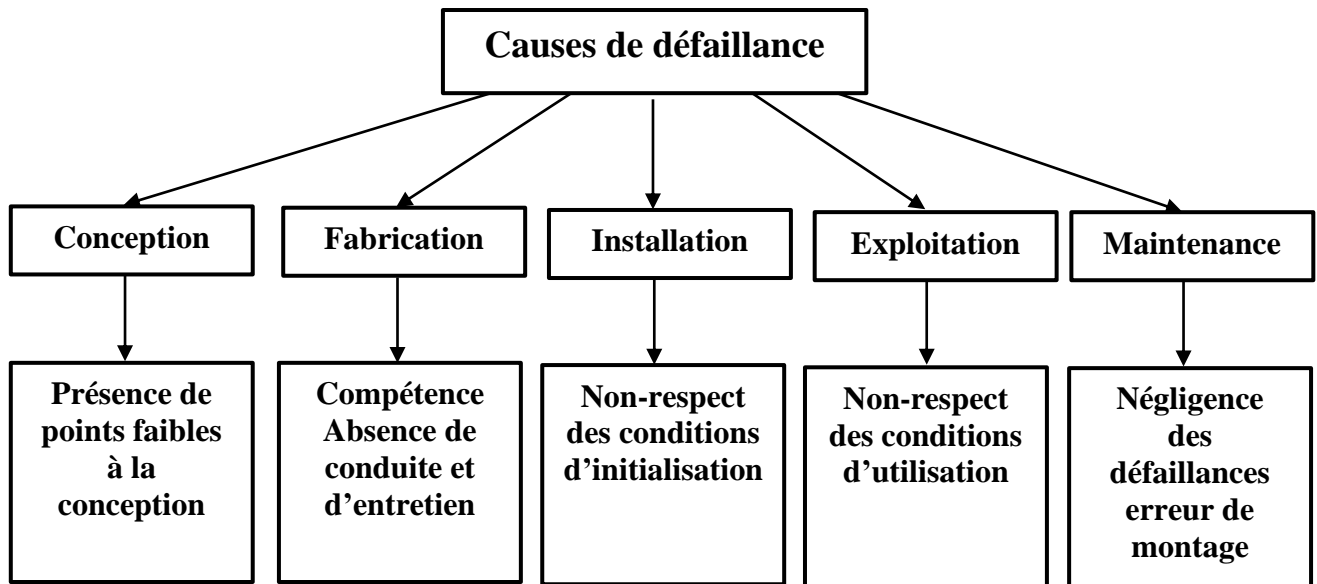


Fig. 2.1 : Les causes de défaillance. [18]

2.5.3.3 Les effets de défaillance

Il est important de séparer les effets de défaillance en deux catégories pour la précision de l'AMDEC :

- Impact sur le système. Ils sont une conséquence directe d'un dysfonctionnement Appareil entier
- Effets sur les autres composants. Logiquement, ces autres composants sont fonctionnellement proches des organes apparentés. [15]



Fig. 2.2 : Causes et effet. [19]

2.5.3.4 La détection

Les tests indiqués dans la dernière colonne de l'analyse qualitative sont des méthodes de constat de dysfonctionnement. Cette observation peut être faite aussi bien par les techniciens que par l'opérateur lui-même.

Dans cette colonne "Détection", seuls les faits observables apparaissent : déconnexion, blocage, casse, échauffement, bruit, fuite, fumée, perte de fonction.

2.5.4 Les critères

2.5.4.1 Le Critère D (aptitude à la détection) ou N (aptitude de Non détection)

Le critère de détection permet de quantifier la capacité d'un symptôme, d'une anomalie ou d'une défaillance à être repéré. La difficulté de détecter une défaillance étant bien entendu un handicap, l'indice est proportionnel à la difficulté.

