

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**

جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd - Tlemcen -

Faculté de TECHNOLOGIE



## **MEMOIRE**

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

**En** : Génie Mécanique

**Spécialité** : Maintenance Industrielle

**Par** : ADDOUN Abdelkrim

### **Sujet**

Optimisation de la maintenance par la méthode  
AMDEC appliquée au ventilateur de l'entreprise  
**ALZINC**

Soutenu publiquement, le 12 / 11/ 2015 , devant le jury composé de :

M. MEFTAH. K	Docteur	Univ. Tlemcen	Président
M. GHERNAOUT. M.A	Docteur	Univ. Tlemcen	Directeur de mémoire
M. MAMI. E.F	Docteur	Univ. Tlemcen	Co-Directeur de mémoire
M. GUERNIFED. A	Docteur	Univ. Tlemcen	Examineur 1
M. OULD KADDOUR. A	Docteur	Univ. Tlemcen	Examineur 2

# Remerciements

Ce mémoire a été développé grâce aux conseils, aux orientations et à l'assistance de Monsieur GHERNAOUE M.A à qui j'adresse tout d'abord mes remerciements les plus vifs, pour la direction de mon travail,

Je tiens à assurer de ma respectueuse gratitude à Monsieur MAMI E.F qui a bien voulu en assurer le co-encadrement.

Je n'oublie pas de remercier tous les Enseignants du Département du Génie Mécanique pour leur dévouement et leur disponibilité tout au long de mon cursus universitaire.

Je remercie également tous les Responsables de l'entreprise Alzinc, particulièrement, Monsieur BOUHADJAB Omar et Monsieur MBAREK Mohamed pour leur soutien qu'ils ont su m'apporter pour l'accomplissement de ce projet de fin d'études.

Mes plus vifs remerciements sont adressés également aux membres du jury pour la lecture et l'examinassions de ce travail.

Enfin, je tiens à remercier tous ceux qui de près ou de loin m'ont aidé durant le déroulement de ce mémoire.

## Dédicaces

Je dédie ce mémoire à:

-Mes parents qui m'ont beaucoup aidé durant mes études, et m'ont tellement encouragé moralement et psychologiquement, ils se sont sacrifiés pour moi durant toute la période de mes études, que DIEU les protègent,

-toute ma famille sans exception,

-tous les enseignements du Maintenance industrielle,

-tous mes amis de la promotion génie mécanique sans citer les noms,

-tous ceux qui m'ont aidé durant ma vie universitaire.

Addoun abdelkrim

# SOMMAIRE

Introduction générale

## **CHAPITRE 1 : Importance de la maintenance industrielle pour l'entreprise.**

Introduction .....	01
1.1. Définitions et rôle de la maintenance .....	01
1.1.1. Définitions normatives .....	01
1.1.2. Rôle de fonction maintenance .....	02
1.2. Objectifs de la maintenance .....	02
1.2.1. Objectifs généraux.....	02
1.2.2. Maintenance et zéros olympiques .....	03
1.2.3. Objectifs techniques de la maintenance .....	03
1.2.4. Objectifs financiers de la maintenance .....	05
1.2.5. Moyens d'action.....	06
1.3. Services de la maintenance .....	06
1.3.1. Fonctions du service maintenance.....	06
1.3.1.1. Fonction études .....	07
1.3.1.2. Fonction préparation .....	07
1.3.1.3. Fonction ordonnancement .....	07
1.3.1.4. Fonction réalisation .....	07
1.3.1.5. Fonction gestion .....	07
1.3.2. Domaines d'action du service maintenance.....	07
1.4. Place du service maintenance dans l'entreprise.....	08
1.5. Organisation du service maintenance.....	08
1.5.1. Maintenance centralisée .....	09
1.5.2. Maintenance décentralisée .....	09
1.6. Technicien de maintenance .....	09
1.7. Méthodes de la maintenance .....	09
1.7.1. Maintenance corrective .....	10
1.7.2. Maintenance préventive .....	10
1.7.3. Maintenance préventive systématique .....	11
1.7.4. Maintenance préventive conditionnelle .....	11
1.8. Opérations de maintenance .....	12
1.8.1. Opérations de la maintenance corrective .....	12

1.8.1.1. Dépannage .....	12
1.8.1.2. Réparation .....	12
1.8.2. Opérations de la maintenance préventive .....	12
1.8.2.1. Entretien .....	13
1.8.2.2. Surveillance .....	13
1.8.2.3. Révision .....	13
1.8.2.4. Préservation .....	14
1.9. Maintenance d'amélioration.....	14
1.10. Niveaux de maintenance .....	15
1.11. Procédure en cas de dysfonctionnement .....	16
1.12. Fiabilité et maintenance des équipements industriels .....	17
1.13. Choix des indicateurs de performance et paramètres d'optimisation de la maintenance .....	18
1.13.1. Maintenabilité .....	19
1.13.2. Fiabilité .....	20
1.13.3. Relation entre MUT, MTBF, MTTR, MDT .....	21
1.13.4. Disponibilité .....	22
1.14. Coûts en maintenance (suivant NF X60-02O) .....	22
1.14.1. Optimisation des coûts de maintenance .....	23
1.14.2. Recensement et analyse des coûts de maintenance.....	25
1.14.3. Ratios économiques .....	25
Conclusion.....	28
<b>CHAPITRE 2 : Méthodes d'optimisation de la maintenance.</b>	
Introduction .....	30
2.1. Réseaux de Bayes.....	30
2.1.1. Présentation .....	30
2.1.2. Définition .....	30
2.1.3. Construction d'un modèle .....	31
2.2. Réseaux de Pétri.....	32
2.2.1. Présentation .....	32
2.2.2. Définition .....	32
2.2.3. Construction d'un modèle .....	32
2.3. Chaîne de Markov .....	33
2.3.1. Présentation .....	33

2.3.2. Définition .....	33
2.3.3. Construction d'un modèle.....	34
2.4. Optimisation de la maintenance par le management de la qualité .....	35
2.4.1. Présentation.....	35
2.4.2. Maintenance Basée sur la Fiabilité (MBF) .....	35
2.4.2.1. Définition .....	35
2.4.2.2. Etapes de la méthode .....	35
2.4.3. Maintenance Productive Totale (TPM).....	36
2.4.2.1 Définition .....	36
2.4.2.2 Objectifs .....	37
2.5. Arbre de défaillance .....	38
2.5.1. Définition .....	38
2.5.2. Principe.....	38
2.5.3. Objectifs .....	38
2.5.4. Définition des événements .....	39
2.5.4.1. Événements redoutés.....	39
2.5.4.2. Événements intermédiaires .....	39
2.5.4.3. Événements élémentaires .....	39
2.5.5. Symboles de l'arbre de défaillance .....	40
2.5.5.1 Résumé de la symbolique des événements.....	40
2.5.6. Méthodologie .....	41
2.5.6.1. Construction d'un arbre de défaillances .....	42
2.5.6.2. Règles de construction .....	42
2.5.7. Analyse de l'arbre .....	43
2.5.7.1. Analyse quantitative .....	43
2.5.7.2. Analyse qualitative .....	43
2.6. Méthode AMDEC .....	43
2.6.1. Présentation .....	43
Conclusion.....	45
<b>CHAPITRE 3: Pratique de l'AMDEC.</b>	
Introduction .....	47
3.1. Historique de l'AMDEC .....	48
3.2. Définition de l'AMDEC .....	48
3.3. Objectifs de l'AMDEC.....	48

3.4. Avantages de l'AMDEC .....	49
3.5. Types d'AMDEC .....	50
3.5.1. AMDEC produit .....	51
3.5.2. AMDEC processus .....	51
3.5.3. AMDEC moyen de production .....	51
3.6. Organisation de la méthode AMDEC .....	52
3.7. Méthodologie de l'AMDEC .....	52
3.7.1. Etape1 : Initialisation .....	52
3.7.1.1. Définition du système étudié .....	52
3.7.1.2. Groupe de travail .....	53
3.7.1.3. Mise au point de supports de l'étude .....	53
3.7.2. Etape 2 : Analyse fonctionnelle .....	54
3.7.2.1. Définition .....	54
3.7.2.2. Analyse fonctionnelle externe .....	54
3.7.2.3. Analyse fonctionnelle interne .....	56
3.7.3. Etape 3 : Analyse des défaillances .....	58
3.7.3.1. Modes de défaillance .....	58
3.7.3.2. Causes de défaillance .....	58
3.7.3.3. Effets .....	60
3.7.4. Etape 4 : Cotations de criticité .....	60
3.7.4.1. Fréquence (F) .....	60
3.7.4.2. Gravité (G) .....	61
3.7.4.3. Détection (D).....	61
3.7.4.4. Criticité (C) .....	62
3.7.4.5. Matrice de criticité.....	62
3.7.5. Etape 5: Synthèse .....	63
3.7.5.1. Classement des problèmes rencontrés .....	63
3.7.5.2. Actions menées .....	63
3.7.5.3. Calcul de la nouvelle criticité .....	64
3.8. Perspectives de l'AMDEC .....	64
3.9. Place de L'AMDEC dans une démarche de maitrise des risques .....	64
Conclusion.....	65

## **CHAPITRE 4 : Application de l'AMDEC dans une entreprise Algérienne de production**

Introduction .....	67
4. 1. Présentation de l'entreprise, lieu d'application .....	67
4.2. Organigramme de l'entreprise.....	68
4.3. Organigramme de production .....	69
4.4. Processus et métier de l'entreprise Alzinc .....	69
4.4.1. Grillage .....	69
4.4.1.1. Production de ZnO .....	70
4.4.1.2 Production de l'acide sulfurique .....	71
4.4.2. Circuit de minerai .....	72
4.4.3. Stockage .....	72
4.4.4. Lixiviation .....	73
4.4.5. Purification .....	73
4.5. Sélection de l'équipement critique dans l'atelier de grillage .....	74
4.6. Présentation de la machine critique.....	77
4.6.1. Définition .....	77
4.6.2. Composants de la machine .....	79
4.7. Analyse fonctionnelle.....	81
4.7.1. Décomposition fonctionnelle .....	81
4.7.2. Analyse fonctionnelle externe .....	82
4.7.2.1. Bête à corne .....	82
4.7.2.2. Pieuvre.....	83
4.7.3. Analyse fonctionnelle interne.....	84
4.8. Analyse dysfonctionnelle .....	86
4.8.1. Application de l'AMDEC .....	86
4.8.1.1. Tableaux de l'AMDEC .....	86
4.8.2. Actions correctives .....	89
4.9. Méthode de l'arbre de défaillance .....	90
4.10. Dépannage des problèmes de performance .....	92
4.10.1. Problèmes de capacité d'air.....	92
4.10.2. Problèmes de bruit .....	92
4.10.3. Problèmes de vibrations .....	92
4.10.4. Problèmes de moteur .....	93
4.10.5. Problèmes d'entraînement.....	93
Conclusion.....	93

Conclusion générale

Bibliographie

Annexes

## Liste des figures

Figure 1.1. Objectifs généraux de l'entreprise .....	02
Figure 1.2. Place du service maintenance dans l'entreprise.....	08
Figure 1.3. types de maintenance .....	10
Figure 1.4. Procédure en cas de dysfonctionnement .....	16
Figure 1.5. Courbe en baignoire du taux de défaillance.....	18
Figure 1.6. Cycle de vie d'un système : évolution dans le temps .....	21
Figure 1.7. Indicateurs qui résultent la disponibilité.....	22
Figure 1.8. Compromis entre le coût de maintenance et le coût d'indisponibilité.....	24
Figure 2.1. Réseau Bayésien correspondant.....	31
Figure 2.2. Présentation graphique de Pétri .....	33
Figure 2.3. Graphe de Markov .....	34
Figure 2.4. Méthode de MBF.....	36
Figure 2.5. Maison de la TPM.....	37
Figure 2.6. Eléments de l'Arbre de Défaillance.....	43
Figure 2.7. AMDEC complément AdD .....	45
Figure 3.1. Méthode d'optimisation de la maintenance par l'AMDEC .....	49
Figure 3.2. Différents types de l'AMDEC.....	50
Figure 3.3. Bête à corne .....	55
Figure 3.4. Méthode de la pieuvre .....	55
Figure 3.5. Méthode Analyse Descendante .....	57
Figure 3.6. Méthode Diagrammes de Flux .....	58
Figure 3.8. Matrice de criticité.....	62
Figure 4.1. Vue générale de l'entreprise « Al zinc » de Ghazaouet.....	67
Figure 4.2. Organigramme de l'entreprise ALZINC.....	68
Figure 4.3. Organigramme de production. ....	69
Figure 4.4. Vue de l'atelier de Grillage.....	69
Figure 4.5. Vue de l'atelier lixiviation.....	73
Figure 4.6. Vue de l'atelier purification.....	74
Figure 4.7. Types de ventilateur en fonction de la direction de l'air pulsé.....	77
Figure 4.8. Photo du ventilateur M26 .....	79
Figure 4.9. Photo du ventilateur M30.....	80

Figure 4.10. Photo de ventilateur K102.....	80
Figure 4.11. Schéma de la forme des roues. ....	79
Figure 4.12. Schéma d'assemblage de système du ventilateur K102 .....	80
Figure 4.13. Schéma d'assemblage de système du ventilateur M26.....	81
Figure 4.14. Schéma d'assemblage de système du ventilateur M30.....	81
Figure 4.15. Décomposition fonctionnelle de ventilateur K102 .....	82
Figure 4.16. Décomposition fonctionnelle de ventilateur M26 et M30.....	82
Figure 4.17. Bête à corne appliquée aux ventilateurs.....	83
Figure 4.18. Pieuvre appliquée au ventilateur.....	83
Figure 4.19. Démarche de construction du FAST.....	84
Figure 4.20. Diagramme FAST.....	85
Figure 4.21. Histogramme de criticité du ventilateur M30 .....	87
Figure 4.22. Histogramme de criticité du ventilateur M26 .....	88
Figure 4.23. Histogramme de criticité du ventilateur K102.....	89
Figure 4.24. Arbre de défaillance du ventilateur M26. ....	91
Figure 4.25. Arbre de défaillance du ventilateur M 30.....	92
Figure 4.26. Arbre de défaillance du ventilateur K102.....	93

## Liste des tableaux

Tableau 1.1. Objectifs techniques de la maintenance .....	04
Tableau 1.2. Fonctions du service maintenance.....	06
Tableau 1.3. Niveaux de maintenance.....	15
Tableau 1.4. Causes et leurs remèdes des différents modes de défaillance .....	19
Tableau 1.5. Temps total d'opération.....	19
Tableau 1.6. Temps total d'arrêt.....	20
Tableau 1.7. Exemple de tableau d'analyse des coûts. ....	25
Tableau 1.8. Ratios de la fonction maintenance.....	27
Tableau 2.1. Symboles des événements. ....	40
Tableau 2.2. Portes de logiques.....	41
Tableau 2.3. Transfert des sous arbres .....	41
Tableau 3.1. Exemple 1 Fiche de l'AMDEC .....	53
Tableau 3.2. Exemple 2 Fiche de l'AMDEC .....	53
Tableau 3.3. Exemple 3 Fiche de l'AMDEC .....	54
Tableau 3.4. Exemples de modes de défaillance.....	59
Tableau 3.5. Exemples des causes de défaillance. ....	59
Tableau 3.6. Grille de cotation de la fréquence.....	60
Tableau 3.7. Grille de cotation de la gravité .....	61
Tableau 3.8. Grille de cotation de la détection.....	61
Tableau 3.9. Echelle de criticité .....	63
Tableau 4.1. Méthode PIEU.....	74
Tableau 4.2. Équipements à incidence directe de l'atelier grillage.....	76
Tableau 4.3. Description des ventilateurs .....	78
Tableau 4.4. Nomenclature des éléments des ventilateurs.....	79
Tableau 4.5. Application d'AMDEC sur ventilateur M30.....	86
Tableau 4.6. Application d'AMDEC sur ventilateur M26.....	87
Tableau 4.7. Application d'AMDEC sur ventilateur K102 .....	88
Tableau 4.8. Actions correctives. ....	89

## Listes des formules

Formule 1.1.	$\frac{\text{Coût de maintenance} + \text{coût d'indisponibilité}}{\text{Chiffre d'affaire relatif à la production}}$	(Coût total de maintenance)...5
Formule 1.2.	$\lambda = \frac{\text{Nombre de défaillances}}{\text{Durée d'usage}}$	(Taux de défaillance).....17
Formule 1.3.	$\text{MTBF} = \frac{1}{\lambda}$	(Moyenne des Temps de Bon Fonctionnement).....18
Formule 1.4.	$\text{MTTR} = \frac{\text{Temps total d'arrêts}}{\text{Nombre d'arrêts}}$	(Moyenne des Temps de Réparation).....20
Formule 1.5.	$\text{MTBF} = \text{MUT} + \text{MDT}$	(1.5).....21
Formule 1.6.	$D = \frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF} + \text{MTTR}}$	(Disponibilité).....22
Formule 2.1.	$C = G \times F \times D$	(Criticité).....44
Formule 4.5.	$\text{CR} = P \times I \times E \times U$	(Criticité).....74

# Liste d'abréviations

AMDEC	Analyse des Modes de Défaillance de leur Effet et de leur Criticité.
FMEA	Failures Modes and Effets Analysis.
AdD	Arbre de Défaillance.
CEN	Comité Européen de Normalisation.
AFNOR	Association Française de Normalisation.
MTTA	Moyennes des Temps Techniques d'Arrêt.
MTTR	Moyenne des Temps Techniques de Réparation.
MTBF	Moyennes des Temps de Bon Fonctionnement.
MUT	Durée moyenne de fonctionnement après réparation.
MDT	Durée moyenne d'indisponibilité après défaillance.
$\lambda$ (t)	Taux de défaillance.
TBF	Temps d'opération (Bon Fonctionnement).
TTR	Temps Technique de Réparation.
F(t)	Fonction de fiabilité.
R(t)	Fonction de réparation.
D(t)	Fonction de disponibilité.
CI	Coûts d'indisponibilité.
CM	Coûts de maintenance.
TRS	Taux de Rendement Synthétique.
AF	Analyse Fonctionnelle.
G	Gravité.
F	Fréquence.
D	Détection ou non Détection.
C	Criticité.
FS	Fonction de Service.
FP	Fonction Principale.
FC	Fonction Contrainte.
EME	Elément de Milieu Extérieur.
FT	Fonction Technique.
FTA	Faut Tree Analysis.
RdP	Réseau de Pétri.
RdB	Réseau de Bayes.

ER	Événement Redouté.
MBF	Maintenance Basée sur la Fiabilité.
TPM	Maintenance Productive Totale.
AB	Analyse du Besoin.
AFB	Analyse Fonctionnelle du Besoin.
ATC	Atelier Technique Centrale
LME	London Métal Exchange.
P	Incidence des pannes.
I	Importance.
E	Etats.
U	Taux d'utilisation.

## **Introduction générale**

La complexité des marchés, des produits, des processus, associées à la récession économique que vit le monde ces dernières années a poussé les industriels à optimiser leurs moyens de production, à augmenter les performances des produits et leur qualité, avec le souci d'optimiser les coûts de maintenance.

Il faut optimiser en permanence, car l'optimum varie et n'est autre qu'un compromis entre différents paramètres et contraintes, elles mêmes évolutives, et de ce fait, il reste empreint d'une certaine subjectivité, ce qui oblige à une recherche continue d'améliorations.

Toujours plus d'efficacité et de performances et toujours moins de dysfonctionnements.

Pour cela, les différentes fonctions de l'entreprises, sont sollicitées et la fonction maintenance tout spécialement.

L'AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et leur Criticité) est une méthode très utilisée pour les études de sûreté de fonctionnement lors de la conception et de l'exploitation des systèmes industriels. Elle est indispensable pour s'assurer que les paramètres de la sûreté de fonctionnement sont conformes aux spécifications.

Notre travail consiste à étudier cette méthode pour pouvoir l'appliquer sur des équipements industriels dans une entreprise Algérienne de production.

Pour mener à bien notre travail, nous avons organisé notre mémoire en quatre (04) chapitres:

Dans le premier chapitre, nous montrerons l'importance de la maintenance au sein de l'entreprise tout en rappelant son rôle, ses objectifs et ses méthodes.

Dans le deuxième chapitre, nous évoquerons les principales méthodes d'optimisation de maintenance, nous citerons à cette occasion les Réseaux de Bayes, la chaîne de Markov, les réseaux de Pétri, l'optimisation de la maintenance par le management de la qualité, (maintenance Basée sur la Fiabilité, Maintenance Productive Totale), l'arbre de défaillance, et la méthode AMDEC, objet de notre mémoire.

Dans le troisième chapitre, nous présenterons la méthode AMDEC avec ses types, et leur méthodologie d'application.

Dans le quatrième chapitre, nous appliquerons l'AMDEC et l'arbre de défaillance sur trois ventilateurs (M26, M30, K102) dans la Société ALZINC à Ghazaouet.

## Introduction

Pour être et demeurer compétitive, une entreprise doit produire toujours mieux et au coût le plus bas. Pour minimiser ce coût, on fabrique plus vite et sans interruption des produits de qualité, sans défaut afin d'atteindre la production maximale par unité de temps. L'automatisation et l'informatique ont permis d'accroître considérablement cette rapidité de production. Cependant, les limitations technologiques des moyens de production ne permettent pas d'augmenter les cadences. De plus, produire plus sous-entend produire sans ralentissements, ni arrêts. Pour cela, le système de production ne doit subir qu'un nombre minimum de temps de non production. Exceptés les arrêts inévitables dû à la production elle-même, les machines ne doivent jamais (ou presque) connaître de défaillances tout en fonctionnant à un régime permettant le rendement maximal.

Cet objectif est un des buts de la fonction maintenance d'une entreprise. Il s'agit de maintenir un bien dans un état lui permettant de répondre de façon optimale à sa fonction.

### 1.1. Définitions et rôle de la maintenance

La maintenance regroupe les actions de dépannage, de réparation, de réglage, de révision, de contrôle et de vérification des équipements matériels (machines, véhicules, objets manufacturés, etc.) ou même immatériels (logiciels).

#### 1.1.1. Définitions normatives

Une première définition normative de la maintenance fut donnée par l'AFNOR en 1994 (norme NFX 60- e.010), à savoir « l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé ».

Depuis 2001, elle a été remplacée par une nouvelle définition, désormais européenne (NF EN 13306 X 60-319) : « Ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise ».

Le dictionnaire Larousse définit la maintenance comme :

« L'ensemble qui permet de maintenir ou de rétablir un système en état de fonctionnement »

Le projet "CEN" (Comité Européen de Normalisation) la définit par :

« L'ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de gestion durant le cycle de vie d'un matériel, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise ».

La fonction requise est ainsi définie par : « la fonction ou l'ensemble des fonctions d'un bien considéré comme nécessaire pour fournir un service déterminé ».