Le critère D est donc découpé en niveaux de difficulté croissante de 1 vers 4 (ou davantage) et qu'il est important de préciser parfaitement. [20]

Note	Critère
1	Détection automatisée (100%)
2	Détection humaine
3	Détection aléatoire
4	Aucun moyen de détection

Tableau 2.2 : Grille de l'échelle de non détection [20]

2.5.4.2 Le critère S (sévérité) ou G (gravité)

Le critère de sévérité évalue le risque pour l'utilisateur ainsi que pour le système et le service rendu. A chacun des effets d'une défaillance correspond un indice de sévérité. Le critère de sévérité, comme celui de l'occurrence, doit être très précis dans ses définitions, la sévérité et la gravité étant des notions subjectives. [20]

Note	Critère
1	Pas d'arrêt de la production
2	Arrêt \leq 1 heure
3	1 heure < arrêt \leq 1 jour
4	Arrêt > 1 jour

Tableau 2.3 : Grille de l'échelle de gravité [20]

2.5.4.3 Le critère O (occurrences) ou F(Fréquence)

Le critère d'occurrence indique le niveau de probabilité d'apparition d'une défaillance, la fiabilité en quelque sorte

Note	Critère
1	D'une à deux fois par an
2	Au moins une fois par 6 mois
3	Au moins une fois par 3 mois
4	Au moins une fois par mois

Tableau 2.4 : Grille de l'échelle de fréquence d'apparition [20]

2.5.4.4 Le critère C (criticité)

La criticité s'obtient en faisant le produit des indices des critères précédents. Cette valeur de criticité, établie souvent sur une échelle de 1 à 64 (4 fois 4 fois 4) permet de connaître, à partir de ses propres critères d'évaluation, le caractère critique de chacune des causes de défaillance potentielle pour chacun des composants d'un système. Il est possible, et même souhaitable, de ne pas s'en tenir qu'aux valeurs importantes de l'indice C pour engager une action. Un indice isolément très élevé - généralement un indice de 4 pour le critère S - peut à lui seul conduire à une décision, alors que C n'est pas particulièrement important. [20]

Niveau	Définition
$C < 9$	Faible. Aucun problème particulier. Surveillance habituelle.
$9 < C < 25$	Acceptable. Nécessite une surveillance particulière et/ou une révision de la politique de maintenance
$C > 25$	Forte. Surveillance accrue. Remise en cause de la maintenance. Eventuellement, arrêt pour améliorations.
$S = 4$	Dangereuse. Révision de la politique de maintenance et/ou modifications du système. Arrêt si sécurité menacée.

Tableau 2.5 : Grille de l'échelle de gravité [20]

Etapes de la méthode :

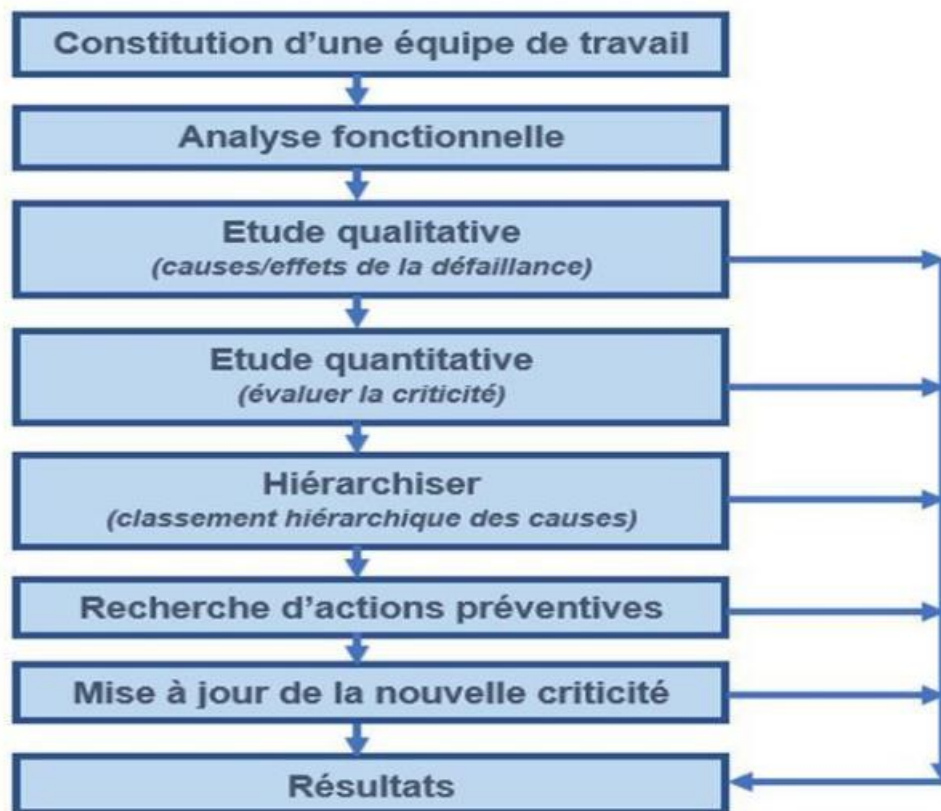


Fig. 2.3 : Les démarches d'AMDEC. [21]

Chapitre 03

Exemples d'application des méthodes d'analyse et de gestion de la maintenance industrielle

3.1 Application Ishikawa

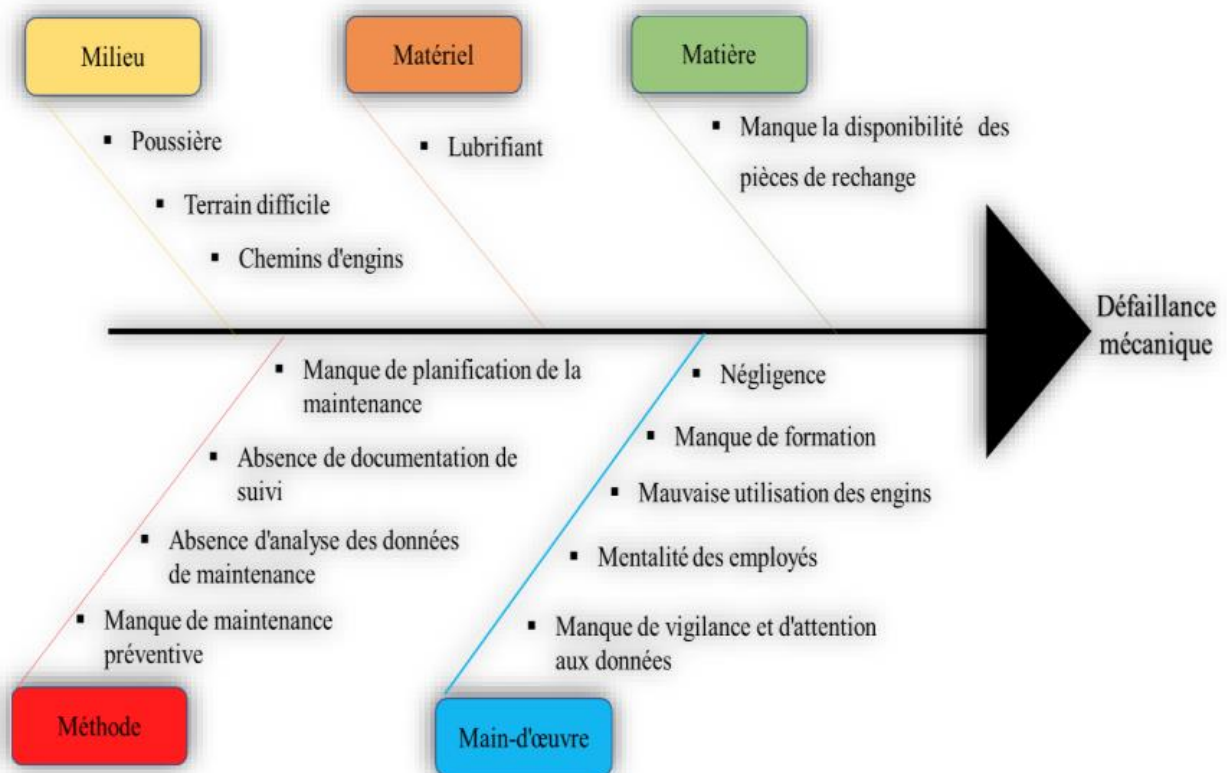


Fig. 3.1 : Diagramme d'Ishikawa (pannes mécanique) [22]

3.1.1 Main-d'œuvre

Cette catégorie des causes est la plus considérable avec un taux estimé à 50% d'effets.

- ✓ Mentalité des employés : attitude conscience professionnelle du point de vue et engagement qualité et sécurité.
- ✓ Manque de formation : absence de connaissances et compétences nécessaires.
- ✓ Mauvaise utilisation des engins : manipulation incorrecte, surcharge, non-respect des spécifications.