### 1.1.2. Rôle de la fonction maintenance

Dans une entreprise, quelque soit son type et son secteur d'activité, le rôle de la fonction maintenance est donc de garantir la plus grande disponibilité des équipements au rendement meilleur tout en respectant le budget alloué. Le service maintenance doit mettre en œuvre la politique de maintenance définie par la direction de l'entreprise, cette politique devant permettre d'atteindre le rendement maximal des systèmes de production.

Un service de maintenance peut également être amené à participer à des études d'amélioration du processus industriel, et doit, comme d'autres services de l'entreprise, prendre en considération de nombreuses contraintes comme la qualité, la sécurité, l'environnement, le coût, etc

## 1.2. Objectifs de la maintenance dans l'entreprise

### 1.2.1. Objectifs généraux

Les objectifs poursuivis par la fonction maintenance résultent des objectifs généraux qui, dans le cas d'une entreprise portent essentiellement sur la rentabilité, la croissance, la sécurité, ainsi que sur des objectifs sociaux.

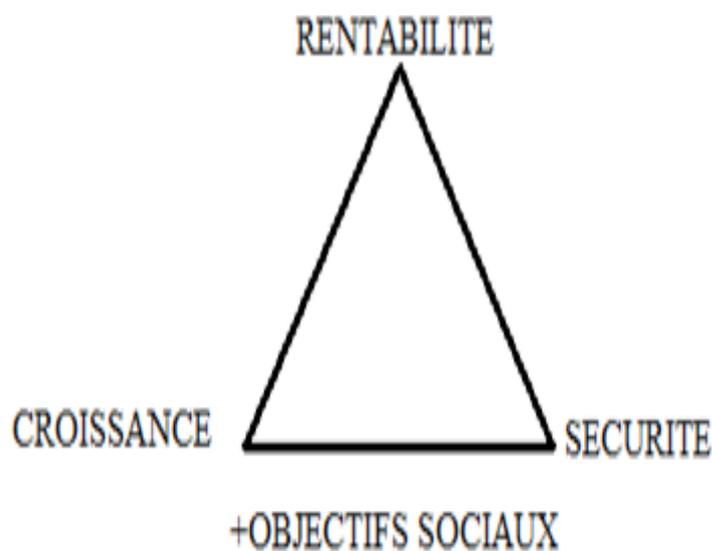


Figure 1.1. Objectifs généraux de l'entreprise. [11]

La fonction maintenance doit, comme les autres fonctions, contribuer à la réalisation de cet objectif essentiel, à savoir la rentabilité et la compétitivité des entreprises et l'efficacité des administrations.

La sécurité des personnes et des biens constitue une composante prioritaire des objectifs de la maintenance.

### **1.2.2. Maintenance et les zéros olympiques**

Les 5 zéros olympiques, dont il s'agit désignent un ensemble d'objectifs opérationnels de management des entreprises consistant en :

- Zéro panne
- Zéro défaut
- Zéro stock
- Zéro délai
- Zéro papier

Les stocks et les frais financiers correspondants ont pu être réduits considérablement.

Pour rester compétitives, les entreprises concurrentes sont obligées de chercher à faire au moins aussi bien. Une politique judicieuse de maintenance peut y contribuer efficacement, en particulier dans les industries utilisant des équipements coûteux :

- L'objectif zéro panne concerne essentiellement la maintenance. Il s'agit d'un impératif en ce qui concerne les fonctions mettant en jeu la sécurité des personnes.
- L'objectif zéro défaut intéresse la gestion de la qualité, mais la maintenance s'y trouve étroitement liée, car la qualité de la production dépend fortement de l'état des équipements.
- L'objectif zéro stock concerne également la maintenance en particulier pour l'organisation à flux tendus ou les stocks intermédiaires sont fortement réduits.  
Un résultat ne peut être obtenu qu'avec une fiabilité satisfaisante des équipements en amont.
- L'objectif zéro délai intéresse la fonction maintenance en ce qui concerne la durée d'intervention en cas d'incident, pour réduire au maximum la durée d'immobilisation.
- L'objectif zéro papier concerne moins directement la maintenance, mais l'application de l'informatique à de nombreuses fonctions de maintenance contribue à sa réalisation.

### **1.2.3. Objectifs techniques de la maintenance**

Ces objectifs dépendent essentiellement de la nature des entreprises considérées et leurs impératifs d'exploitation.

## CHAPITRE 1 : Importance de la maintenance industrielle pour l'entreprise.

	Production par processus	Production / montage en série	Production par unités	Services de transport	Exploitation des services
Type d'équipement	Spécialisé haute technologie	Machines-outils courantes	Équipement spécialisé spécifique à chaque étape de lancement des travaux	Parc relativement uniforme de technologie courante	Peu d'équipements propres mais des services auxiliaires
Impératif d'exploitation	Ne pas interrompre le flux, cela coûte cher	Maintenir chaque poste de travail à sa capacité maximale	A chaque nouvelle étape de la fabrication, l'appareillage nécessaire doit être disponible	Le nombre d'unités en révision doit être aussi faible que possible	A aucun moment, les services ne doivent être arrêtés
Capacités particulières	Connaissances approfondies du processus spécialisé	Connaissances des principaux types de machines-outils	Assurer la disponibilité du matériel spécialisé pour chaque étape	Prévoir une rotation rationnelle qui permet l'entretien systématique	Assurer sans interruption la fourniture du service auxiliaire

Tableau 1.1. Objectifs techniques de la maintenance. [11]

Les objectifs techniques de disponibilité effective des équipements peuvent consister en :

- un taux maximum de disponibilité effective,
- un nombre minimum d'arrêts,
- un taux de fiabilité,
- des objectifs de MTBF et MTTR.

## CHAPITRE 1 : Importance de la maintenance industrielle pour l'entreprise.

Le Taux de Rendement Synthétique (TRS), de la méthode Japonaise TPM présente l'avantage de prendre en compte toutes les causes d'arrêts ou de pertes, à savoir :

- Panne,
- Changements de série et réglages,
- Passages à vide, micro-arrêts,
- Diminution de cadence,
- Pertes pour défaut de qualité,
- Pertes au démarrage.

Le TRS rassemble donc les pertes liées à la maintenance et les autres pertes, telles que celles pour le changement de série et démarrages.

Les fonctions maintenance et qualité sont étroitement liées dans la méthode TPM, qui consiste une méthode globale de management.

### **1.2.4. Objectifs financiers de la maintenance [11]**

Lorsqu'un ensemble d'objectifs technique a pu être défini pour la maintenance, l'objectif financier consiste alors à réaliser cet objectif technique au moindre coût.

Cet objectif de moindre coût concerne évidemment le long terme. Le coût global d'acquisition et d'utilisation défini précédemment constitue alors l'indicateur le plus pertinent.

Lorsque les coûts d'indisponibilité peuvent être estimés de façon complète, cet dans la mesure où les contraintes et règles de sécurité sont satisfaites, c'est l'ensemble des coûts directs de maintenance et des coûts d'indisponibilité qu'il importe de rendre minimum.

Cette optimisation doit être effectuée à long terme le coût global d'acquisition et d'utilisation constitue également un indicateur pertinent, en y incluant ici les coûts d'indisponibilité.

A court terme, le budget du service maintenance constitue également un outil de gestion utile, et en fait nécessaire dans le cadre de l'élaboration du budget de l'entreprise.

Si la priorité est donnée au budget de la maintenance, la qualité du service rendu devient une résultante du moins en supposant le budget disponible utilise au mieux.

Une troisième voie consiste à chercher à optimiser le ratio ci-après :

$$\frac{\text{Coût de maintenance + coût d'indisponibilité}}{\text{Chiffre d'affaire relatif à la production}} \quad (1.1)$$

## CHAPITRE 1 : Importance de la maintenance industrielle pour l'entreprise.

Les règles relatives à la sécurité étant satisfaites, l'application de ce ratio permet d'adapter le management de la maintenance de façon à maximiser la rentabilité de l'entreprise et de contribuer à sa compétitivité.

Les coûts d'indisponibilité indiqués au numérateur désignent les coûts de non-efficacité liés à la fonction maintenance, dits « coûts de non maintenance ». L'application de ce ratio revient ainsi à rendre minimum le volume totale de l'iceberg comprenant :

- Les coûts directs de maintenance qui en représente la partie visible,
- Les coûts de non-efficacité liés à la maintenance qui en constituent la partie cachée.

### 1.2.5. Moyens d'action

Les moyens permettant de réaliser les objectifs précédents sont nombreux ils portent sur :

- les moyens de la fonction maintenance : personnel, fournisseurs et équipement, sous-traitance, documentation, organisation général, la gestion de ces moyens.
- les méthodes : maintenance préventive, systématique ou conditionnelle, corrective, et leur utilisation optimale.
- les outils de gestion : coût global de cycle de vie.
- l'amélioration systématique des équipements : fiabilité, maintenabilité disponibilité
- le système d'information et mesure, concernant les indicateurs techniques et financiers.
- l'utilisation de l'informatique.

## 1.3. Service de la maintenance [8]

### 1.3.1. Fonctions du service maintenance (Norme FD X 60-000)

Les fonctions du service maintenance sont présentées dans le tableau 1.2.

Les fonctions de la maintenance	Etude
	Préparation
	Ordonnancement
	Réalisation
	Gestion

Tableau 1.2. Fonctions du service maintenance

#### 1.3.1.1. Fonction étude

Sa mission principale est l'analyse du travail à réaliser en fonction de la politique de la maintenance choisie. Elle implique la mise en œuvre d'un plan de maintenance avec des objectifs chiffrés et des indicateurs mesurables.

### **1.3.1.2. Fonction préparation**

La préparation des interventions de maintenance doit être considérée comme une fonction à part entière du processus de la maintenance. Toutes les conditions nécessaires à la bonne réalisation d'une intervention de maintenance seront ainsi prévues, définies et caractérisées. Une telle préparation devra bien sûr s'inscrire dans le respect des objectifs généraux tels qu'ils sont définis par la politique de maintenance, tel que : coût, délai, qualité, sécurité.

### **1.3.1.3. Fonction ordonnancement**

L'ordonnancement représente la fonction du "chef d'orchestre". Dans un service maintenance caractérisé par l'extrême variété des tâches en nature, en durée, en urgence et en criticité.

### **1.3.1.4. Fonction réalisation**

La réalisation consiste à mettre en œuvre les moyens définis dans le dossier de préparation dans les règles de l'art pour atteindre les résultats attendus dans les délais préconisés par l'ordonnancement.

### **1.3.1.5. Fonction gestion**

La fonction gestion du service maintenance devra être capable d'assurer la gestion des équipements, la gestion des interventions, la gestion des stocks, la gestion des ressources humaines et la gestion du budget.

## **1.3.2. Domaines d'action du service maintenance**

Les différentes tâches dont un service maintenance peut avoir la responsabilité nécessitent :

- la maintenance des équipements : actions correctives et préventives, dépannages, réparations et révisions.
- l'amélioration du matériel dans l'optique de la qualité, de la productivité et de la sécurité.
- les travaux neufs: participation au choix, à l'installation et au démarrage des équipements nouveaux.
- les travaux concernant l'hygiène, la sécurité, l'environnement, la pollution et les conditions de travail
- l'exécution et la réparation des pièces de rechanges.
- l'approvisionnement et la gestion des outillages et pièces de rechange
- l'entretien général des bâtiments administratifs ou industriels, des espaces verts, des véhicules, etc.

## **1.4. Place du service maintenance dans l'entreprise [1]**

Les installations et les équipements tendent à se détériorer dans le temps sous l'action de causes multiples, déformations dues au fonctionnement et action des agents corrosifs.

## CHAPITRE 1 : Importance de la maintenance industrielle pour l'entreprise.

Ces détériorations peuvent provoquer l'arrêt de fonctionnement, diminuer les capacités de production, mettre en péril la sécurité des personnes, provoquer des rebuts, diminuer la qualité et, augmenter les coûts de la production ou d'exploitation et diminuer la valeur marchande de ces moyens. Dans tous les cas, ces détériorations engendrent des coûts directs ou indirects supplémentaires. Le service maintenance, comme le service de sécurité, devient une interface entre toutes les entités qui composent l'entreprise.

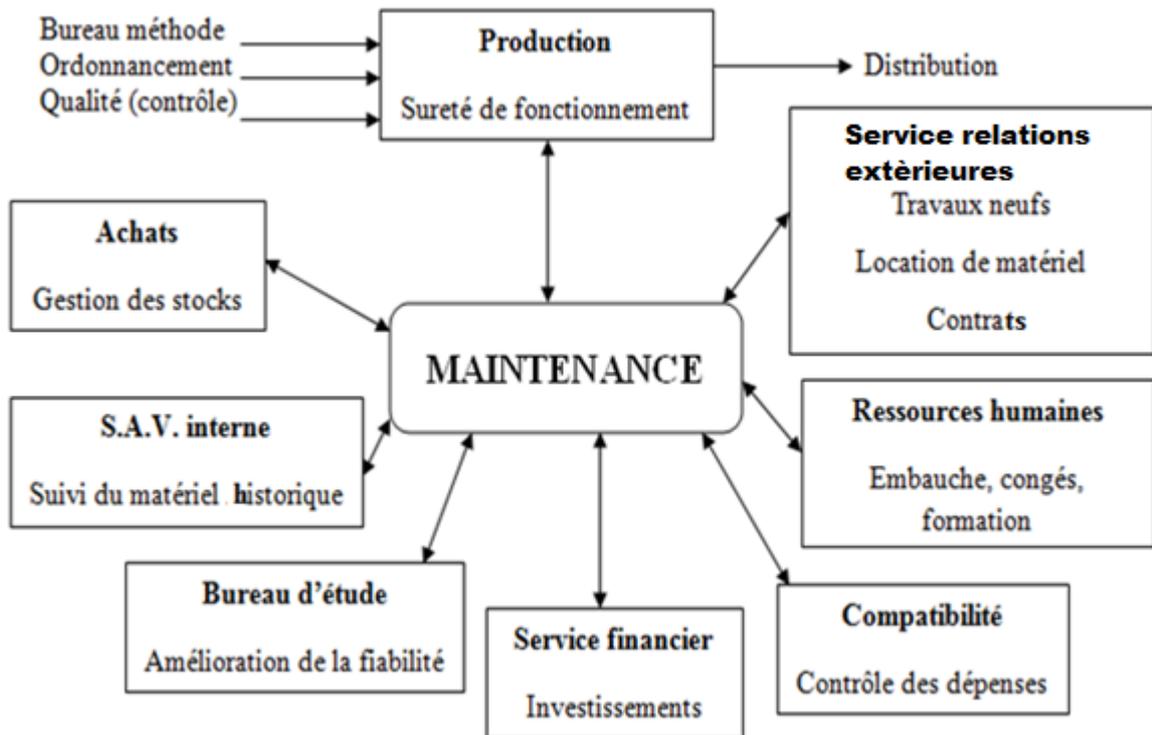


Figure .1.2. Place du service maintenance dans l'entreprise [1].

### 1.5. Organisation du service maintenance [4]

Deux types d'organisation peuvent être mises en place selon la spécificité et la taille de l'entreprise :

#### 1.5.1. Maintenance centralisée

Ce type d'organisation prévoit la centralisation de toutes les activités de maintenance sous forme d'une seule entité. Cette entité gère la maintenance globale de toute l'entreprise (ateliers et secteurs). Parmi les avantages de ce type d'organisation on peut citer :

- facilité de planning
- facilité de surveillance
- magasins bien équipés
- contrôle effectif de la main-d'œuvre

### **1.5.2. Maintenance décentralisée**

Chaque secteur d'activité a son atelier sectoriel de maintenance. Comme caractéristique de ce type d'organisation, on trouve :

- service rapide
- connaissances spécialisées
- une prise en charge de chaque installation
- moins de paperasse
- les frais réels de maintenance par poste de travail.

### **1.6. Technicien de maintenance**

La technologie des matériels actuels implique une compétence technique polyvalente.

Les frontières entre les domaines mécanique, électrique, hydraulique, pneumatique, informatique, ne sont pas évidentes sur une machine compact. Une polyvalence au niveau de la gestion est aussi indispensable, ainsi que la maîtrise des données techniques, économiques et sociales.

Le profil du technicien de maintenance est celui d'un homme de terrain, de contact et d'équipe, qui s'appuie sur sa formation initiale puis sur son expérience pour faire évoluer la prise en charge du matériel dont il a la responsabilité.

### **1.7. Méthodes de la maintenance**

Le choix entre les méthodes de maintenance s'effectue dans le cadre de la politique de la maintenance et doit s'opérer en accord avec la direction de l'entreprise.

Pour choisir, il faut être informé des objectifs de la direction, des décisions politiques de maintenance, mais il faut aussi connaître le fonctionnement et les caractéristiques des matériels ; le comportement du matériel en exploitation ; les conditions d'application de chaque méthode ; les coûts de maintenance et les coûts de perte de production.

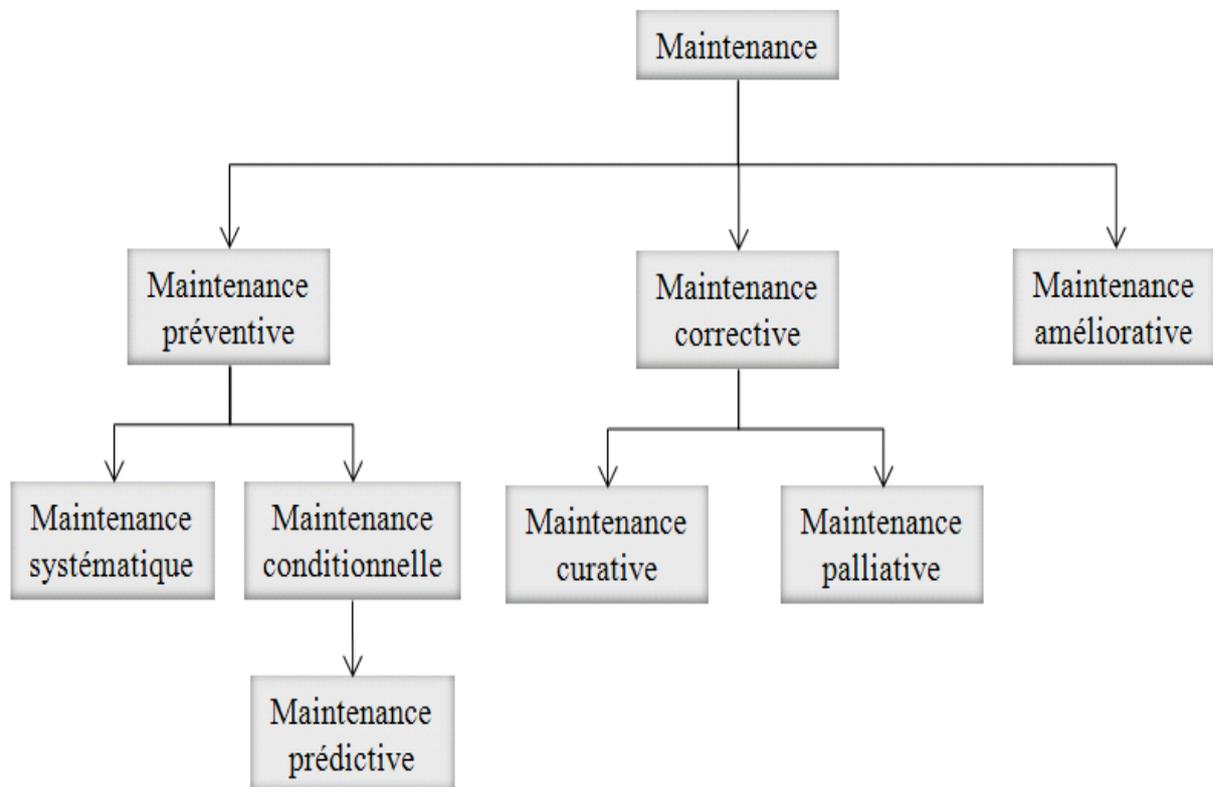


Figure 1.3. Différents types de maintenance [1].

### 1.7.1. Maintenance corrective

C'est une maintenance après la défaillance. La maintenance corrective a pour objet de redonner au matériel des qualités perdues nécessaires à son utilisation.

Les défauts, pannes ou avaries diverses exigeant une maintenance corrective entraînent une indisponibilité immédiate ou à très brève échéance des matériels affectés ou / et une dépréciation en quantité ou / et en qualité des services rendus.

### 1.7.2. Maintenance préventive

La maintenance préventive effectuée selon des critères prédéterminés, dans l'intention de réduire la probabilité de défaillance d'un bien ou la dégradation service rendu.

Elle doit permettre d'éviter des défaillances des matériels en cours d'utilisation.

L'analyse des coûts doit mettre en évidence un gain par rapport aux défaillances qu'elle permet d'éviter.

Le but de la maintenance préventive est de :

- augmenter la durée de vie des matériels ;
- diminuer la probabilité des défaillances en service ;
- diminuer le temps d'arrêt en cas de révision ou de panne ;
- prévenir et aussi prévoir les interventions de la maintenance corrective coûteuse ;

- permettre de décider la maintenance corrective dans de bonnes conditions ;
- éviter les consommations anormales d'énergie, de lubrifiant, etc.;
- diminuer le budget de la maintenance ;
- supprimer les causes d'accidents graves.

### **1.7.3. Maintenance préventive systématique**

La maintenance préventive effectuée selon un échancier établi selon le temps ou le nombre d'unités d'usage.

Cette périodicité d'intervention est déterminée à partir de la mise en service ou après une révision partielle ou complète.

Cette méthode nécessite de connaître le comportement du matériel ; les usures ; les modes de dégradations ; le temps moyen de bon fonctionnement entre deux avaries (MTBF).

La maintenance systématique peut être appliquée dans les cas suivants :

- équipements soumis à la législation en vigueur (sécurité réglementée) ;
- équipements dont la panne risque de provoquer des accidents graves ;
- équipements ayant un coût de défaillance élevé ;
- équipements dont les dépenses de fonctionnement deviennent anormalement élevées au cours de leur temps de service.

### **1.7.4. Maintenance préventive conditionnelle**

La maintenance préventive subordonnée à un type d'événement prédéterminé, (autodiagnostic, information d'un capteur, mesure d'une usure, ...), révélateur de l'état de dégradation du bien. La maintenance conditionnelle est donc une maintenance dépendant de l'expérience et faisant intervenir des informations recueillies en temps réel.

Cette surveillance de la dégradation permet de fixer un seuil d'alarme avant un seuil d'admissibilité. Le principal intérêt d'une telle stratégie est de pouvoir utiliser les entités au maximum de leur possibilité mais aussi de diminuer le nombre des opérations de maintenance corrective.

La maintenance préventive conditionnelle se caractérise par la mise en évidence des points faibles. Suivant les cas, il est souhaitable de les mettre sous surveillance et à partir de là, nous pouvons décider d'une intervention lorsqu'un certain seuil est atteint, mais les contrôles demeurent systématiques et font partie des moyens de contrôle non destructifs.