- ✓ Négligence : manque d'attention ou de soin lors de la manipulation des équipements.
- ✓ Manque de vigilance et d'attention aux données : absence de suivi régulier des données de performance, de signaux d'alerte et de maintenance préventive. [22]

3.1.2 Méthode

Le taux d'effet de la catégorie de méthode est de 40 %

- ✓ Manque de planification de maintenance : Manque de calendriers et de procédures de maintenance maintenir.
- ✓ Manque de documentation de suivi : Manque de suivi de l'historique de l'appareil et des informations sur les réparations effectuées.
- ✓ Manque d'analyse des données de maintenance : les données ne sont pas utilisées pour identifier les problèmes récurrents et les opportunités d'amélioration.
- ✓ Manque de maintenance préventive : Manque de calendrier de maintenance régulière Préventif. [22]

3.1.3 Matérielle

Pour ce type de cause, on l'a quantifié à 2% d'effet de lubrifiant : utilisation d'un lubrifiant inadéquat ou manque de lubrification adéquate. [22]

3.1.4 Milieu

L'impact de ces causes est estimé à 5%.

- ✓ Poussière : Poussière accumulée dans l'appareil.
- ✓ Terrain difficile : utilisé dans des environnements difficiles où le sol est instable,
- ✓ Trajectoire de la machine : Conduite sur des routes accidentées avec des obstacles ou des trous. [22]

3.1.5 Matière

Manque de pièces de rechange : lorsque les pièces défectueuses doivent être remplacées lors du remplacement, des pièces de rechange doivent être disponibles. s'ils ne le sont pas disponible en temps opportun, ce qui peut entraîner des temps d'arrêt prolongés, ce qui a été quantifié à 3 %. [22]

3.2 Application de la loi de Pareto (loi des 20-80)

Pour appliquer la méthode ABC, vous devez d'abord classer les pannes de la machine STEELASTIC par ordre décroissant, puis calculer leur somme cumulée et leur pourcentage, puis calculer la somme cumulée et le pourcentage de leurs fréquences de pannes.

Comme le montre le tableau suivant :

N ^o	Types des pannes	Fréquence	Temps d'arrêt (Heurs)	Cumul de fréquence	Cumul de Temps d'arrêt	Cumul de fréquence (%)	Cumul Temps d'arrêt (%)
1	Les lames arrêtent de couper	1	35	1	35	4,35	15,70
2	Les vérins pneumatiques du vide ne fonctionnent pas	1	34	2	69	8,70	30,94
3	Problème aspirateur et capteur	1	31	3	100	13,04	44,84
4	Le coupeur arrête de couper	1	25	4	125	17,39	56,05
5	Câble métal cassé des pièces de découpe	1	21	5	146	21,74	65,47
6	Convoyeur problème de pièces de coupe	1	20	6	166	26,09	74,44
7	Problème croix sous vide	2	16	8	182	34,78	81,61
8	Matériau bloqué par l'extrudeuse	4	14	12	196	52,17	87,89
9	Problème de croix	2	14	14	210	60,87	94,17
10	Fuite d'eau dans le tambour de refroidissement	3	5	17	215	73,91	96,41
11	Problème boulons de l'extérieur non ouverts	2	2	19	217	82,61	97,31
12	Problème de coupe-table	2	4	21	221	91,30	99,10
13	Problème d'huile dans l'extrudeuse	2	2	23	223	100	100

Tableau 3.1 : L'analyse ABC (Pareto).