La maintenance préventive conditionnelle se fait par des mesures pertinentes sur le matériel en fonctionnement.

Ils peuvent porter par exemple sur :

- le niveau et la qualité d'une huile ;

- les températures et les pressions ;
- la tension et l'intensité du matériel électrique ;
- les vibrations et les jeux mécaniques ;

De tous les paramètres énumérés, l'analyse vibratoire est de loin la plus riche quant aux informations recueillies. Sa compréhension autorise la prise à bon en pleine connaissance de cause des décisions qui sont à la base d'une maintenance préventive conditionnelle.

La surveillance peut être soit périodique, soit continue.

### **1.8. Opérations de la maintenance [4]**

#### **1.8.1. Opérations de la maintenance corrective**

##### **1.8.1.1. Dépannage**

Action sur un matériel en panne, en vue de le remettre en état de fonctionnement. Compte tenu de l'objectif, une action de dépannage peut s'accommoder des résultats provisoires avec des conditions de réalisation hors règles de procédures, de coûts et de qualité, et dans ce cas, elle sera suivie de la réparation. Le dépannage n'a pas de conditions d'applications particulières. La connaissance du comportement du matériel et des modes de dégradation sont à la base d'un bon diagnostic et permettent souvent de gagner du temps.

Souvent, les opérations de dépannage sont de courtes durées mais peuvent être nombreuses. De ce fait, les services de maintenance soucieux d'abaisser leurs dépenses tentent d'organiser les actions de dépannage. Ainsi, le dépannage peut être appliqué par exemple sur des équipements fonctionnant en continu dont les impératifs de production interdisent toute visite ou intervention à l'arrêt.

##### **1.8.1.2. Réparation**

Intervention définitive et limitée de maintenance corrective après une panne ou une défaillance. L'application de la réparation peut être décidée soit immédiatement à la suite d'un incident ou d'une défaillance soit après une visite de maintenance préventive conditionnelle ou systématique.

#### **1.8.2. Opérations de la maintenance préventive**

Ces opérations peuvent être classées en quatre groupes d'actions :

- Le premier groupe concerne l'entretien ; il comprend les opérations suivantes : le nettoyage, la dépollution et le retraitement de surface.
- Le deuxième groupe concerne la surveillance ; il comprend les opérations suivantes : l'inspection le contrôle et la visite.

## CHAPITRE 1 : Importance de la maintenance industrielle pour l'entreprise.

- Le troisième groupe concerne la révision ; il comprend les opérations suivantes : la révision partielle et la révision générale.

- Le quatrième groupe concerne la préservation ; il comprend les opérations suivantes : la mise en conservation, la mise en survie et la mise en service.

### **1.8.2.1. Entretien**

L'entretien comprend les opérations courantes et régulières de la maintenance préventive tels que le nettoyage, la dépollution et le retraitement de surface qu'ils soient externes ou internes. Par exemple, on peut signaler pour le nettoyage extérieur l'existence de divers types de nettoyage en fonction de la structure et de l'état d'un bien, des produits utilisés et de la méthode employée (les solutions alcalines aqueuses, les solvants organiques, le soufflage aux abrasifs, ...). Il faut aussi préciser que le retraitement de surface inclut les opérations suivantes de la lubrification et de graissage.

### **1.8.2.2. Surveillance**

Les termes définis ci-après sont représentatifs des opérations nécessaires pour maîtriser l'évolution de l'état réel du bien, effectuées de manière continue ou à des intervalles prédéterminés ou non, calculés sur le temps ou le nombre d'unités d'usage.

-Inspection : c'est une activité de surveillance s'exerçant dans le cadre d'une mission définie. Elle n'est pas obligatoirement limitée à la comparaison avec des données préétablies. Cette activité peut s'exercer notamment au moyen de ronde.

-Contrôle : c'est une vérification de la conformité à des données préétablies, suivie d'un jugement. Le contrôle peut :

- comporter une activité d'information,
- inclure une décision : acceptation, rejet, ajournement,
- déboucher sur des actions correctives.

-Visite : c'est une opération consistant en un examen détaillé et prédéterminé de tout (visite générale) ou partie (visite limitée) des différents éléments du bien et pouvant impliquer des opérations de maintenance du 1er niveau.

### **1.8.2.3. Révision**

C'est l'ensemble des actions d'examens, de contrôles et des interventions effectuées en vue d'assurer le bien contre toute défaillance majeure ou critique pendant un temps ou pour un nombre d'unités d'usage donné. Il est d'usage de distinguer suivant l'étendue de cette opération les révisions partielles des révisions générales. Dans les deux cas, cette opération implique la dépose de différents sous-ensembles. Ainsi le terme de révision ne doit en aucun

cas être confondu avec les termes visites, contrôles, inspections, etc. Les deux types d'opération définis (révision partielle ou générale) relèvent du 4ème niveau de la maintenance

### **1.8.2.4. Préservation**

Elle comprend les opérations suivantes :

-mise en conservation : c'est l'ensemble des opérations devant être effectuées pour assurer l'intégrité du bien durant les périodes de non-utilisation.

-mise en survie : c'est l'ensemble des opérations devant être effectuées pour assurer l'intégrité du bien durant les périodes de manifestations de phénomènes d'agressivité de l'environnement à un niveau supérieur à celui défini par l'usage de référence.

-mise en service : c'est l'ensemble des opérations nécessaires, après l'installation du bien à sa réception, dont la vérification de la conformité aux performances contractuelles.

## **1.9. Maintenance d'amélioration**

L'amélioration des biens d'équipements qui consiste à procéder à des modifications, des changements, des transformations sur un matériel correspond à la maintenance d'amélioration.

Dans ce domaine beaucoup de choses restent à faire. C'est un état d'esprit qui nécessite une attitude créative. Cette créativité impose la critique.

Les améliorations à apporter peuvent avoir comme objectif l'augmentation des performances de production du matériel ; l'augmentation de la fiabilité, c'est-à-dire diminuer les fréquences d'interventions ; l'amélioration de la maintenabilité (amélioration de l'accessibilité des sous-systèmes et des éléments à haut risque de défaillance) ; la standardisation de certains éléments pour avoir une politique plus cohérente et améliorer les actions de maintenance, l'augmentation de la sécurité du personnel. Tous les matériels sont concernés à condition que la rentabilité soit vérifiée. Cependant une petite restriction pour les matériels à renouveler dont l'état est proche de la réforme, pour usure généralisée ou par obsolescence technique.

Même si ces activités sortent du cadre direct de la maintenance, elles s'intègrent bien dans le champ de compétence des professionnels de maintenance. En période de crise économique, certains industriels peuvent se montrer prudents à l'égard des investissements et trouvent des possibilités d'amélioration par l'intermédiaire de ces formes de maintenance.

## **1.10. Niveaux de maintenance**

Ils sont au nombre de cinq (05), nous les résumons dans le tableau suivant:

<b>Niveaux</b>	<b>Type des travaux</b>	<b>Personne d'intervention</b>	<b>Moyens</b>
1 <sup>er</sup> niveau	Réglages simples prévus par le constructeur au moyen d'organes accessibles sans aucun démontage d'équipement ou échange d'éléments accessibles en toute sécurité.	Pilote ou conducteur du système	Outillage léger défini dans les instructions d'utilisation.
2 <sup>ème</sup> niveau	Dépannage par échange standard d'éléments prévus à cet effet, ou d'opérations mineures de maintenance préventive (rondes)	Technicien habilité	Outillage léger défini dans les instructions d'utilisation et pièces de rechange disponibles sans
3 <sup>ème</sup> niveau	Identification et diagnostic de pannes, réparation par échange de composants fonctionnels, réparations mécaniques mineures.	Technicien spécialisé	Outillage prévu et appareils de mesure, banc d'essai, contrôle...
4 <sup>ème</sup> niveau	Travaux importants de maintenance corrective ou préventive	Equipe encadrée par un technicien spécialisé	Outillage général et spécialisé, matériels d'essais, de contrôle...
5 <sup>ème</sup> niveau	Travaux de rénovation, de reconstruction ou réparation importantes confiées à un atelier central	Equipe complète et polyvalente	Moyens proches de la fabrication

Tableau 1.3. Niveaux de maintenance. [3]

1.11. Procédure en cas de dysfonctionnement

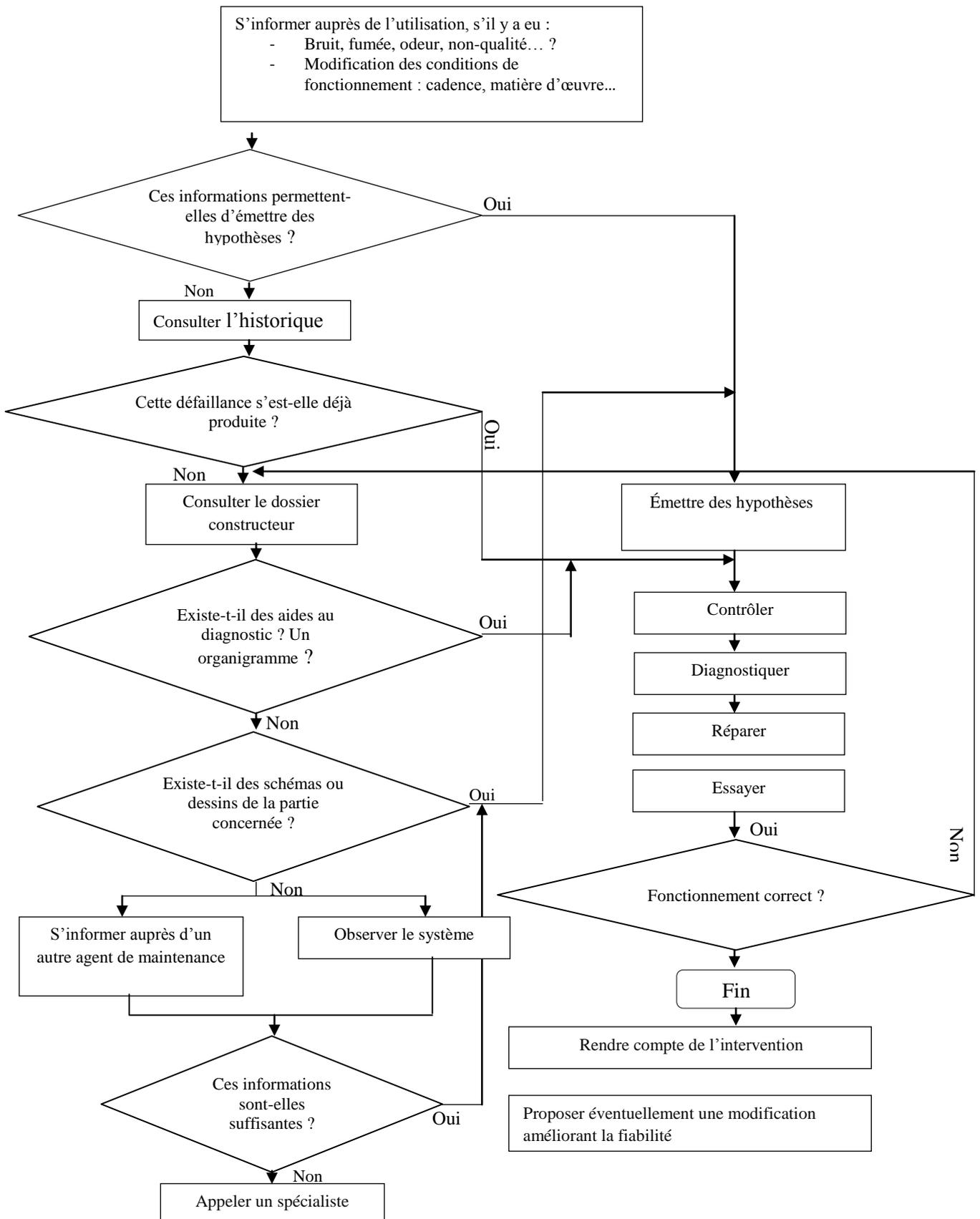


Figure 1.4. Procédure en cas de dysfonctionnement. [5]

## 1.12. Fiabilité et maintenance des équipements industriels

L'évaluation de l'état de dégradation des équipements industriels s'avère un élément indispensable à la définition des opérations de maintenance destinées à garantir, pour un coût maîtrisé et préétabli, un niveau maximum de disponibilité et de sécurité de ces équipements.

En termes de statistique, la fiabilité est une fonction du temps  $R(t)$ , qui représente la probabilité de bon fonctionnement d'un matériel.

En termes de qualité, la fiabilité d'un matériel est définie comme l'aptitude à maintenir l'entité identique à sa spécification d'origine.

La fiabilité peut être estimée par le taux de défaillance  $\lambda(t)$  (exprimé en pannes par heure).

Il est présenté par le rapport :

$$\lambda = \frac{\text{Nombre de défaillances}}{\text{Durée d'usage}} \quad (1.2)$$

Ainsi, liée aux risques de défaillance, la vie des équipements se présente en trois (03) phases :

-**Phase de jeunesse:**  $\lambda(t)$  décroît rapidement. C'est la période de mise en service et de rodage de l'installation. Les défaillances sont dues à des anomalies ou des imperfections de montage.

Dans cette phase, seule la maintenance corrective est applicable.

- **Phase de maturité:**  $\lambda(t)$  est pratiquement constant. C'est la période de vie utile où les défaillances apparaissent sans dégradation préalable visible, pour des causes diverses.

La défaillance est constante ou légèrement croissante, correspondant au rendement optimal de l'équipement. Dans cette phase une maintenance préventive est applicable.

-**Phase de vieillesse :**  $\lambda(t)$  croît rapidement. Un mode de défaillance prédomine et entraîne une dégradation accélérée: c'est la période d'obsolescence, souvent due à l'usure mécanique, la fatigue, l'érosion ou la corrosion. A un certain point de :  $\lambda(t)$  le matériel est hors service.

Une maintenance préventive conditionnelle peut éventuellement être mise en place.

Dans la première phase, seule la maintenance corrective est pratiquée. C'est seulement dans la seconde phase (phase de maturité) qu'intervient la maintenance préventive.

La figure 1.5 représentant la variation du taux de défaillance en fonction du temps, est appelée courbe en baignoire.

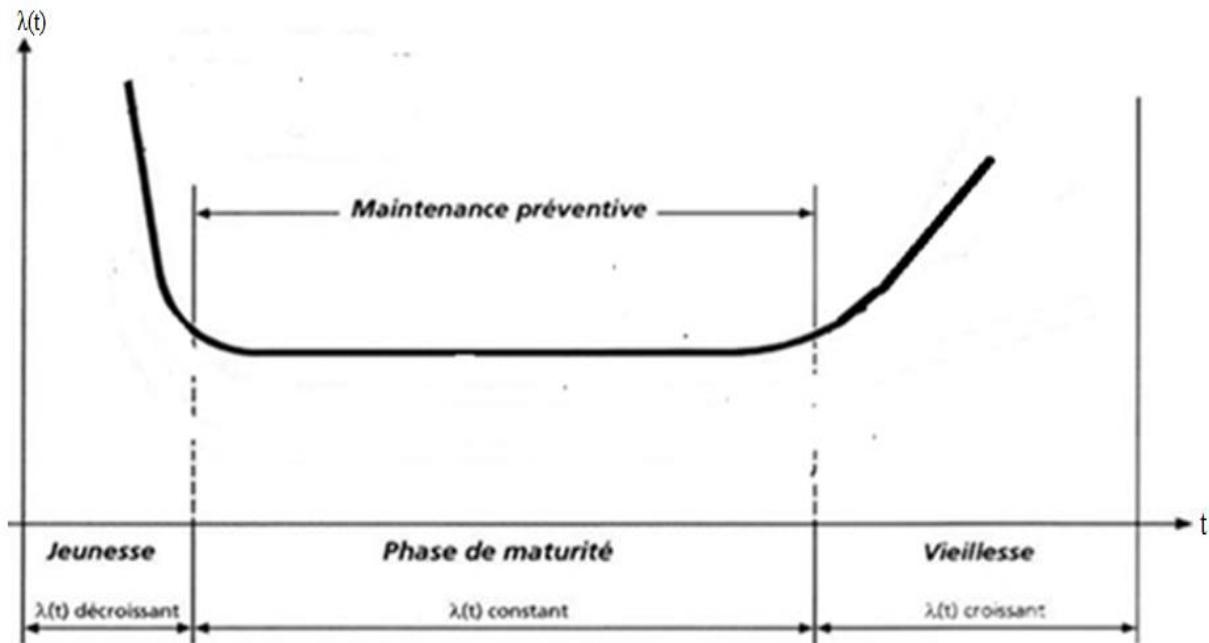


Figure 1.5. Courbe en baignoire du taux de défaillance. [22]

Cette courbe en baignoire montre bien que la maintenance préventive n'est réellement justifiée que pour la phase de maturité. Dans cette période, le taux de défaillance est sensiblement constant et égal à l'inverse de l'indice de fiabilité: MTBF.

La MTBF, ou moyenne des temps de bon fonctionnement, est la valeur moyenne des temps entre deux défaillances consécutives.

Ainsi faut-il retenir que durant la phase de maturité de l'équipement, le taux de défaillance est constant :

MTBF = Somme des Temps de Bon Fonctionnement/ nombre de défaillances.

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \quad (1.3)$$

Cette courbe comporte trois (03) phases pour lesquelles on détaille les causes potentielles et les actions à entreprendre pour améliorer le comportement du système

	Cause	Remèdes
<b>Période de jeunesse</b>	Défauts de fabrication Assemblage Contrôle de la qualité Conception Contamination	Tests de validation Vérification Contrôle de la qualité
<b>Période de vie utile</b>	Environnement Erreur humaine Charges aléatoires Catastrophes naturelles Evénement aléatoire	Redondance Amélioration de la résistance
<b>Période de vieillissement</b>	Fatigue Corrosion Frottements Charges cycliques Age	Réduction du taux de panne Maintenance préventive Remplacement préventif

Tableau 1.4. Causes et leurs remèdes des différents modes de défaillance. [5]

### 1.13. Choix des indicateurs de performance et paramètres d'optimisation de la maintenance [11]

Les indicateurs de performance en maintenance MTBF et la MTTR sont parmi les indicateurs les plus utilisés. Ils se réfèrent à des notions de fiabilité, de maintenabilité et de disponibilité. La vie d'un équipement industriel comprend une alternance d'arrêt et d'opération bon fonctionnement. On peut l'illustrer par :

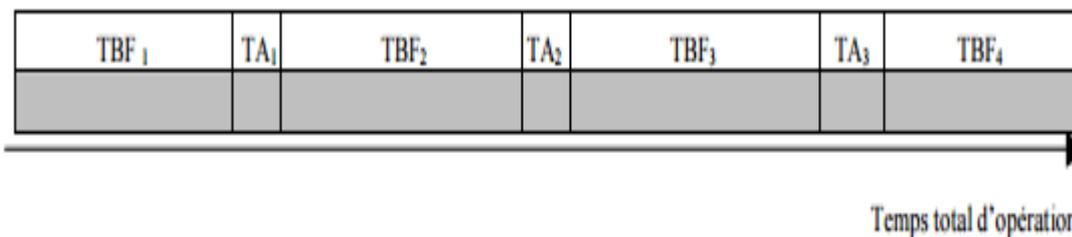


Tableau 1.5. Temps total d'opération. [11]

## CHAPITRE 1 : Importance de la maintenance industrielle pour l'entreprise.

TBF = temps d'opération (bon fonctionnement)

TA = Temps d'Arrêt

Le temps d'arrêt est décomposé en trois, d'abord le temps nécessaire à la préparation de l'intervention de maintenance (délais D1), le temps de l'intervention proprement dit (TTR ou Temps Technique de Réparation) et le temps de remise en marche (délai D2)

D <sub>1</sub>	TTR	D <sub>2</sub>
TA		

Tableau 1.6. Temps total d'arrêt. [11]

TTR = Temps Technique de Réparation

D = Délais

À partir des temps de bon fonctionnement et des temps d'arrêt, il est possible de calculer les indices MTBF, MTTR et la disponibilité d'un équipement

### **1.13.1. Maintenabilité**

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

- temps pour l'attente de pièce de remplacement
- temps pour compléter les documents
- temps de préparation de l'action

Son indice est la MTTR

MTTR signifie moyenne des temps techniques de réparation. Il indique le temps moyen des différentes actions de maintenance prises pour un équipement. Il s'exprime de la façon suivante :

$$MTTR = \frac{\text{Temps total d'arrêts}}{\text{Nombre d'arrêts}} \quad (1.4)$$

## 1.13.2. Fiabilité

La fiabilité est la probabilité qu'un produit fonctionne correctement sans panne dans des conditions d'utilisation données pendant une durée spécifique. Elle s'exprime en probabilités. Cette définition suppose que l'on doit connaître:

- Ce qu'on entend par fonctionner correctement ;
- Les conditions d'utilisation ;
- Le temps moyen souhaité entre les pannes. L'indice de fiabilité le plus employé est le MTBF

La MTBF signifie moyenne des temps de bon fonctionnement. Il indique la durée moyenne d'un équipement en bon fonctionnement (en production).

## 1.13.3. Relation entre MUT, MTBF, MTTR, MDT [6]

En général, on utilise les sigles d'origine américaine MTBF, MTTR, MDT, MUT avec le risque évoqué au début du paragraphe de mal se comprendre ; on peut proposer les expressions françaises suivantes pour utiliser exactement les mêmes notions en levant les ambiguïtés :

$$MTBF = MUT + MDT \quad (1.5)$$

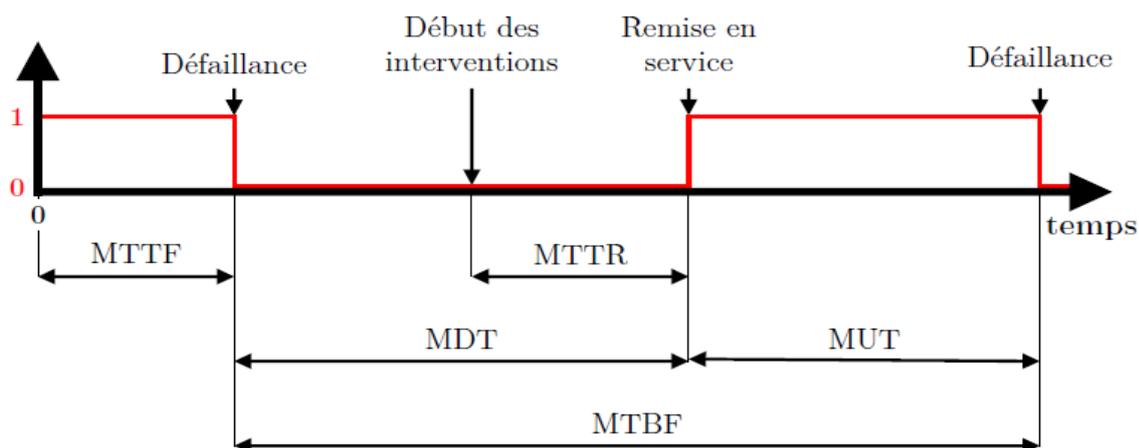


Figure 1.6. Cycle de vie d'un système : évolution dans le temps [6]

- MUT la durée moyenne de fonctionnement après réparation.
- MDT la durée moyenne d'indisponibilité après défaillance.
- MTTF la durée moyenne de fonctionnement d'une entité avant la première défaillance.