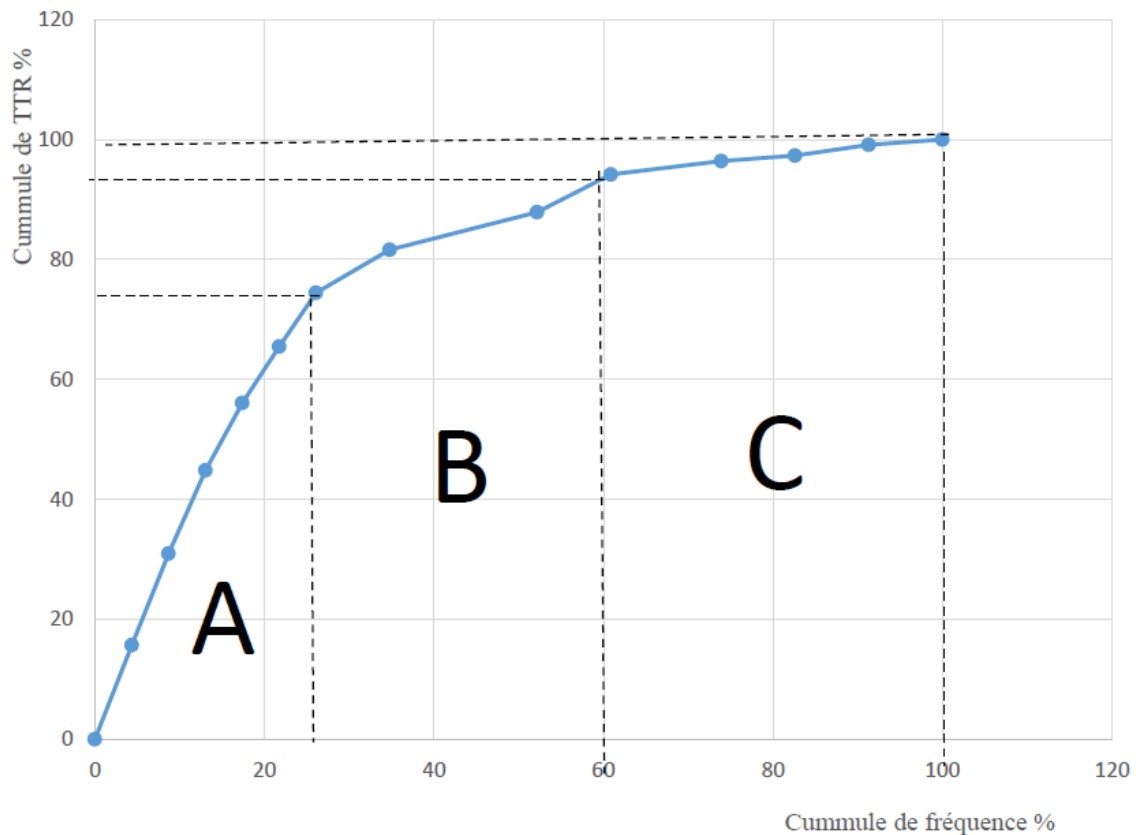


Fig. 3.2 : La courbe d'ABC.

3.2.1 Interprétation de la courbe

- La zone A : elle représente 74,44 % des heures d'arrêt représentent 26,09 % des défaillances, c'est la zone la plus importante. Cette zone contient les éléments les plus perturbés : Les lames, les vérins pneumatiques, Câble Mittal, aspirateur et capteur.
- La zone B : dans cette zone 19,73% des heures d'arrêt représente 34,78% des défaillances, c'est une zone contient des éléments moins perturbés par rapport aux éléments de la zone A : Problème croix sous vide, matériau bloqué par l'extrudeuse.
- La zone C : dans cette zone 5,84% des heures d'arrêt représentent 39,13 % des défaillances, elle contient les éléments les moins perturbés par rapport aux deux autres zones.

Le tambour de refroidissement, problème de coupe-table, problème d'huile dans l'extrudeuse.

3.3 Application de L'arbre de défaillance

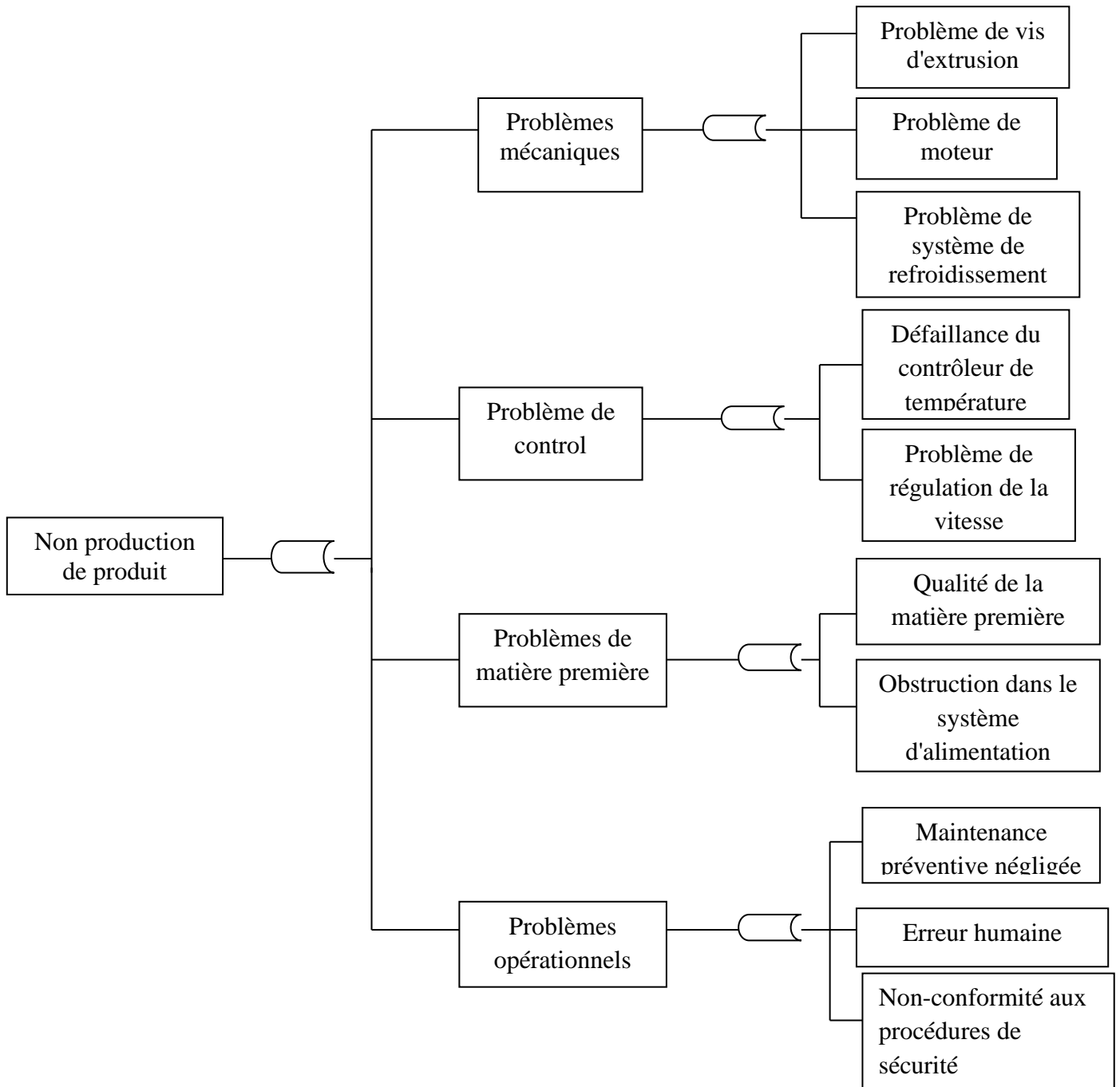


Fig. 3.3 : l'arbre de défaillance d'extrudeuse

3.4 Application de l'AMDEC

3.4.1 Analyse de l'extrudeuse par la méthode AMDEC

Pour pouvoir connaître les pannes les plus critique et pénalisation de notre système, nous avons mené une étude quantitative par la méthode AMDEC.

A la fin de cette analyse nous aurons une image sur l'ensemble des pannes et défauts ce qui nous permet de concentrer sur les panes critiques. Les tableaux suivants résumé notre étude.

3.4.2 Analyse de Système de chauffage et d'extrusion

Elément	AMDEC								
	Fonction	Mode de la défaillance	Cause de la défaillance	Effet de la défaillance	Détection	F	G	D	C
	Système : extrudeuse Sous-système : Système de chauffage et d'extrusion			Phase de fonctionnement : Marche normale					
Chambre de chauffage	Chauffer et fondre les matières	Surchauffe excessive	Obstruction des canaux de refroidissement	Détérioration des matériaux fondus	Surveillance continue	1	4	1	4
Vis d'extrusion	Mélanger et transporter les matières	Blocage	Accumulation de débris Mauvaise lubrification	Risque de dégradation	Inspection visuelle	2	3	1	6
Éléments de transmission et de moteur	Transmettre la puissance	Défaillance	Surcharge excessive	Arrêt complet de la production	Surveillance continue	2	4	1	8

Tableau 3.2 : Analyse de Système de chauffage et d'extrusion

Conclusion Générale

La maintenance industrielle est un domaine en perpétuelle évolution, de nouvelles méthodes et technologies sont constamment mises au point afin de faire face aux défis complexes auxquels les entreprises font face. Ainsi, il est primordial que les experts soient constamment à l'affût des avancées récentes et adoptent une approche proactive afin d'améliorer en permanence les pratiques de maintenance.