### 1.13.4. Disponibilité

C'est un indice qui inclut les précédents. Habituellement, c'est cet indice qui est mesuré car il est plus complet. Il détermine la disponibilité d'un équipement à effectuer son travail dans le temps. On le calcule ainsi :

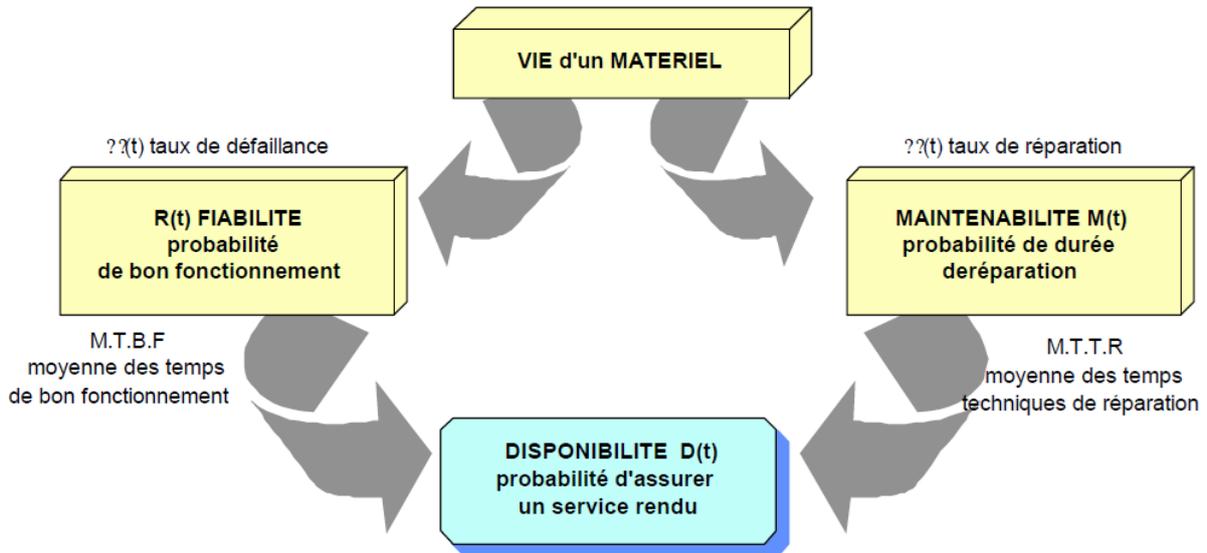


Figure 1.7. Indicateurs qui résultent la disponibilité [11].

$$D = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR} \quad (1.6)$$

### 1.14. Coût en maintenance (suivant NF X60-020)

Les coûts de maintenance correspondent aux coûts directement imputables à la maintenance.

Les coûts de maintenance peuvent s'analyser par nature et par destination au sens comptable des termes. Ils peuvent être imputés soit en exploitation, soit en investissement. Certains postes peuvent inclure des frais financiers, par exemple le coût de possession ou de stockage lié au stock maintenance.

Exemples d'imputation :

- Par nature :
  - Personnel ;
  - Outillage et équipement de maintenance ;
  - Produits et matières consommées (huile, pièces de rechange, graisse,...).
  - Sous-traitance ;
  - Autre (à préciser).

- Par destination
  - préparation (études, méthodes, ordonnancement) ;
  - documents techniques ;
  - interventions ;
  - suivi et gestion ;
  - magasinage et stockage ;
  - formation ;
  - autres (à préciser).
- Par type d'invention
  - maintenance préventive systématique ou conditionnelle ;
  - maintenance corrective ;
  - révision, modernisation, rénovation ou reconstruction ;
  - travaux neufs.

### **a. Coût d'indisponibilité**

Les coûts d'indisponibilité prennent en compte :

- les coûts de perte de production incluant : variables non réincorporées ;
- les-coûts de non-production : dépenses fixes non couvertes et dépenses non-qualité de production provoquées par la défaillance des équipements productifs : coûts des rebuts et retouches ;
- le surcoût de production personnel, coût des moyens de remplacement mis en œuvre, stock supplémentaire en attente en cas de défaillance.
- le manque à gagner de production : pas de vente et baisse du chiffre d'affaires;
- les pénalités commerciales;

### **b. Coûts de défaillance**

Les coûts de défaillance intègrent les coûts de maintenance corrective et les coûts d'indisponibilité consécutifs à la défaillance des biens d'équipement.

#### **1.14.1. Optimisation des coûts de maintenance**

L'objectif principal de la maintenance est d'améliorer la disponibilité des équipements, mais cela ne doit pas se faire à n'importe quel prix. En effet le développement de la maintenance, par un plus grand investissement en matériel et en personnel, à pour conséquence directe de diminuer les coûts d'indisponibilité CI, pour coût de non-production, et d'augmenter les coûts de maintenance CM. Il s'agit donc de considérer les coûts dans leur globalité, c'est-à-dire la somme  $CM + CI$  et d'en déterminer le meilleur compromis. Cette dernière situe à la valeur

minimale de cette somme, ce qui correspond au niveau optimal de mise en œuvre de la maintenance sur l'équipement considéré.

Compromis entre le coût de maintenance et le coût d'indisponibilité (Figure 1.8) préventif optimal

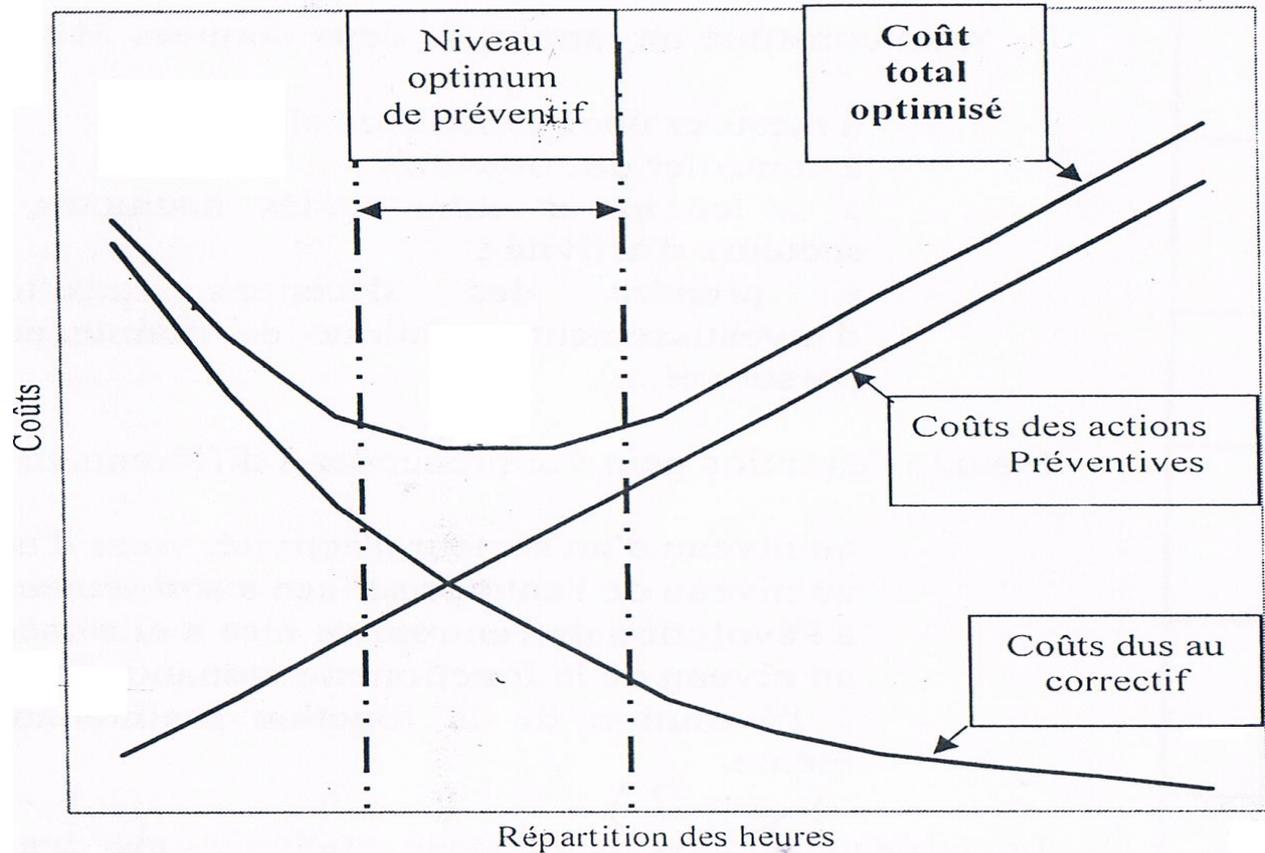


Figure 1.8. Compromis entre le coût de maintenance et le coût d'indisponibilité. [21]

Quelle que soit la politique de maintenance adoptée, et malgré la tendance de développer le préventif, il reste toujours une part de maintenance corrective entraînant des coûts d'indisponibilité avec des arrêts pour réparation. Ces coûts peuvent être diminués par l'amélioration de la maintenabilité et l'augmentation des moyens logistiques qui, en contre partie, augmente les coûts de la maintenance corrective.

### 1.14.2. Recensement et analyse des coûts de maintenance

Les coûts doivent être recensés suivant différents niveaux d'analyse. La norme (NF X60-020) propose un exemple de tableau d'analyse qui permet d'étudier les coûts par nature et par destination.

Nature Désignation	Personnel	outillage	consommés	Sous-traitance
Préparation	X			
Documents techniques	X			X
Intervention	X	X	X	X
Suivi et gestion	X			
Magasinage et stockage	X			
formation	X			

Tableau 1.7. Exemple de tableau d'analyse des coûts. [21]

### 1.14.3. Rations économiques

Un ratio constitue un rapport de deux données. Il sert :

- à mesurer une réalité avec clarté ;
- à contrôler des objectifs ;
- à se comparer entre unités distinctes, entreprises ou secteurs d'activité ;
- à prendre des décisions adaptées (politique d'investissement, politique de maintenance, gestion du personnel,...).

L'étude des ratios peut s'appréhender à différents niveaux :

- au niveau d'un secteur d'activité, voire d'un pays ;
- au niveau de l'entreprise face à son secteur d'activité à l'évolution de l'entreprise face à elle-même ; au niveau de la fonction maintenance face l'entreprise ;
- à l'évolution de la fonction maintenance face à elle-même.

Le tableau 1.8 propose quelques-uns des ratios qui sont importants pour la fonction maintenance et qui sont définis dans la norme NF X60-020.

## CHAPITRE 1 : Importance de la maintenance industrielle pour l'entreprise.

Ratios	Intérêts	Observation particulière
$R1 = \frac{\text{coût de maintenance}}{\text{valeur ajoutée produite}}$	A priori le plus judicieux pour les comparaisons interentreprises dans des secteurs identiques.	Valeur ajoutée : valeur de la transformation d'une matière d'œuvre en un produit fini.
R2	Indicateur d'évolution de l'efficacité technique de la maintenance.	
$R3 = \frac{\text{Coût des travaux de sous – traitances}}{\text{Coût de maintenance}}$		A suivre avec le taux d'activité (par exemple : période de grande activité et recours à la sous-traitance.
$R4 = \frac{\text{nombre de défaillances}}{\text{temps de fonctionnement}}$	Définition du taux de défaillance. Importance lorsque la production de rebut au moment de l'arrêt ou la remise ou en route est coûteuse ou que le temps de remise en service est long.	Possibilité d'analyser conjointement.  Nombre de défaillances sur la quantité de production.
$R5 = \frac{\text{temps actifs de maintenance corrective}}{\text{temps actifs de maintenance globale}}$	Importance de maintenance corrective dans les interventions actives de maintenance.	

Tableau1.8. Ratios de la fonction maintenance. [21]

### **Conclusion**

Les entreprises sont de plus en plus sensibilisées à l'importance des coûts induits par les défaillances accidentelles des systèmes de production. Alors que la maintenance, jusqu'à très récemment, était considérée comme génératrice de dépenses, les entreprises sont de plus en plus conscientes qu'elle peut contribuer d'une manière significative à la performance globale de l'entreprise.

La stratégie de maintenance a des répercussions directes sur l'exploitation d'un système, sur la production et bien évidemment sur les charges financières. Lors du choix de la méthode de maintenance, il faut arbitrer entre les performances que l'on souhaite obtenir du système de production et les coûts que l'on est prêt à assumer pour le maintenir.

### **Introduction**

L'optimisation de la maintenance est un thème d'actualité pour les entreprises qui ont pour objectifs de réduire les coûts de cette fonction, d'augmenter la disponibilité des équipements et par conséquent la production, tout en augmentant le niveau de protection du personnel, des équipements et de l'environnement.

Au vu de l'importance du processus maintenance et de son impact sur les performances des installations, des méthodes d'optimisation ont été développées et permettent d'aider les responsables de maintenance à construire ou à modifier les stratégies de maintenance telle que les méthodes réseaux de Bayésien, réseaux de Pétri, chaîne de Markov, maintenance productive totale, maintenance basée sur la fiabilité, Arbre de défaillance et analyse des modes de défaillance leurs effet et leur criticité.

### **2.1. Réseaux Bayésiens (RdB) [19]**

#### **2.1.1. Présentation**

Les réseaux Bayésien ou de Bayes, sont des modèles graphiques développés à partir des systèmes experts probabilistes pour représenter des relations qualitatives et quantitatives entre plusieurs variables au travers de dépendances et de probabilités conditionnelles. Ils sont encore peu connus et utilisés en fiabilité mais tendent à émerger pour répondre à des problématiques d'optimisation des politiques de maintenance. En particulier, nombre de travaux sont menés pour l'identification à partir de jugements d'experts, des variables agissant sur la dégradation ou la défaillance d'un matériel

On peut donner aux réseaux Bayes une dimension dynamique. Cette caractéristique permet la modélisation de la fiabilité des systèmes complexes pour l'optimisation de stratégie de maintenance et la simulation de l'évolution du comportement d'un système dans une approche de pronostic.

Cette représentation semble se prêter à la description globale des différents phénomènes mise en jeu pour l'optimisation de la maintenance.

#### **2.1.2. Définition**

Un réseau Bayésien est un moyen de représenter la connaissance d'un système. Une telle représentation n'est bien entendu pas une fin en soi ; elle s'effectue, selon les contextes, dans le but de :

- prévoir le comportement du système,
- diagnostiquer les causes d'un phénomène observé dans le système,
- contrôler le comportement du système,

## CHAPITRE 2 : Méthode d'optimisation de la maintenance.

- simuler le comportement du système,
- analyser des données relatives au système,
- prendre des décisions concernant le système.
- Un RdB permet de représenter des connaissances probabilistes d'une application donnée.
- Les RdB sont utiles pour modéliser des connaissances d'un système dont lequel la causalité joue un rôle important.

### 2.1.3. Construction d'un modèle

Soit un système de détection d'incendie composé de trois détecteurs de fumée, en plus de la présence d'un opérateur. L'alarme est déclenchée si 2 sur 3 détecteurs au moins détecte la fumée. En cas d'incendie, si l'opérateur est présent l'alarme est déclenchée manuellement.

Nous pouvons résumer l'état de départ comme suit : Chaque détecteur a 90% de chances de fonctionner correctement.

Déclenchement de l'alarme si au moins 2 détecteurs sur 3 révèlent la présence de fumée.

Un opérateur, est présent 8h par jour, et peut activer l'alarme manuellement (Probabilité de présence 1/3). Avec les probabilités de défaillance d'un détecteur est 1/10, et la probabilité d'absence de l'opérateur 2/3.

Pour construire le réseau Bayésien, on se base sur l'arbre de défaillance. Les taux de défaillance des sous systèmes sont normalisés pour devenir des probabilités à priori.

On utilise le logiciel BayesiaLab.

On garde deux modalités pour chaque nœud :

Bon fonctionnement, et défaillance pour les détecteurs.

Présence ou absence de l'opérateur.

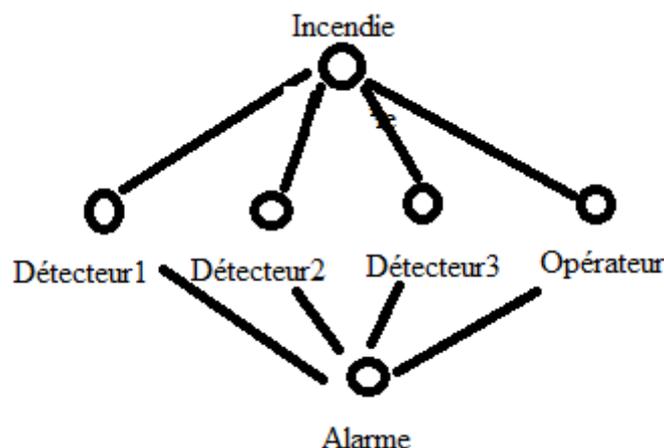


Figure 2.1. Réseau Bayésien correspondant. [19]

## CHAPITRE 2 : Méthode d'optimisation de la maintenance.

---

L'utilisation essentielle des réseaux Bayes est donc de calculer des probabilités conditionnelles d'événements reliés les uns aux autres par des relations de cause à effet. Cette utilisation s'appelle l'inférence.

### 2.2 Réseaux de Pétri (RdP) [18]

#### 2.2.1. Présentation

Les réseaux de Pétri sont fréquemment utilisés pour la modélisation des performances des systèmes. Leur pouvoir d'expression est en effet bien adapté à un usage industriel, assez rares dans le domaine de la maintenance jusqu'à peu.

Cette combinaison offre l'avantage de décrire à la fois :

- des phénomènes aléatoires, comme par exemple l'occurrence des défaillances,
- des phénomènes déterministes, comme la réalisation des tâches de maintenance,
- des phénomènes discrets, comme l'apparition d'un événement,
- des phénomènes continus comme l'évolution de certains mécanismes de dégradation.

Ces caractéristiques en font une approche hybride, prisée par les travaux d'application à des cas industriels pour la représentation de système multi-composants dans différents domaines sont des enjeux forts en sûreté de fonctionnement.

#### 2.2.2. Définition

Un RdP est un graphe biparti composé de deux types de sommets : les places et les transitions. Les places sont représentées par des cercles et les transitions par des rectangles. Des arcs orientés relient les places aux transitions et les transitions aux places. Un arc ne relie jamais deux sommets de la même nature. Chaque place peut contenir un ou plusieurs jetons appelés marque. Un marquage est un vecteur à composantes entières positives ou nulles, dont la dimension est égale au nombre de places. Chaque élément du vecteur de marquage mémorise le nombre de marques dans la place associée. L'état d'un réseau est défini par le vecteur de marquage

#### 2.2.3. Construction d'un modèle

Il est représenté par un quadruple  $R = (P, T, \text{Pré}, \text{Post})$  où :

- $P = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$  : est l'ensemble fini de places,
- $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$  : est l'ensemble fini de transitions,
- $\text{Pré}$  : application de  $P \times T \rightarrow \mathbb{N}$  (ensemble des entiers naturels) correspondant aux arcs directs reliant les places aux transitions,
- $\text{Post}$  : application de  $T \times P \rightarrow \mathbb{N}$  (ensemble des entiers naturels) correspondant aux arcs directs reliant les transitions aux places.

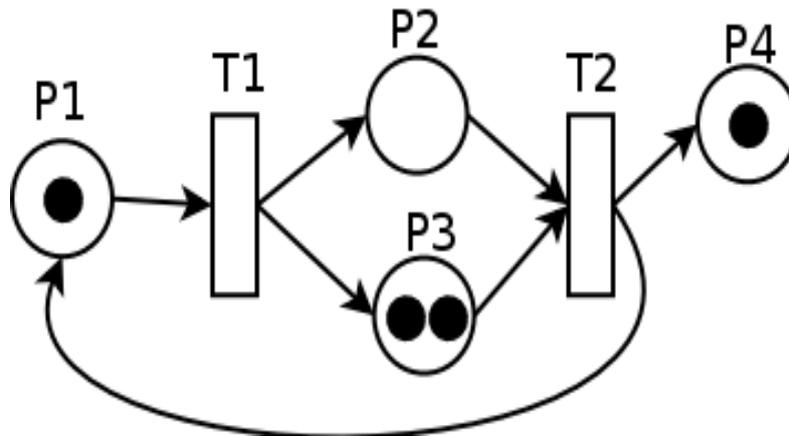


Figure 2.2. Présentation graphique de Pétri. [18]

### 2.3. Chaîne de Markov

#### 2.3.1. Présentation

Une chaîne de Markov est une suite aléatoire  $\{X_n; n \in \mathbb{N}\}$ , définie sur un espace de probabilité à valeurs dans un ensemble  $E$  qui peut être arbitraire, mais qui sera ici soit dénombrable.

Une suite de Markov a la propriété que connaissant  $X_n$ , on peut oublier le passé pour prédire l'avenir.

#### 2.3.2. Définition

Une chaîne de Markov à valeurs dans un espace fini  $E$  est un processus stochastique à temps discret qui bénéficie de la propriété de Markov. Cette propriété se traduit par le fait que la prédiction du futur à partir du présent n'est pas rendue plus précise par des éléments d'informations supplémentaires concernant le passé, car toute l'information utile pour la prédiction du futur est contenue dans l'état présent du processus.

#### 2.3.3. Construction d'un modèle

Considérons un système composé de  $n$  composants, chaque composant ayant un nombre fini d'états de fonctionnement et de panne ; ce système est suppose réparable et chaque composant est réparé après constatation de la panne. Le système est donc composé :

- des états de fonctionnement : un état de bon fonctionnement où tous les composants fonctionnent, et des états où certains composants sont en panne mais le système reste fonctionnel,
- des états de pannes : où suffisamment de composants sont en panne pour effectuer le système global.

La construction du modèle se fait en trois (03) étapes :

## CHAPITRE 2 : Méthode d'optimisation de la maintenance.

1. Recensement de tous les états du système. Si chaque composant a 2 états (ok ou panne) et si le système à n composants, le nombre maximal d'états est  $2^n$ . Au cours de la vie du système, des états de panne peuvent apparaître à la suite de défaillance ou disparaître à la suite de réparation ;

2. Recensement de toutes les transitions possibles entre ces différents états et l'identification de toutes les causes de ces transitions. Les causes des transitions sont généralement des défaillances des composants ou la réparation de composants ;

3. Calcul des probabilités de se trouver dans les différents états au cours d'une période de vie du système, calcul des temps moyens (MTTF, MTBF, MTTR . . .).