Les objectifs de la gestion de la maintenance sont des tâches séquentielles commencent par visualiser, analyser, planifier, optimiser et minimiser les risques.

Dans ce travail nous sommes intéressés à exposer les différentes approches d'analyse et d'amélioration de la maintenance industrielle, soulignant leur importance essentielle dans la gestion efficace des équipements et des biens. En analysant le diagramme d'Ishikawa, l'analyse ABC, l'AMDEC, GMAO et l'arbre de défaillance. Nous avons mis en évidence l'importance de ces outils pour repérer les principales causes des défaillances et classer les problèmes de manière hiérarchique.

Finalement, cette étude a mis en évidence l'importance stratégique de la gestion efficace de la maintenance industrielle afin d'optimiser la productivité, la fiabilité et la rentabilité des initiatives. Les entreprises peuvent s'efforcer d'atteindre des performances opérationnelles optimales tout en garantissant la durabilité à long terme de leurs actifs et de leurs infrastructures en utilisant les méthodes d'analyse et d'optimisation exposées.

Références bibliographiques

- [1] KADRI, M. L. Application de la méthode AMDEC sur une machine clé en service. Thèse de doctorat.
- [2] Thiombiano, T. La loi de Pareto : une loi sur l'inégalité ou sur la pauvreté. 1999.
- [3] Djafer, A. B. (2012/2013). Réalisation d'un plan de maintenance préventive systématique pour l'amélioration de la sûreté de fonctionnement d'un système électromécanique.
- [4] Institut supérieur des études technologiques de Nabeul. (2013/2014). Introduction à la maintenance.
- [5] Lefebre, A. (2023, 20 juin). Le diagramme d'Ishikawa.
- [6] BELHEZIEL, A., & MOUFFOK, M. Diagnostic de défaut d'un four électrique par la méthode de l'arbre de défaillance. Thèse de doctorat. Université Ibn Khaldoun. 2023
- [7] Université de Msila. (s.d.). Arbre de défaillance, cours, chapitre 06. Récupéré de <http://elearning.univ-msila.dz>
- [8] Faber, M. H. (2012). Statistics and probability theory: in pursuit of engineering decision support (Vol. 18). Springer Science & Business Media.
- [9] Vasse, F., & Zwingelstein, G. (2005). Le 19e panorama de la GMAO. Récupéré sur <http://www.afim.asso.fr>
- [10] La gestion de la maintenance assistée par ordinateur et la maintenance des logiciels Nicolas Buchy. www.lrgl.uqam.ca. 2002
- [11] Monchy, F. (2000). Maintenance méthodes et organisations. Dunod : Paris.
- [12] Le Provost, R., & Hemery, M. (2005). Guide informatique.
- [13] Benissaad, S. (2007-2008). Cours de Maintenance Industrielle (TEC 336). Université Mentouri Constantine, Faculté des Sciences de l'Ingénieur.
- [14] Kélada, J. (1998). La méthode AMDEC. École des Hautes Études Commerciales.
- [15] Auberville, J.-M. (2004). Maintenance industrielle : De l'entretien de base à l'optimisation de la sûreté. Ellipses édition Marketing S.A.
- [16] Djebala, A. Cours de maintenance et sûreté de fonctionnement. Université de Guelma.
- [17] Site Web : Qualité. (s.d.). AMDEC. Récupéré de <https://qualite.ooreka.fr/comprendre/amdec> [Consulté le 3 mai 2020].
- [18] GUELAI, R., & BRIK, A. Contribution à la maintenance d'une machine industrielle «convoyeur à bande» . Thèse de doctorat. 2022.
- [19] WWW.<http://crrta.fr/wp-content/uploads/2013/10/04-M%C3%A9thode-AMDEC.pdf>.

Références bibliographiques

- [20] Moncef, B. O. U. C. H. E. M. A. L. Amélioration d'une politique de maintenance en milieu industriel par application d'une approche évaluative. 2022.
- [21] Benaben, A. L. Méthodologie d'identification et d'évaluation de la sûreté de fonctionnement en phase de réponse à appel d'offre. Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse-INPT. 2009.
- [22] MELLOUK, A., & CHABBI, K. Optimisation de la maintenance par fiabilité (cas de la mine d'Ouenza). Thèse de doctorat. 2023.