Pour un système à un composant unique qui n'a qu'un mode de défaillance au panne, on obtient l'automate décrit ci-dessous. Initialement, on est dans l'état ok, à tout instant le composant peut tomber en panne avec le taux de défaillance instantané  $\lambda$  puis se faire réparer avec le taux de réparation  $\mu$

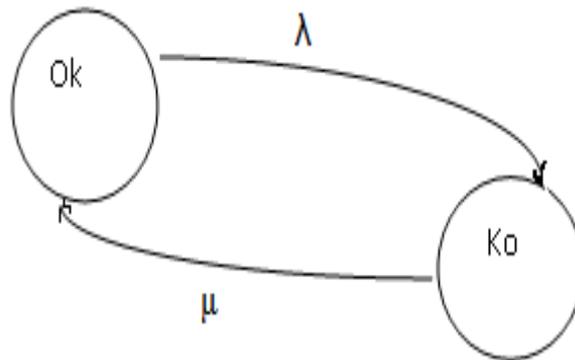


Figure 2.3. Graphe de Markov. [37]

### 2.4. Optimisation de la maintenance par le management de la qualité

#### 2.4.1. Présentation

L'optimisation de la maintenance par le management de la qualité apporte les éléments nécessaires pour anticiper les défaillances pour tous autres dysfonctionnements pouvant altérer les produits fabriqués ou le processus industriel. En effet, la qualité et la maintenance sont des rouages essentiels au bon fonctionnement de l'industrie et des services tant au niveau de la productivité de l'entreprise, que pour la compétitivité. La qualité, motrice de cette compétitivité, touche chaque strate organisationnelle de l'entreprise, notamment la fonction maintenance. Fréquemment, la maintenance interne s'intéresse à la qualité quand l'entreprise conduit une démarche de certification ISO9001. C'est à cet instant qu'elle commence à en être sensibilisée, voire contrainte. On trouve également, dans tous les domaines de processus

## CHAPITRE 2 : Méthode d'optimisation de la maintenance.

---

continus, une liaison directe à un moment ou à un autre, entre l'action de la maintenance et la qualité du produit.

### **2.4.2. Maintenance Basée sur la Fiabilité (MBF)**

#### **2.4.2.1. Définition**

La MBF (la Maintenance Basée sur la Fiabilité) est un véritable outil de conception de la maintenance préventive optimisés pour chaque équipement; en conciliant les doubles enjeux disponibilité/coût global de possession des installations. Cette technique apporte une connaissance approfondie du fonctionnement et des interactions d'un système, par l'analyse systématique des relations causes-effets. Elle occupe une place importante dans l'optimisation de la fonction maintenance.

#### **2.4.2.2. Etapes de la méthode**

Cette dernière se compose de plusieurs étapes :

- l'analyse fonctionnelle (représentations du fonctionnement des systèmes étudiés)
- l'analyse de dysfonctionnement des systèmes (identification des modes de défaillance des équipements).
- l'analyse du retour d'expérience (rassembler les données essentielles pour établir les choix de maintenance).
- l'analyse des dysfonctionnements des équipements (fournir les informations nécessaires à l'évaluation de la criticité des modes de défaillances).
- la sélection des tâches de maintenance (proposition des tâches élémentaires justifiées pour couvrir les modes de défaillance significatifs et écrire le programme de maintenance préventive).

La figure 2.4 décrit les trois (03) phases de la méthode MBF.

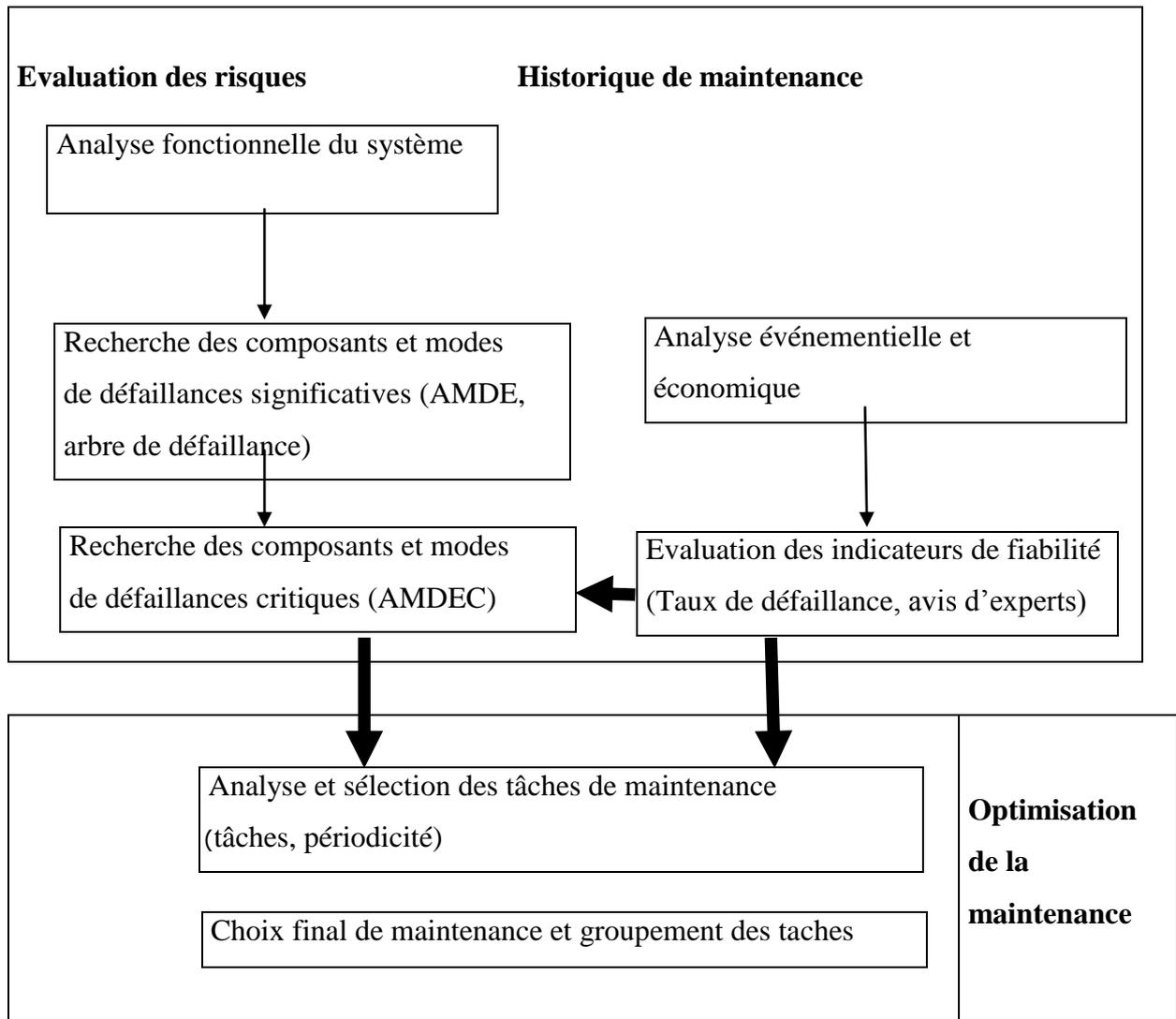


Figure 2.4. Méthode MBF [13].

### 2.4.3 Maintenance Productive Totale (TPM)

#### 2.4.3.1 Définition [5]

La Maintenance Productive Totale (TPM) est un concept poussé de maintien, de modification et d'amélioration des machines et équipements. Avec le concept de la Maintenance Productive Totale, la maintenance n'est plus seulement considérée comme une activité non génératrice de valeur ajoutée, mais comme un processus important d'amélioration de la productivité globale.

Le but de la Maintenance Productive Totale est de réduire autant que possible les arrêts d'activités pour cause de maintenance, améliorer la productivité globale en impliquant tout le personnel.

La figure 2.5 présente la maison de la TPM.

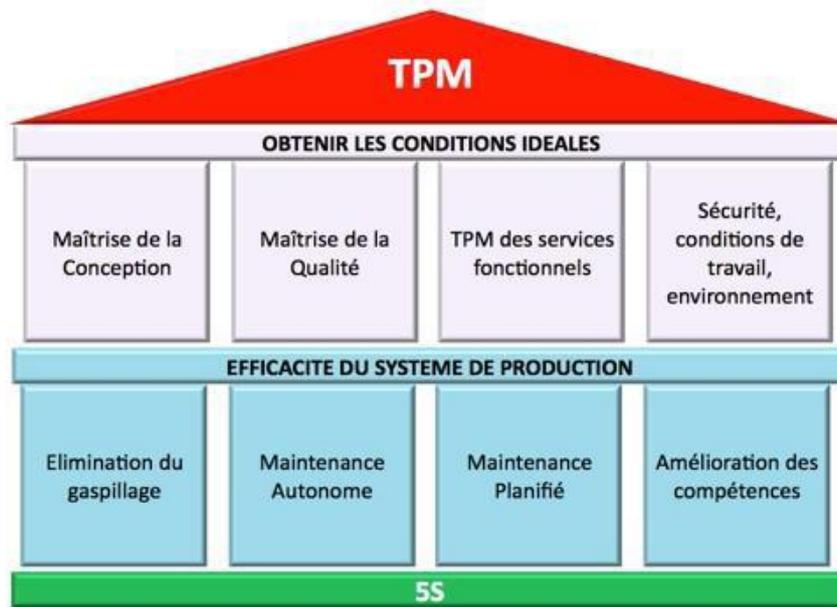


Figure 2.5. Maison de la TPM. [5]

Ce concept consiste aussi à maximiser la performance des équipements, la disponibilité et la qualité de l'équipement avec la participation de tout le personnel de l'unité productive en question

### 2.4.3.2. Objectifs [5]

la TPM a pour objectif de :

- Acquérir une meilleure maîtrise des ressources humaines, matérielles et financières.
- Réduire les coûts et augmenter la fiabilité des équipements avec une disponibilité maximale.
- Responsabiliser l'opérateur par rapport à la machine / produit et pourrait conduire à la recherche de l'amélioration des performances, en proposant des solutions pour mettre fin aux défaillances répétitives et améliorer la qualité de la fabrication.
- Accroître les compétences des opérateurs, leurs savoir-faire et leur sécurité.
- Soulager le service maintenance des travaux ne nécessitant pas de compétences particulières.
- Permettre ainsi à ce service de se consacrer à son rôle essentiel (intervention de haut niveau, analyse des défaillances, mise en œuvre).

## 2.5. Arbre de défaillance [10]

### 2.5.1. Définition

L'analyse par Arbre de Défaillance (AdD) Faut Tree Analysis (FTA) est une représentation graphique d'une formule booléenne. C'est une analyse déductive qui permet de représenter graphiquement les combinaisons d'événements élémentaires qui conduisent à la réalisation

## CHAPITRE 2 : Méthode d'optimisation de la maintenance.

---

d'un événement redouté (ER). L'Arbre de Défaillance, dont la racine correspond à l'événement redouté pour lequel on cherche à évaluer la probabilité d'occurrence, est formé de niveaux successifs tels que chaque événement soit généré à partir des événements du niveau inférieur par l'intermédiaire d'opérateurs logiques (ET, OU, ...). La décomposition s'arrête au niveau des événements élémentaires, caractérisés par le fait qu'ils sont indépendants entre eux ou que leurs probabilités peuvent être estimées ou qu'on ne désire pas les décomposer en éléments plus simples.

### 2.5.2. Principe

Cette méthode déductive (de l'effet vers ses causes) a pour objet la recherche de toutes les combinaisons de défaillances élémentaires pouvant aboutir à un événement redouté, parfois identifié par une AMDEC. A partir de cet « événement sommet », on construit une arborescence (schéma graphique en forme d'arbre inversé) représentant l'enchaînement logique des « événements intermédiaires » jusqu'à la mise en cause des « événements élémentaires » (défaillance d'un composant). Cela par utilisation du symbolisme logique de l'algèbre de Boole. Il est ainsi possible d'identifier toutes les défaillances élémentaires pouvant conduire à l'évènement redouté, puis de quantifier celui-ci par son taux de défaillance ( $\lambda$ ) obtenu à partir des taux de défaillances de chaque composant mis en cause.

Ce type d'analyse permet, dans le domaine de la maintenance :

- d'améliorer la conception ;
- de faire un diagnostic rapide ;
- de prévoir une meilleure logistique.

### 2.5.3. Objectifs

Les objectifs sont résumés en quatre (04) points :

- La recherche des événements élémentaires, ou leurs combinaisons qui conduisent à un 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

## CHAPITRE 2 : Méthode d'optimisation de la maintenance.

---

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.

### **2.5.4. Définition des événements**

#### **2.5.4.1. Événement redouté**

L'événement redouté est un événement indésirable pour lequel nous faisons l'étude de toutes les causes qui y conduisent. Cet événement est unique pour un arbre de défaillances et se trouve au “sommet” de l'arbre.

Avant de commencer la décomposition qui permet d'explorer toutes les combinaisons d'événements conduisant à l'événement redouté, il faut définir avec précision cet événement ainsi que le contexte de son apparition. L'événement redouté est représenté par un rectangle au sommet de l'arbre.

#### **2.5.4.2. Événements intermédiaires**

Les événements intermédiaires sont des événements à définir comme l'événement redouté. La différence avec l'événement redouté est qu'ils sont des causes pour d'autres événements. Par exemple c'est la combinaison d'événements intermédiaires qui conduit à l'événement redouté. Un événement intermédiaire est représenté par un rectangle comme l'événement redouté.

#### **2.5.4.3. Événements élémentaires**

Les événements élémentaires sont des événements correspondants au niveau le plus détaillé de l'analyse du système. Dans un arbre de défaillances, ils représentent les défaillances des composants qui constituent le système étudié. Pour fixer le niveau de détail de notre étude, nous considérons en général que les événements élémentaire coïncident avec la défaillance des composants qui sont réparables ou interchangeables.

Les événements élémentaires sont représentés par des cercles.

### **2.5.5. Symbole de l'arbre de défaillance**

#### **2.5.5.1 Résumé de la symbolique des événements**

Il existe d'autres types d'événements défini par la norme, leurs symboles ainsi que leurs significations sont répertoriées dans le tableau suivant (tableau 2.1).

## CHAPITRE 2 : Méthode d'optimisation de la maintenance.

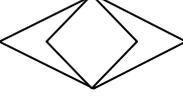
Symbole	Nom	Signification
	Rectangle	Événement redouté ou événement Intermédiaire
	Cercle	événement élémentaire
	Losange	élémentaire non développé
	Double losange	Événement élémentaire dont le développement est à faire ultérieurement
	Maison	Événement de base survenant normalement pour le fonctionnement du système

Tableau 2.1. Symboles des événements. [35]

### -Portes logiques

Les portes logiques permettent de représenter la combinaison logique des événements intermédiaires qui sont à l'origine de l'événement décomposé (Tableau 2.2).

### -Transfert de sous arbres

Il existe pour les arbres de défaillances une symbolisation normalisée qui permet de faire référence à des parties de l'arbre qui se répètent de manière identique ou de manière semblable pour éviter de les redéfinir. L'objectif est de réduire la taille du graphique.

Le tableau 2.3 suivant présente les symboles ainsi que les significations qui sont utilisés.

-Identique : Même structure, mêmes événements.

-Semblable : Même structure mais avec des événements différents.

## CHAPITRE 2 : Méthode d'optimisation de la maintenance.

<p><b>Porte ET :</b></p> <p>L'événement G1 ne se produit que si les événements élémentaires d1, d2 et d3 existent simultanément</p>	
<p><b>Porte OU :</b></p> <p>L'événement G1 se produit de manière indépendante si l'un ou l'autre des événements élémentaires d1, d2 ou d3 existe</p>	
<p><b>Porte R/N :</b></p> <p>Si R=2 et N=3 alors il suffit que deux des événements élémentaires d1, d2, d3 soient présents pour que l'événement G1 se réalise</p>	

Tableau 2.2. Portes de logiques [35]

Symbole	Nom	Signification
	Triangle	La partie de l'arbre qui suit le premier symbole se retrouve identique, sans être répétée, à l'endroit indiqué par le second symbole.
	Triangle inversé	inversé La partie de l'arbre qui suit le premier symbole se retrouve semblable, mais non identique à l'endroit indiqué par le second symbole

Tableau 2.3. Transfert des sous-arbres. [35]

### 2.5.6. Méthodologie

L'arbre de défaillance est une analyse déductive qui demande une grande connaissance des divers modes de dégradation des systèmes. On part de la défaillance présumée des systèmes et on recherche toutes les causes ou agencement (combinaison) des causes qui peuvent conduire à cette défaillance.

#### 2.5.6.1. Construction d'un arbre de défaillances

La construction de l'arbre de défaillances repose sur l'étude des événements entraînant un événement redouté. Les deux étapes suivantes sont réalisées successivement en partant de l'E.R. et en allant vers les événements élémentaires.

a- Dans un premier temps, définir l'événement redouté (l'événement intermédiaire, ou l'événement élémentaire) analysé en spécifiant précisément ce qu'il représente et dans quel contexte il peut apparaître.

b- Puis dans un deuxième temps représenter graphiquement les relations de cause à effet par des portes logiques (ET, OU) qui permettent de spécifier le type de combinaison entre les événements intermédiaires qui conduisent à l'événement analysé.

Pour pouvoir appliquer cette méthode, il est nécessaire de :

- Vérifier que le système a un fonctionnement cohérent.
- Connaître la décomposition fonctionnelle du système.
- Définir les limites du système (le degré de finesse de notre étude dépend des objectifs).
- Connaître la mission du système et son environnement pour déterminer le ou les événements redoutés qui est nécessaire à étudier.
- Connaître les modes de défaillance des composants c'est par exemple en s'appuyant sur une analyse de type AMDEC que les branches de l'arbre pourront être construites.

#### 2.5.6.2. Règles de construction

-Expliciter les faits et noter comment et quand ils se produisent : pour l'événement redouté, et pour les événements intermédiaires.

-Effectuer un classement des événements : événement élémentaire représentant la défaillance d'un composant, événements intermédiaires provenant d'une défaillance de composant, et provenant du système indépendamment du composant.

-Rechercher les causes immédiates de l'apparition de chaque événement intermédiaire afin d'éviter l'oubli d'une branche.

-Eviter les connexions directes entre portes car elles sont en général dues à une mauvaise compréhension du système ou une analyse trop superficielle.

## CHAPITRE 2 : Méthode d'optimisation de la maintenance.

-Supprimer les incohérences comme par exemple : un événement qui est à la fois cause et conséquence d'un autre événement.

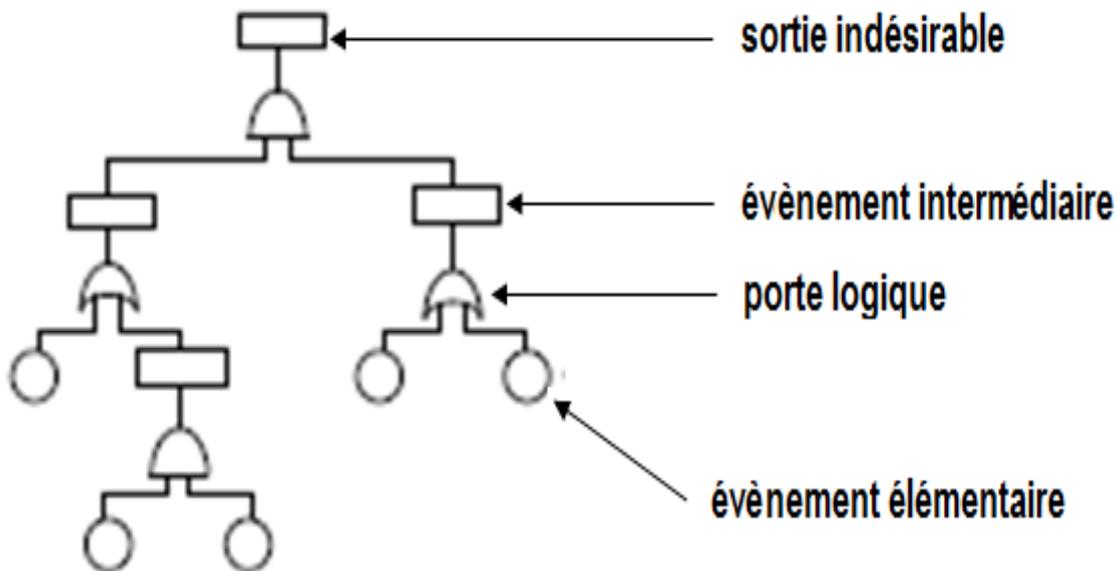


Figure 2.6. Eléments de l'arbre de défaillance. [2]

### 2.5.7. Analyse de l'arbre

L'analyse de l'arbre obtenu se décompose en deux phases :

#### 2.5.7.1. Analyse qualitative

L'analyse qualitative consiste à réduire l'arbre des défaillances à des combinaisons (appelées coupes) d'événements de base (défaillances) qui sont nécessaires et suffisantes pour provoquer l'événement indésirable étudié.

Une coupe minimale est une coupe qui n'en contient pas d'autres ; ainsi, par définition, si un des événements d'une coupe minimale ne se produit pas, l'événement indésirable n'apparaît pas non plus.

#### 2.5.7.2. Analyse quantitative

L'exploitation qualitative est réalisée à partir des coupes minimales et des probabilités d'occurrence des événements de base. Elle vise à examiner dans quelle proportion une défaillance correspondant à un événement de base peut se propager dans l'enchaînement des causes jusqu'à l'évènement final.

## 2.6. Méthode AMDEC

### 2.6.1. Présentation

L'AMDEC ou Analyse des Modes de Défaillance de leurs Effets et de leur Criticité.

## CHAPITRE 2 : Méthode d'optimisation de la maintenance.

---

Technique d'analyse préventive permettant d'identifier et de traiter les causes potentielles des défauts et des défaillances avant qu'ils ne surviennent.

L'AMDEC est une méthode rigoureuse de travail en groupe, très efficace grâce à la mise en commun de l'expérience et des connaissances de chaque participant, à condition toutefois que l'animateur AMDEC soit suffisamment expérimenté.

On peut effectuer :

- ✓ Une AMDEC Produit, pour vérifier le produit, pour vérifier la conformité d'un produit développé par rapport aux exigences du client,
- ✓ Une AMDEC Processus, pour valider la fiabilité du processus de fabrication,
- ✓ Une AMDEC Moyen, pour vérifier la fiabilité d'un équipement

Le principe consiste à recenser toutes les causes potentielles de chaque mode de défaillance et d'évaluer la criticité. Cette dernière résulte d'une triple cotation quantifiée :

- note "**G**" : Gravité ou sévérité de l'effet du défaut ou de la défaillance,
- note "**F**" : Occurrence ou fréquence d'apparition de la cause,
- note "**D**" : Détection : probabilité de non détection de la cause.

L'indice de criticité est obtenu par le produit des trois notes :

$$C = G \times F \times D \quad (2.1)$$

Plus la criticité est importante, plus la défaillance considérée est préoccupante. Lorsque la criticité dépasse la limite prédéfinie par le groupe, ce dernier recherche les actions d'amélioration possible pour la ramener à un niveau acceptable en jouant sur :

- la gravité (exemple : la gravité d'une fuite de carburant sera diminuée par la mise en place d'un bassin de rétention),
- L'occurrence (exemple : en augmentant la fiabilité d'un composant, en jouant sur la maintenance préventive ...),
- La non-détection (exemple : en mettant en place des outils de contrôle et de surveillance, en formant les contrôleurs...).

La méthode proposée, c'est l'AMDEC qui a pour horizon de focaliser les efforts sur la minorité des éléments qui causent la majorité des effets nuisibles à la maintenance, à la production et à la qualité.

## (AMDEC - complément Add)

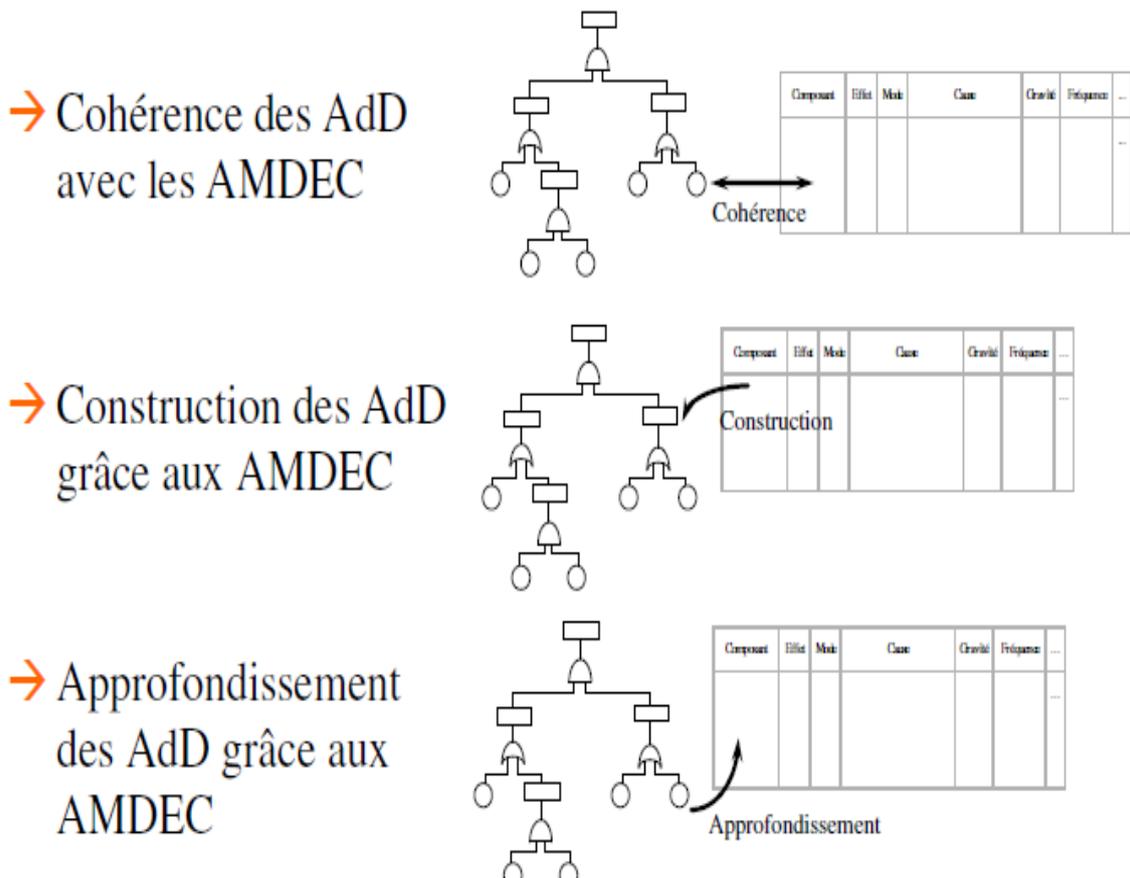


Figure 2.7. AMDEC - complément Add. [36]

### Conclusion

La maintenance n'est pas toujours le fait de mesurer et de remettre en marche un équipement défaillant, mais c'est maîtriser ces équipements au point de dresser leur planning de maintenance. Cette fonction doit être basée sur des méthodes pour optimiser les comportements des équipements.

### Introduction

La sûreté de fonctionnement est l'aptitude d'une entité à satisfaire une ou plusieurs fonctions requises dans des conditions données. La sûreté de fonctionnement se caractérise généralement par les paramètres suivants :

- La fiabilité : aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise dans des conditions données, pendant une durée donnée ;
- La maintenabilité : aptitude d'une entité à être maintenue ou rétablie dans un état dans lequel elle peut accomplir une fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, avec des procédures et des moyens prescrits ;
- La disponibilité : aptitude à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données et à un instant donné ;
- La sécurité : aptitude d'une entité à éviter de faire apparaître, dans des conditions données, des événements critiques ou catastrophiques.

L'analyse des modes de défaillance de leurs effets et leur criticité (AMDEC) est une approche qualitative pour les études de sûreté dans différents domaines. En effet cette technique apporte une connaissance approfondie du fonctionnement et des interactions d'un système, par l'analyse systématique des relations causes-effets. Les informations obtenues sont utilisées dans le cadre de la maîtrise des risques, avec préoccupation principale l'obtention d'un bon niveau de sûreté de fonctionnement du système opérationnel.

Elle permet de :

- connaître les éléments (fonctions et constituants) les plus importants ;
- découvrir, évaluer et classer les faiblesses, les anomalies et les dysfonctionnements de système ;
- gérer les points critiques et remettre en cause même la conception de système ;
- préconiser les mesures correctives ;
- évaluer les effets de ces mesures pour s'assurer de leur efficacité, et pour les comparer et décider.

Dans cette optique et à la lumière de ces points, l'AMDEC occupe une place importante dans l'optimisation de la fonction maintenance. En effet, elle rend le système fiable tout en faisant diminuer le nombre des pannes, facilement maintenable car elle permet la maîtrise des éléments et leurs fonctions, disponible parce qu'elle permet d'agir sur les éléments critiques, sécurisant car elle permet de dominer les défaillances et en particulier les défaillances critiques et catastrophiques.

### 3.1. Historique [20]

Elle trouve son origine dans les années 1950, sous le nom de FMEA (Failures Modes and Effets Analysis). Utilisée exclusivement aux USA et au Japon pour améliorer la fiabilité des produits de haute technicité (armement, avionique, spatial), elle fait son apparition en Europe en 1970 dans l'industrie nucléaire (du militaire vers le civil).

Le grand essor de l'AMDEC est dû à sa mise en œuvre généralisée dans l'industrie automobile (à partir de 1979 chez Ford et 1982 chez les constructeurs Français) ; tous les sous-traitants ont dû suivre. Conformément au QS 9000 (équivalent de l'ISO 9000 pour l'automobile), les fournisseurs automobiles devaient utiliser la planification qualité du procédé (APQP), incluant l'outil AMDEC et développant les plans de contrôle. Les industries électroniques, puis les industries mécaniques se sont inscrites ensuite dans cette démarche (apparition de la notion de sécurité des biens et des personnes).

### 3.2. Définition

L'AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité) est une méthode d'analyse préventive de la sûreté de fonctionnement des produits et des équipements. Ce principe de la prévention repose sur le recensement systématique et l'évaluation des risques potentiels d'erreurs susceptibles de se produire à toutes les phases de réalisation d'un produit. C'est une méthode précieuse qui permet à l'entreprise de valider, tout au long de la construction du produit, sa qualité et sa fiabilité :

- Elle identifie les modes de défaillance des composants, en évalue les effets sur l'ensemble des fonctions et en analyse les causes.
- Elle évalue l'impact, ou criticité, de ces modes de défaillances sur la sûreté de fonctionnement.
- En phase de conception, elle est associée à l'Analyse Fonctionnelle, pour la recherche des modes de défaillances spécifiques à chaque fonction ou contrainte des composants.
- Dans le cas d'analyse sur des procédures ou chaînes de fabrication, elle permet de localiser les opérations pouvant conduire à élaborer un produit ne respectant pas le cahier des charges, ce qui permettra par la suite de limiter les rebuts.
- Appliquée à un groupe de travail pluridisciplinaire, elle est recommandée pour la résolution de problèmes mineurs dont on veut identifier les causes et les effets.

### 3.3. Objectifs de l'AMDEC

L'objectif de l'AMDEC est d'évaluer les risques liés à un processus de fabrication.

## CHAPITRE 3 : Pratique de l'AMDEC.

Il pourra s'agir des risques liés à la sécurité, à la qualité, à la performance de production. Dans le cas de l'AMDEC machine, il va s'agir de déterminer les points faibles des équipements dans leur rôle de production afin de proposer (en fonction des résultats obtenus) des mesures correctrices. [35]

L'étude AMDEC permet principalement d'optimiser les coûts indirects (Figure 3.1). En effet elle constitue une méthode de diagnostic intelligente dans la mesure où elle permet de prévoir un certain nombre des faiblesses, des défauts, des anomalies et des pannes au niveau de l'ensemble des éléments qui concourent à la fabrication d'un produit.

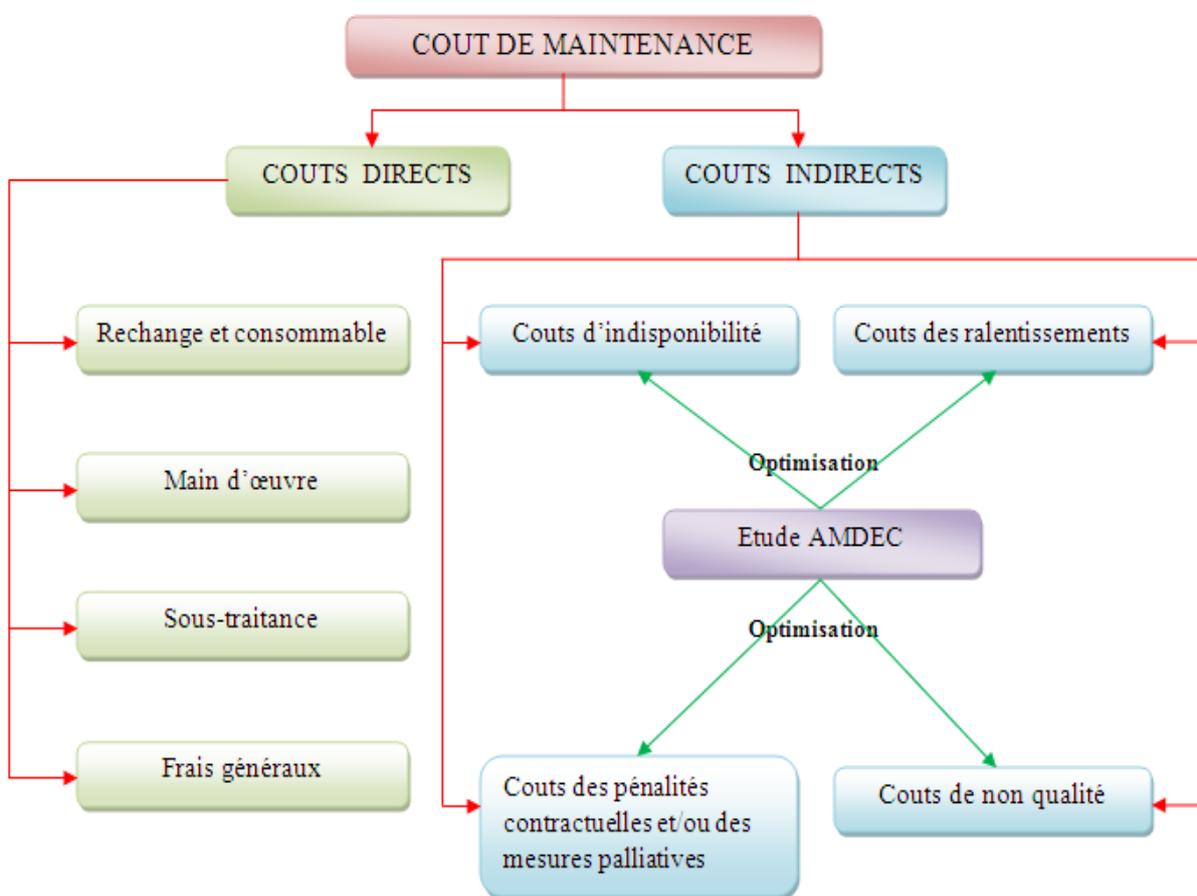


Figure3.1. Méthode d'optimisation de la maintenance par l'AMDEC. [17]

### 3.4. Avantages de la méthode AMDEC

La méthode AMDEC confronte les connaissances de tous les secteurs d'activité de l'organisation, pour obtenir, dans un ordre, les résultats suivants :

-La satisfaction de la bonne maintenance est l'objectif majeur de l'AMDEC, un objectif contre lequel personne ne peut aujourd'hui s'élever. S'il n'y avait que ce seul argument en faveur de l'AMDEC, il devrait suffire à la rendre indispensable dans nos organisations.

## CHAPITRE 3 : Pratique de l'AMDEC.

---

- Le pilotage de l'amélioration continue par la gestion. L'élaboration et la gestion de ces plans seront, avec les mises à jour régulières de l'AMDEC, un des moyens majeurs de faire vivre l'amélioration continue et de démontrer sa mise en œuvre.

- Contrairement à ce que certains prétendent, l'AMDEC aide à réduire les coûts internes d'obtention de la qualité, à condition de travailler aussi sur les effets internes (dans le cadre de l'AMDEC procédé, sur la réduction des rebuts et des retouches) : c'est un des objectifs majeurs de la méthode.

- Un des objectifs majeurs de l'AMDEC se traduira par la mise en place des mesures préventives, voire par l'élaboration des plans d'actions pour l'élimination des causes de défaillances.

### 3.5. Types de l'AMDEC [29]

Il existe globalement trois (03) types d'AMDEC (figure 3.2) suivant que le système analysé est :

- le produit fabriqué;
- le processus de fabrication du produit;
- le moyen de production intervenant dans la production du produit.

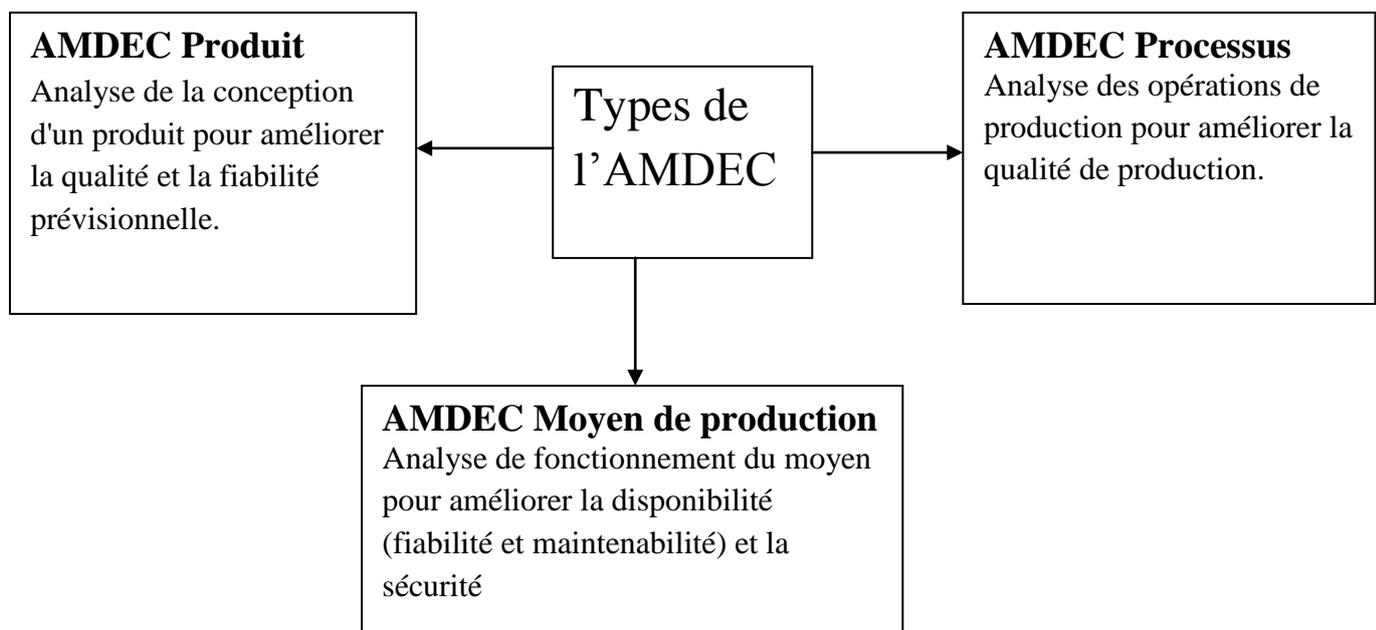


Figure 3.2. Différents types de l'AMDEC.

### 3.5.1. AMDEC-Produit

L'AMDEC Produit est utilisée pour l'aide à la validation des études de définition d'un nouveau produit fabriqué par l'entreprise. Elle est mise en œuvre pour évaluer les défauts potentiels du nouveau produit et leurs causes. Cette évaluation de tous les défauts possibles permettra d'y remédier, après hiérarchisation, par la mise en place d'actions correctives sur la conception et préventives sur l'industrialisation.

### 3.5.2. AMDEC-Processus

L'AMDEC Processus est utilisé pour étudier les défauts potentiels d'un produit nouveau ou non, engendrés par le processus de fabrication. Elle est mise en œuvre pour évaluer et hiérarchiser les défauts potentiels d'un produit dont les causes proviennent de son processus de fabrication. S'il s'agit d'un nouveau procédé, l'AMDEC Processus en permettra l'optimisation, en visant la suppression des causes de défaut pouvant agir négativement sur le produit. S'il s'agit d'un procédé existant, l'AMDEC Processus en permettra l'amélioration.

### 3.5.3. AMDEC-Moyen de production

L'AMDEC Moyen de production, plus souvent appelée AMDEC Moyen, permet de réaliser l'étude du moyen de production lors de sa conception ou pendant sa phase d'exploitation. À la conception du moyen de production, la réalisation d'une AMDEC permet de faire le recensement et l'analyse des risques potentiels de défaillance qui auraient pour conséquence d'altérer la performance globale du dispositif de production, l'altération de performance pouvant se mesurer par une disponibilité faible du moyen de production. Dans ce cas de figure, l'analyse est conduite sur la base des plans et/ou prototypes du moyen de production.

-L'objectif est généralement ici de :

- modifier la conception ;
- lister les pièces de rechange ;
- prévoir la maintenance préventive ;

Pour un moyen de production en cours d'exploitation, la réalisation d'une AMDEC permet l'analyse des causes réelles de défaillance ayant pour conséquence l'altération de la performance du dispositif de production. Cette altération de performance se mesure par une disponibilité faible du moyen de production. Dans ce cas de figure, l'analyse est conduite sur le site, avec des récapitulatifs des pannes, les plans, les schémas, etc.

L'objectif est généralement ici de :

- améliorer ;
- optimiser la maintenance (gamme, procédures, etc.) ;

-optimiser la conduite (procédures, modes dégradés, etc.) ;

### **3.6. Organisation de la méthode AMDEC**

Pour une méthode efficace, il faut :

- bien définir et délimiter le produit/processus à analyser, pour bien cadrer l'étude et éviter de s'égarer dans des considérations inutiles.
- définir la phase de fonctionnement à analyser.
- rassembler le maximum de données techniques.
- définir l'objectif à atteindre et le champ d'intervention possible.
- établir un planning.
- faire un historique du fonctionnement concernant le sujet à analyser (retour et plaintes des clients, défauts de fabrication, arrêts de production...).

### **3.7. Méthodologie de l'AMDEC**

L'emploi des AMDEC crée une ossature qu'il convient de compléter et d'outiller. Pour cela une analyse plus fine de la pertinence des informations est nécessaire. Le groupe AMDEC est tenu de maîtriser la machine et de mettre à jour et s'assurer de la validité de toutes les informations utiles à l'étude. Il appartient à ce groupe de s'appuyer sur le retour d'expérience de tous les opérateurs de tous les services de cycle de fabrication de produit, qui peuvent apporter une valeur ajoutée à l'analyse. La réalisation d'une AMDEC suppose le déroulement de la méthode comme suit :

- la constitution d'un groupe de travail,
- l'analyse fonctionnelle du procédé (ou de la machine),
- l'analyse des défaillances potentielles,
- l'évaluation de ces défaillances et la détermination de leur criticité,
- la définition et la planification des actions.

La démarche comporte 4 étapes :

#### **3.7.1. Etape1: Initialisation**

Comprend trois (03) étapes qui sont :

##### **3.7.1.1. Définition du système étudié**

L'AMDEC est un travail systématique et long, peut générer beaucoup de documents et donc devenir inutilisable. On aura donc intérêt à se limiter à des équipements qui posent problème

##### **3.7.1.2. Groupe de travail [30]**

On crée un groupe opérationnel qui se substitue à la structure pendant toute la durée de l'étude

## CHAPITRE 3 : Pratique de l'AMDEC.

et pour le seul sujet concerné. Le groupe pluridisciplinaire, composé d'un noyau de permanents doit rassembler autour d'un animateur, des personnes responsables, disponibles, compétentes et efficaces par rapport au sujet. Le groupe doit avoir une attitude positive face aux contraintes qui nuisent à la qualité, et ses réunions ont lieu périodiquement jusqu'à la fin de la phase d'analyse.

### 3.7.1.3. Mise au point de supports de l'étude

Les méthodes d'évaluations des facteurs (Gravité, Fréquence, Détection, Criticité) seront plus détaillées au moment d'évaluation de la criticité. Une feuille d'analyse AMDEC est à réaliser. Selon les sources, il existe plusieurs types de fiches AMDEC

Analyse Fonctionnelle		Analyse de défaillance				Estimation de criticité				Mesures	
Composant	Fonction	Mode de défaillance	Causes	Effet local	Effet système	Gravité	Occurrence	Non détection	Criticité (indice)	Mesures envisagées	
											Nom
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Tableau 3.1. Exemple 1 Fiche d'AMDEC [16].

ANALYSE DES MODES DE DÉFAILLANCE, DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITÉ						AMDEC					
Système : .....				Phase de fonctionnement ;.....		Date analyse : .....			Page : ...		
Sous-système : .....											
N°	Élément	Fonction	Mode de défaillance	Cause	Effet	Détection	Criticité				Action corrective
							F	G	D	C	

Tableau 3.2. Exemple 2 Fiche de l'AMDEC [16].

## CHAPITRE 3 : Pratique de l'AMDEC.

D'après la norme CNOMO E41.50.530.N Edition juin 1994											Folio/						
Fournisseur :		Rédacteur :		Criticité						Actions correctives		Criticité					
Système ;		Service :		Indices nominaux								Indices finaux					
Sous-système:		Date ;															
Réf :																	
Composant	Fonction	Modes de défaillance	Causes	Effets	Détection	TI	F	G	D	C	Action	Rep/Délai	TI	F'	G'	D'	C'
Rep1	Rep2	Rep3	Rep4	Rep5	Rep6			Rep7			Rep8				Rep9		

Tableau 3.3. Exemple 3 Fiche d'AMDEC [16].

### 3.7.2. Etape2 : Analyse fonctionnelle

#### 3.7.2.1. Définition [16]

D'après la norme AFNOR NF X 50 -151, l'analyse fonctionnelle est une démarche qui consiste à rechercher, ordonner, caractériser les fonctions selon des critères d'appréciation, des niveaux et de flexibilité, hiérarchiser et/ou valoriser les fonctions en attribuant un poids en valeur relative ou absolue.

A partir de l'analyse fonctionnelle, on pourra mener deux études d'aspects différents :

- Aspect économique ou externe
- Aspect technique ou interne

#### 3.7.2.2. Analyse fonctionnelle externe

Elle concerne l'expression fonctionnelle du besoin tel qu'il est exprimé par le client utilisateur du produit: Il s'agit de mettre en évidence les fonctions de service ou d'estime du produit étudié. Le produit est considéré comme une «boite noire» et ne fait pas partie de l'analyse. Par contre les fonctions qui sont produites par cette «boite noire» doivent être minutieusement étudiées : Il s'agit d'en faire l'inventaire, de décrire et d'évaluer.

##### a)Analyse du Besoin (A.B.)

Un besoin est un désir (ou une nécessité) éprouvé par l'utilisateur d'un système.

##### b) Analyse Fonctionnelle du Besoin (A.F.B.)

L'Analyse Fonctionnelle du Besoin permet de traduire le besoin par des fonctions à réaliser : les Fonctions de Service.

Elle comprend deux (02) principales méthodes :

## CHAPITRE 3 : Pratique de l'AMDEC.

---

### -Bête à corne

Cet outil définit le besoin auquel répond le système. Il convient donc d'exprimer le besoin et rien que le besoin dès le lancement d'un projet. Il s'agit d'explicitier l'exigence fondamentale qui justifie la conception, ou la maintenance d'un produit.

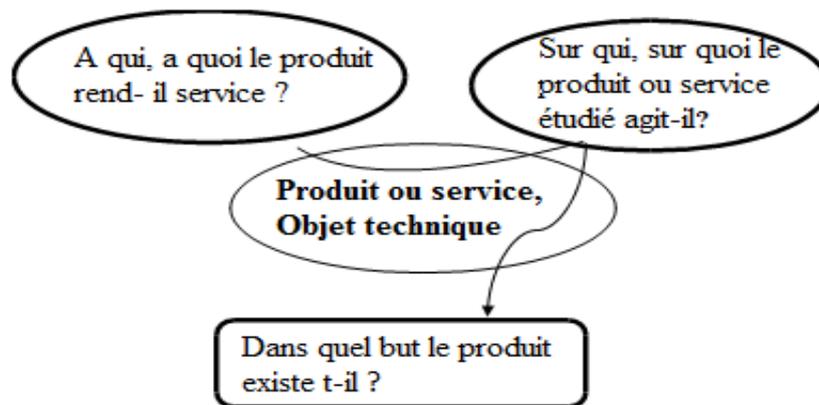


Figure 3.3. Bête à corne [25]

### -Pieuvre

Cet outil identifie les fonctions d'un système ou d'un produit, recherche les fonctions attendues et leurs relations dans l'analyse fonctionnelle du besoin. L'identification des fonctions est très importante dans la vie d'un projet. D'une part, elles reflètent la des cryptions du besoin. D'autre part, elles donneront des pistes d'orientation sur le choix des différents scénarios à analyser. Il est important que la formulation de la fonction soit indépendante des solutions susceptibles de la réaliser.

La pieuvre est un excellent outil de représentation des fonctions et de leurs relations avec l'objet étudié. Son avantage principal est de présenter synthétiquement et de manière conviviale que la littérature décrirait dans un document très long et peu explicite.

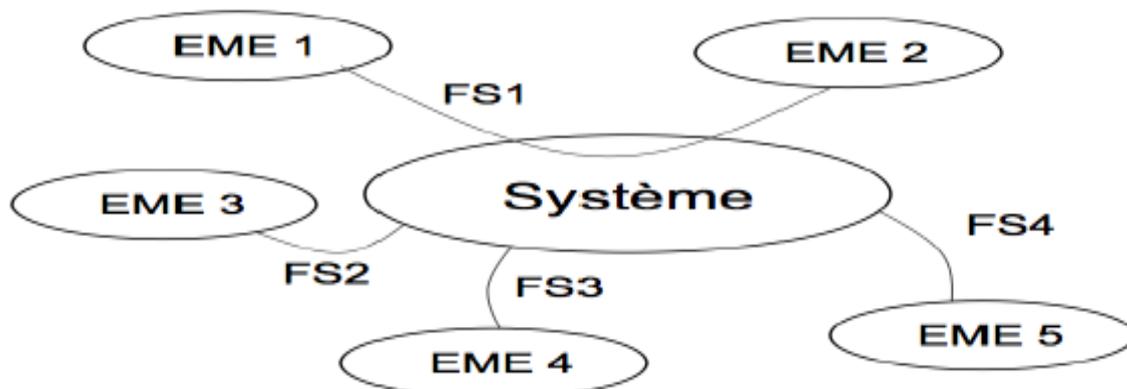


Figure 3.4. Schéma de la pieuvre. [26]

## CHAPITRE 3 : Pratique de l'AMDEC.

---

### **-Identification des éléments de milieu extérieur (EME)**

Pour identifier les fonctions du produit, il faut être capable de décrire son environnement appelé milieu extérieur. Un E.M.E doit pouvoir être défini de façon objective pour tous les protagonistes de l'étude.

Si on ne peut pas définir entièrement un élément par des critères objectifs, alors cet élément n'est pas un élément du milieu extérieur.

### **-Identification des fonctions de service (FS)**

On identifie les Fonctions de Service grâce à un outil graphique : le graphe des inters acteurs, ou graphe fonctionnel le Diagramme Pieuvre:

- les relations du produit avec son milieu extérieur (pour une phase de vie donnée) sont représentées par des traits.
- chaque trait correspond à F.S
- chaque trait doit relier le produit à un EME ou bien relier plusieurs EME en passant par le produit.

### **-Classification des Fonctions de Service**

**Fonctions Principales (F.P):** Fonction de service qui met en relation deux (02) EME ou plus, via le produit. Les fonctions principales traduisent obligatoirement des actions réalisées par le produit. Il peut être nécessaire de mettre en relation plus de deux EME par une seule fonction principale, mais c'est un cas à éviter dans la mesure du possible.

**Fonctions contraintes (F.C) :** Fonction de service qui met en relation le produit avec un seul élément de milieu extérieur.

Chaque EME doit être relié au produit par au moins une fonction contrainte. Les fonctions contraintes traduisent la plupart du temps une adaptation du produit à son milieu extérieur

### **3.7.2.3. Analyse fonctionnelle interne (Technique)**

L'Analyse Fonctionnelle Technique concerne le produit lui-même, elle permet de détailler progressivement la description interne du système jusqu'à nommer ses constituants. Les systèmes modernes sont de plus en plus complexes et font souvent appel à de nombreuses disciplines technologiques (automatique, informatique, électronique, mécanique,...).

#### **a. Intérêts de l'Analyse Fonctionnelle Technique**

Elle caractérise le fonctionnement interne de l'objet ou système technique et consiste à :

- définir le système, sa fonction globale, sa frontière, les entrées sorties de matières d'œuvre avec l'environnement.
- rechercher les fonctions techniques, les décomposer en sous fonctions.

## CHAPITRE 3 : Pratique de l'AMDEC.

-elle permet aux ingénieurs d'associer immédiatement (grâce à son nom) toute fonction technique (F.T) et toute solution technologique (S.T) à la fonction de service (F.S) qui la justifie.

-établir et caractériser les liens entre éléments de l'objet ou système technique étudié.

### b. Outils d'analyses internes [16]

#### -Analyse descendante

La méthode appuyée par un modèle graphique, procède par approche descendante en ce sens que l'on va du plus général au plus détaillé, en s'intéressant aux activités du système.

Les principes c'est :

-Procéder par analyse descendante : Le premier niveau du modèle est en général très abstrait, et progressivement les activités et les moyens nécessaires à leur réalisation sont détaillés.

-Délimiter le cadre de l'analyse : afin d'aborder l'analyse et la description du système, il est fondamental de préciser le contexte (limite du système), le point de vue et l'objectif de l'analyse

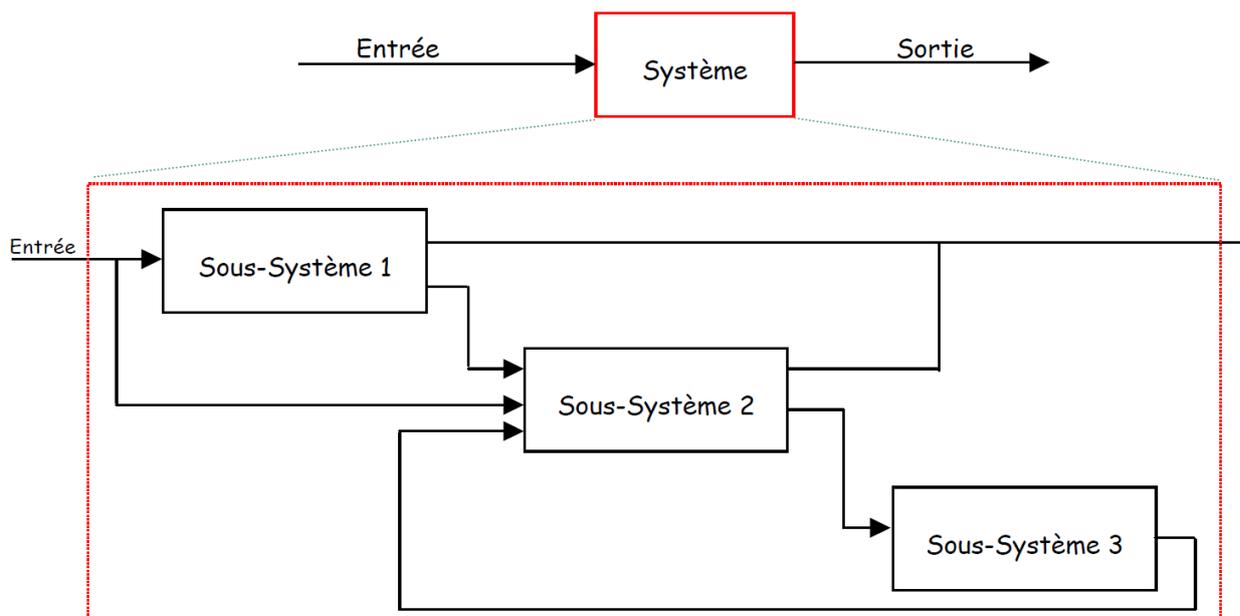


Figure 3.5. Méthode Analyse Descendante. [12]

#### -Méthode Diagrammes de Flux

Cette méthode est plus appropriée pour l'analyse interne. On détaille les différents éléments qui vont être analysés dans l'AMDEC ainsi que leur participation dans la ou les fonctions principales.

On représente les flux principaux (transfert d'énergie au sein de l'équipement) et les flux bouclés (consommation d'énergie lors de l'assemblage des besoins de la conception).

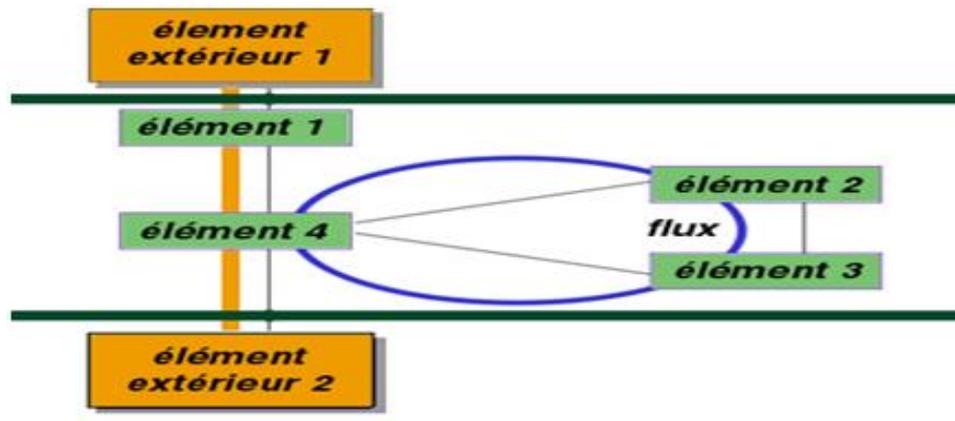


Figure 3.6. Méthode Diagrammes de Flux. [12]

### 3.7.3. Etape3 : Analyse des défaillances

L'AMDEC a pour but premier de déceler les défaillances probables ou les points faibles. Il est donc naturel que les événements soient davantage précisés. Ainsi considérerons qu'une défaillance se caractérise par son mode d'apparition, sa cause et ses effets sur le système ainsi que sur les autres composants.

#### 3.7.3.1. Modes de défaillance

Un mode de défaillance est la manière par laquelle un dispositif peut venir à être défaillant, c'est-à-dire à ne plus remplir sa fonction:

Ceci peut intervenir de quatre manières différentes:

- Plus de fonction : la fonction cesse de se réaliser.
- Pas de fonction : la fonction ne se réalise pas lorsqu'on la sollicite.
- Fonction dégradée : la fonction ne se réalise pas parfaitement : altération des performances.
- Fonction intempestive: la fonction se réalise alors qu'elle n'est pas sollicitée.

Le tableau (3.4) illustre par des exemples les différents modes de défaillances que ce soit pour des composants électriques, hydrauliques ou mécaniques.

#### 3.7.3.2. Causes de défaillance

Une cause de défaillance est l'événement initial pouvant conduire à la défaillance d'un dispositif par l'intermédiaire de son mode de défaillance.

Il existe trois (03) types de causes conduisant à une défaillance :

- Causes internes au matériel.
- Causes externes dues à l'environnement, au milieu, à l'exploitation.
- Causes externes dues à la main d'œuvre

Le tableau (3.5) illustre, par des exemples, les différentes causes de défaillance.

## CHAPITRE 3 : Pratique de l'AMDEC.

<b>Modes de défaillance</b>	<b>Composants électriques</b>	<b>Composants Hydrauliques</b>	<b>Composants mécaniques</b>
<b>Plus de fonction</b>	- composant défectueux	-composant défectueux -circuit coupé ou bouché	-rupture - blocage / grippage
<b>Pas de fonction</b>	-composant répondant pas à la sollicitation dont il est l'objet -connexions débranchées - fils desserrés	-connexions / raccords débranchées	
<b>Fonction dégradée</b>	dérive des caractéristiques	mauvaise étanchéité - usure	-désolidarisation -jeu
<b>Fonction intempestive</b>	-perturbations (parasites)	- perturbations	

Tableau 3.4. Exemples de modes de défaillance. [30]

<b>Causes de défaillance</b>	<b>Composants électriques</b>	<b>Composants hydrauliques</b>	<b>Composants mécaniques</b>
<b>-Causes internes Matériel</b>	-vieillissement	- vieillissement - colmatage -fuites	-contraintes mécaniques -fatigue mécanique -états de surface
<b>Causes externes Milieu d'exploitation</b>	-pollution (poussières, huile, eau) -choc -vibrations -échauffement local	-pollution (poussières, huile, eau) -vibrations -échauffement local -choc, coup de bélier	- pollution (poussières, huile, eau) -vibrations -échauffement local - choc
<b>Causes externes Main d'œuvre</b>	- montage -réglages -mise en œuvre	-Réglages - montage -mise en œuvre	-Conception -montage -réglages

Tableau 3.5. Exemples des causes de défaillance. [30]

## CHAPITRE 3 : Pratique de l'AMDEC.

### 3.7.3.3 Effets

Il est important pour la précision de l'AMDEC de répartir les effets d'une défaillance selon deux catégories :

-Les effets sur le système : Ils sont les conséquences directes du dysfonctionnement sur l'ensemble du dispositif. Contrairement aux moyens de détection, ils ne sont pas toujours perceptibles mais néanmoins jamais sans conséquence à plus ou moins long terme.

-Les effets locaux : Logiquement et évidemment ces cas se rencontrent lorsque l'on n'a pas pu détecter les défaillances.

### 3.7.4. Etape 4 : Cotations de criticité

La définition de ces critères doit être absolument rigoureuse pour ne laisser aucune place à l'interprétation afin que quiconque les utilise de manière identique. Généralement, chaque critère reçoit un indice sur une échelle qui varie de 1 à 4 en fonction de son importance.

Cependant, il est tout à fait logique de se détourner de cet ordinaire et augmenter ou diminuer le découpage selon ses propres besoins ou objectifs. Les défaillances au niveau de chaque sous-ensemble sont cotées suivant les valeurs des critères définis dans la grille de cotation

#### 3.7.4.1. Fréquence (F)

Relatif à la fréquence d'apparition de la défaillance, cette fréquence exprime la probabilité combinée d'apparition du mode de défaillance par l'apparition de la cause de la défaillance.

La fréquence F allant de un (1) jusqu'à quatre (4).

Niveau	Valeur	Définition
très faible	1	défaillance rare : moins de une défaillance par année
Faible	2	défaillance possible : moins de une défaillance par trimestre
Moyen	3	défaillance occasionnelle : moins de une défaillance par semaine
Elevé	4	défaillance fréquente : plus de une défaillance par semaine

Tableau 3.6. Grille de cotation de la fréquence. [16]

## CHAPITRE 3 : Pratique de l'AMDEC.

### 3.7.4.2. Gravité (G)

Relatif aux conséquences provoquées par l'apparition du mode de défaillance en termes des indices suivants :

- Qualité des pièces produites.
- Sécurité des hommes ou des biens.
- Temps d'intervention qui correspond au temps actif de maintenance corrective (diagnostic+réparation ou échange+remise en service). La gravité G est le plus souvent cotée de un (1) jusqu'à (4).

Niveau	Valeur	Définition
Mineure	1	-arrêt de production : moins de 15 minutes -aucune ou peu pièce de rechange nécessaire
Moyenne	2	-arrêt de production : de 15 minutes à une heure -pièces en stock
Majeure	3	-arrêt de production : 1 heure à 2 heures -pièces en stock ou livraison ultra-rapide
Grave	4	-arrêt de production : 2 heures et plus -long délai de livraison

Tableau 3.7. Grille de cotation de la gravité. [16]

### 3.7.4.3. Détection (D)

Elle est relative à la possibilité de détecter la défaillance avant qu'elle ne se produise.

Niveau	Valeur	Définition
Evident	1	détection certaine, sirène, moyens automatiques, signes évidents
Possible	2	déTECTABLE par l'opérateur, par des routes d'inspections, vibrations
Improbable	3	difficilement détectable, moyens complexes (démontages, appareils)
Impossible	4	indétectable, aucun ne signe

Tableau 3.8. Grille de cotation de la détection. [16]

## CHAPITRE 3 : Pratique de l'AMDEC.

### 3.7.4.4. Criticité (C)

La criticité s'obtient en faisant le produit des indices des critères précédents. Cette valeur de criticité s'établit souvent sur une échelle de 1 à 64(4\*4\*8), elle 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.

Dans le cadre d'une conception ces indices de criticité mettent en évidence la faiblesse de certains points appelant ainsi à une amélioration, mais dans le cadre de l'exploitation d'un système, les indices de criticité élevés orientent les actions à mettre en œuvre (modification, type de maintenance, conduite...)

### 3.7.4.5. Matrice de criticité

Au cours d'évaluation de la criticité, il n'est pas obligatoire de prendre en compte les trois (03) critères gravité, fréquence et la détection ; on peut se limiter aux seuls critères gravité et fréquence, ce qui permet de matérialiser l'étude par une matrice de criticité ou matrice de sécurité. (Figure 3.7).

La matrice met en évidence une zone critique et une zone non critique. Mais, elle présente un défaut car elle ne tient pas compte de la notion de détection.

F \ G	1	2	3	4
1	1	2	3	4
2	2	4	6	8
3	3	6	9	12
4	4	8	12	16

■ Seuil de criticité  
■ Criticité < 4  
■ Criticité > 4

Figure 3.7. Matrice de criticité. [16]

Un point critique existe si :

- la criticité de la défaillance dépasse le seuil prédéterminé,
- l'indice de gravité de la défaillance est supérieur ou égal à 4,
- l'indice de fréquence de la défaillance est égal à 4.

## CHAPITRE 3 : Pratique de l'AMDEC.

---

### 3.7.5. Etape5: Synthèse [25]

Synthèse de l'étude/décisions qui consiste :

- classement des problèmes rencontrés,
- décision des actions à engager,
- calcul de la nouvelle criticité.

#### 3.7.5.1. Classement des problèmes rencontrés

Les actions menées sont décidées par le groupe de travail pour pouvoir éliminer tous les points critiques. A partir de la valeur de la criticité, on peut classer les problèmes par ordre décroissant et les répartir en différentes classes

$C < 16$	Ne pas tenir compte
$16 \leq C < 32$	Mise sous préventif à fréquence faible
$32 \leq C < 36$	Mise sous préventif à fréquence élevée
$36 \leq C < 48$	Recherche d'amélioration
$48 \leq C < 64$	Reprendre la conception

Tableau 3.9. Echelle de criticité. [16]

#### 3.7.5.2. Actions menées

La finalité de l'analyse AMDEC, après la mise en évidence des défaillances critiques, est de définir des actions de nature à traiter le problème identifié.

Les actions sont de trois (03) types :

**-Actions préventives** : on agit pour prévenir la défaillance avant qu'elle ne se produise, pour l'empêcher de se produire. Ces actions sont planifiées. La période d'application d'une action résulte de l'évaluation de la fréquence.

**-Actions correctives** : lorsque le problème n'est pas considéré comme critique, on agit au moment où il se présente. L'action doit alors être la plus courte possible pour une remise aux normes rapide.

**-Actions amélioratives** : il s'agit en général de modifications de procédé ou de modification technologique du moyen de production destinées à faire disparaître totalement le problème. Le coût de ce type d'action n'est pas négligeable et on le traite comme un investissement.

Les actions, pour être efficaces, doivent faire l'objet d'un suivi :

- plan d'action
- désignation d'un responsable de l'action

## CHAPITRE 3 : Pratique de l'AMDEC.

---

- détermination d'un délai
- détermination d'un budget
- révision de l'évaluation après mise en place de l'action et retours des résultats

### 3.7.5.3 Calcul de la nouvelle criticité

Un nouveau calcul de la criticité permet de valider les solutions retenues à partir de l'estimation des nouveaux indices F, G, D

**Indice F:** L'amélioration de la fréquence F s'obtient par une action sur la fiabilité du composant analysé, sur les conditions d'utilisation ou par une action de maintenance préventive systématique.

**Indice G:** L'amélioration de la gravité s'obtient par une action sur la maintenabilité ou sur l'aptitude à diagnostiquer et à réparer plus rapidement. Cela peut entraîner des modifications de conception.

**Indice D:** L'amélioration de la détection s'obtient en agissant sur la validation de la conception et/ou sur une aide à la supervision par une maintenance préventive.

**Indice C :**  $C = F * G * D$  qui permettra de quantifier le progrès réalisé.

### 3.8. Perspectives de l'AMDEC [32]

Dans un première temps, l'AMDEC va permettre de faire ressortir les points faibles de chaque équipement. A partir de ces données, on va pouvoir déterminer des actions correctives à mettre en œuvre afin de réduire les criticités des points les plus importants.

Mais au delà de ces aspects, l'AMDEC ne doit pas être arrêtée. En effet, l'AMDEC doit constamment être challengée afin de recevoir sa pertinence. Une fois les actions correctrices mises en place, il est nécessaire de réévaluer la criticité des processus selon des paramètres nouveaux. Cela va nous permettre de redéfinir de nouvelles actions correctrices et de revoir celle déjà mises en places.

### 3.9. Place de l'AMDEC dans une démarche de maîtrise des risques [14]

Si on fait le bilan des expériences réussies ici et là, on trouvera l'AMDEC à pratiquement tous les stades du cycle de vie d'un système. Toutefois, on peut souligner le caractère à peu près incontournable de l'AMDEC à la fin de la conception, à la charnière avec la réalisation ou l'exploitation et la maintenance. En effet, quand le système est décrit de façon précise, les composants choisis, l'AMDEC s'applique à merveille pour compléter la connaissance des fonctionnements (fonctionnements souhaités décrits par la conception) avec les fonctionnements non souhaités, mais inévitables du fait qu'aucun composant n'est infallible.

Il faut bien prendre en compte ce qui peut résulter des défaillances des composants choisis.

### **Conclusion**

L'AMDEC est une méthode de prévention qui peut s'appliquer à une organisation, un processus, un moyen, un composant ou un produit dans le but d'éliminer, le plus en amont possible, les causes des défauts potentiels. C'est là un moyen de se prémunir contre certaines défaillances et d'étudier leurs causes et leurs conséquences. La méthode permet de classer et de hiérarchiser les défaillances selon certains critères (occurrence, détection, gravité). Les résultats de cette analyse sont les actions prioritaires propres à diminuer significativement les risques de défaillances potentielles.

# CHAPITRE 4 : Application de l'AMDEC dans une entreprise Algérienne de production.

## Introduction

La maintenance d'un équipement critique pour une manufacture se doit d'être rigoureuse. Il est donc souhaitable de contrôler au lieu de subir les pannes imprévues. Ces pannes peuvent amener une augmentation des coûts de maintenance, des dangers pour les travailleurs ou un arrêt de production.

Afin de faire une bonne maintenance, il faut bien connaître notre équipement ainsi que les différents modes de défaillances. Il est possible par la suite de déterminer les causes probables des bris et d'en évaluer l'impact sur l'environnement. Les méthodes utilisées pour faire cette tâche laborieuse est l'AMDEC et l'Arbre de Défaillance. Cette étude a été réalisée dans l'entreprise Alzinc sur trois (03) ventilateurs (démarrage M26, intermédiaire M30, principal K102) qui sont situées au service de production.

### 4.1. Présentation de l'entreprise Alzinc, lieu d'investigation

Située à l'ouest de l'Algérie, l'entreprise algérienne Alzinc est l'unique producteur de zinc électrolytique dans le monde arabe. Son siège social est fixé à Ghazaouet, route des phares, son capital est de 1040 000 000,00 DA divisé en 10400 actions, détenues intégralement par la société mère METANOF. Elle a pour objet conformément à ses statuts, la production, la commercialisation du zinc et ses alliages, de l'acide sulfurique et du cuivre cathodique. L'usine fut fondée en 1969 avec la coopération de la société belge « vieille montagne ».

La production a démarré en 1974. L'effectif total de l'entreprise s'élève à 489 employés dont 450 sont impliqués dans le système de management intégré (Qualité et Environnement). Le zinc produit est de qualité « Spécial High Grade », soit une pureté de 99,995% de Zinc. Il est enregistré à la bourse de Londres des métaux, LME (London Métal Exchange).



Figure 4.1. Vue générale de l'entreprise « Alzinc » de Ghazaouet.

## CHAPITRE 4 : Application de l'AMDEC dans une entreprise Algérienne de production.

1. Atelier du grillage Acide ;
2. Atelier de lixiviation ;
3. Atelier de purification ;
4. Atelier de l'électrolyse ;
5. Atelier de refonte ;
6. Direction ;
7. Station de dessalement ;
8. Atelier de maintenance ;
9. Eau de mer

### 4.2. Organigramme de l'entreprise

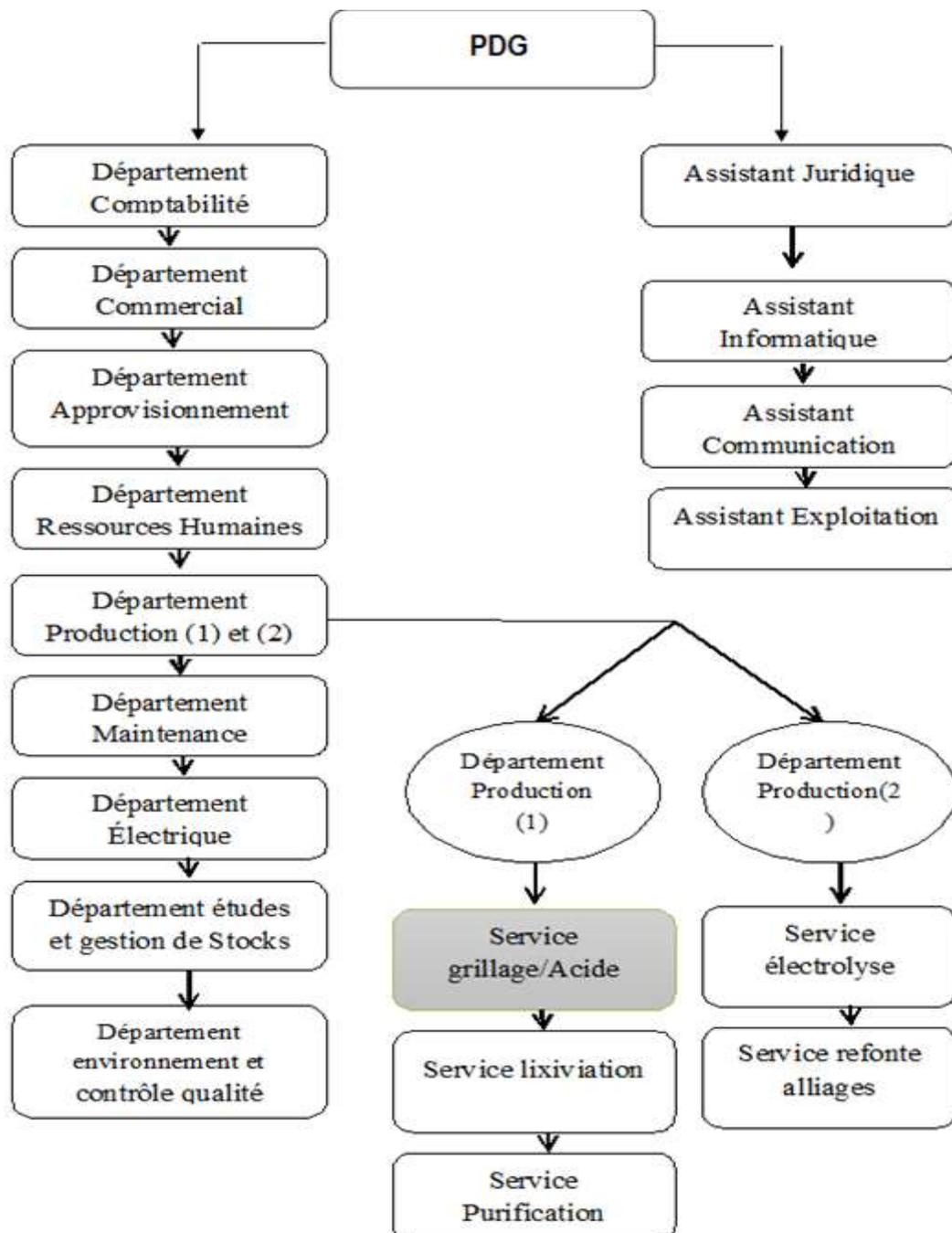


Figure 4.2. Organigramme de l'entreprise ALZINC.

### 4.3. Organigramme de production

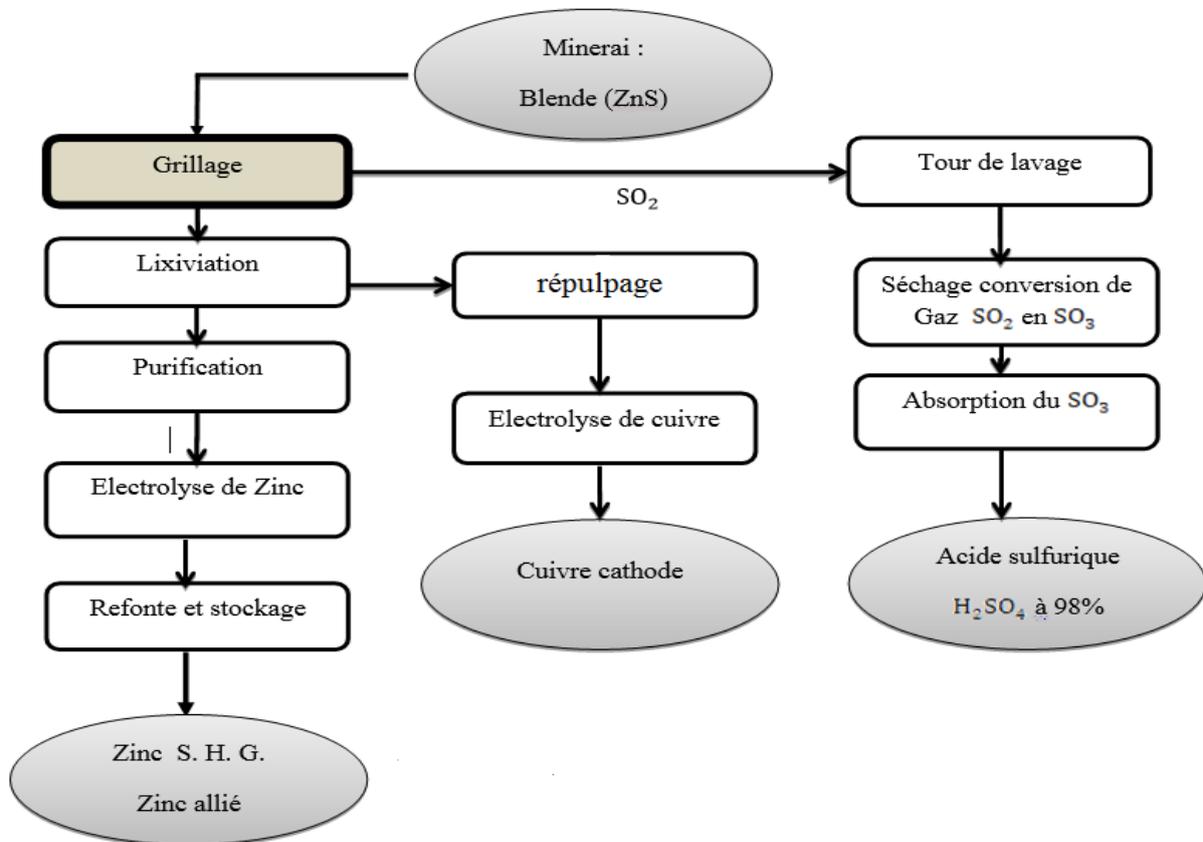


Figure 4.3. Organigramme de production.

### 4.4. Processus et métier d'ALZINC

#### 4.4.1. Grillage

"ALZINC" dispose d'une installation de grillage qui est entrée en service en 1975 avec une capacité de traitement de 300 tonnes/jour de minerai et une production de 270 tonnes /jour d'acide sulfurique.



Figure 4.4. Atelier de Grillage.

## CHAPITRE 4 : Application de l'AMDEC dans une entreprise Algérienne de production.

### 4.4.1.1 Production de ZnO

Le but de cette étape est de transformer des sulfures de zinc (ZnS) en oxydes de zinc (ZnO) qui est soluble dans l'acide sulfurique. La matière première utilisée est la blende (sulfure de zinc ZnS) d'une teneur de Zn qui varie entre 45 et 60% et de nombreux éléments minéraux. La majorité de cette matière est importée du Pérou par voie maritime.

Le concentré de blende alimente les six trémies d'alimentation du four, qui va ensuite vers un broyeur pour réduire la granulométrie des particules grosses.

La blende est alors soutirée de la trémie d'alimentation et chargée dans le four.

Le four utilisé est un four « LURGI » qui fonctionne selon la technique en lit fluidisé d'une capacité de 300 tonnes/jours. La température de grillage est de 950°C. A cette température la réaction tend vers la formation de l'oxyde de zinc (ZnO) et l'anhydride sulfureux (SO<sub>2</sub>)

L'oxydation intensive est obtenue par l'injection d'air à l'aide d'un **ventilateur (M26)** (débit environ 25000m<sup>3</sup>/h). La réaction exothermique suivante :



Le grillé (calcine) le plus grossier est extrait du four par débordement vers le stockage, mais il ne représente que 30% du ZnO formé, le reste est récupéré du gaz par la chaudière, les cyclones et les électrofiltres secs :

#### a-Chaudière de récupération

Elle est constituée par une grande chambre qui renferme six (06) éléments de refroidissement dont quatre (04) évaporateurs et deux surchauffeurs.

Le débit gazeux contenant de l'anhydride sulfureux est aspiré de four de grillage à l'aide d'un **aspirateur intermédiaire (M30)**. Elle récupère une grande partie de poussière entraînée par le gaz à la sortie du four. Les particules retenues par les éléments de chaudière qui seront nettoyés par un dispositif automatique.

#### b- Cyclones

Les gaz sortant de la chaudière sont amenés vers deux (02) cyclones placés en parallèles, où ils sont soumis à un dépoussiérage par l'effet de force centrifuge, pour récupérer une seconde fois les poussières de ZnO.

#### c- Electrofiltres secs

Les gaz sortant des cyclones (T=300°C) traversent deux (02) électrofiltres secs placés en parallèles, chacun renferme deux (02) champs électriques. Les particules entraînées par le gaz

## CHAPITRE 4 : Application de l'AMDEC dans une entreprise Algérienne de production.

---

se déposent sur les électrodes sous un effet du champ électrique et elles sont récupérées périodiquement par un dispositif de frappe, donc une troisième récupération des poussières. Le gaz ZnO sort à une température de 270°C et il va à la partie contacte pour produire l'acide sulfurique, le ZnO récupéré est stocké dans deux (02) silos de stockage.

### 4.4.1.2 Production de l'acide sulfurique

Les gaz du grillage passent par plusieurs étapes pour produire enfin l'acide sulfurique.

#### a-Tour de lavage

Le rôle de la tour de lavage est de refroidir les gaz contenant le SO<sub>2</sub> provenant des électrofiltres secs d'une température de 270°C à 60°C par moyen d'arrosage dont, les majorités poussières sont éliminées.

#### b-Electrofiltres humides

Le rôle des électrofiltres humides est d'éliminer toutes les minuscules de poussières qui peuvent encore se trouver dans le gaz.

Les électrofiltres humides sont connectés par une boîte d'étanchéité qui a pour but de protéger le souffleur principal (K102) en cas de boucher ou d'arrêt brusque.

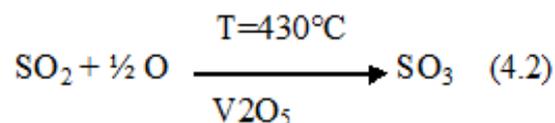
#### c-Tour de séchage

Après avoir quitté les électrofiltres humides, le gaz passe dans la tour de séchage où l'humidité est pratiquement éliminée par le contact avec l'acide sulfurique à 96% injecté par le haut de la tour. Dans le dégazeur et à l'aide de **souffleur principal (K102)**, de l'air comprimée passe de bas en haut en contre courant avec le flux d'acide.

#### d-Tour catalyse

La tour contient quatre (04) plateaux de catalyseurs de Pentoxyde de Vanadium (V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) et chaque plateau contient un volume différent. Pour obtenir une bonne conversion dans la tour de catalyse, chaque lit doit être réglé à 430°C.

Le gaz sort du premier plateau, à travers échangeur chaud à une température de 430°C puis entre dans le troisième plateau où le SO<sub>2</sub> est oxydé en SO<sub>3</sub> selon la réaction suivante :



Ensuite le gaz sort du 4<sup>ème</sup> plateau vers un économiseur.

#### e-Economiseur

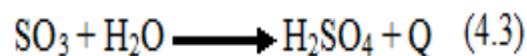
La température d'entrée du gaz est de 224°C, le refroidissement se fait au moyen d'un ventilateur à air.

## CHAPITRE 4 : Application de l'AMDEC dans une entreprise Algérienne de production.

---

### f-Tour d'absorption

L'absorption de  $\text{SO}_3$  provenant de la tour de catalyse se fait par contact avec l'acide sulfurique à 98% qui s'accompagnent d'un grand dégagement de chaleur, et pour maintenir la concentration, on ajoute l'eau et l'acide sulfurique 96%. La température de l'acide quittant la tour est de  $97^\circ\text{C}$  tandis que la température d'entrée est  $71^\circ\text{C}$ . Cette chaleur est éliminée dans les refroidisseurs à plaque utilisant l'eau de mer. La circulation de l'acide est assurée par une pompe immergée dans le réservoir. Une purge est faite au refoulement de la pompe de circulation qui passe dans deux (02) groupes de refroidissement d'acide 98%disposée série puis les pompes à acide produit et se dirige vers le stockage.



L'acide sulfurique obtenu est ensuite refroidi puis passe aux tanks de stockage.

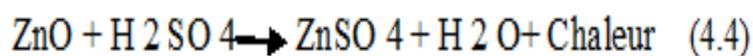
### 4.4.2. Circuit de minerai

Le blende est alors soutirée de la trémie d'alimentation au moyen d'un extracteur à bande et chargée dans le four au moyen d'une sole tournante assurant la régularité de l'alimentation et d'une machine chargeuse garantissant la répartition du concentré dans le four.

### 4.4.3. Stockage

Le minerai en provenance du four de grillage est stocké dans deux (02) silos de 3000 T chacun, avant d'être soutiré par deux (02) vis doseuses et déversée dans les cuves de pulpage.

$\text{ZnO}$  est soluble dans  $\text{H}_2\text{SO}_4$  selon la réaction :



La présence d'un peu de sulfate dans le minerai (2 à 3 %) n'est pas nuisible, au contraire elle compense les pertes en  $\text{SO}_4$  dans les évaporateurs, sous forme de  $\text{CaSO}_4$  et dans les résidus  $\text{SO}_4$  imprégnant les boues sous forme de  $\text{PbSO}_4$  et  $\text{ZnSO}_4$

Les composés tels que les ferrites de zinc ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZnO}$ ) et certains silicates sont par contre insolubles dans l'acide dilué et leur présence, a comme conséquence, une diminution du rendement de mise en solution de zinc.

La présence de  $\text{ZnS}$  due à un grillage imparfait gêne l'oxydation du  $\text{Fe}^{++}$  au  $\text{Fe}^{+++}$  au niveau de la cuve de pulpage et dans les cuves de lixiviation. Il est dans ce cas indispensable

## CHAPITRE 4 : Application de l'AMDEC dans une entreprise Algérienne de production.

---

d'ajouter du bioxyde de manganèse ( $MnO_2$ ) au niveau des cuves acides de tête ou du permanganate de potassium ( $KMnO_4$ ) au niveau des cuves de lixiviation.

### 4.4.4. Lixiviation

Mettre le maximum de zinc en solution tout en essayant d'éviter la dissolution des impuretés (PH 5,2), éliminer une grande partie des impuretés par oxydation du  $Fe^{++}$  en  $Fe^{+++}$  qui sert d'entraîneur.

Elimination des solides par décantation.

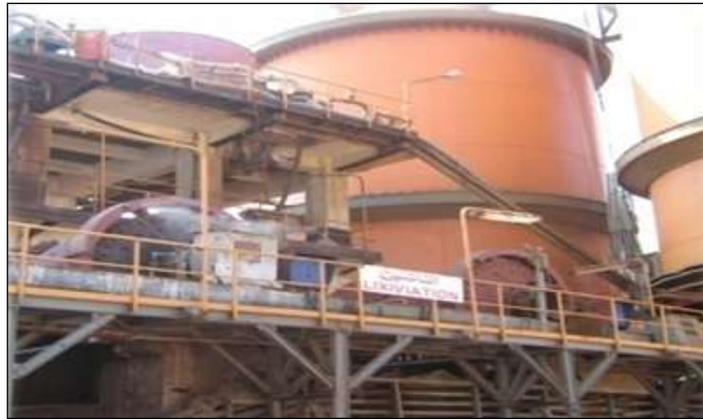


Figure 4.5. Vue de l'atelier lixiviation.

### 4.4.5. Purification

A – Purification à chaud ; B – Purification à froid ; C – Dépulpage neutre

But de l'over flow de la lixiviation neutre est trop impure pour être soumis à l'électrolyse. Il faut donc éliminer toutes les impuretés susceptibles de se déposer avant le zinc.

Les impuretés sont éliminées sous forme de ciment, l'agent de cémentation utilisé est la poudre de zinc.



Figure 4.6. Vue de l'atelier purification.

## CHAPITRE 4 : Application de l'AMDEC dans une entreprise Algérienne de production.

### 4.5. Sélection de l'équipement critique dans l'atelier de grillage

Nous déterminons leur incidence directe sur les équipements par la méthode PIEU, cette opération a été effectuée avec l'équipe de maintenance.

Poids Critère	0	1	2	3
<b>P</b> incidence des pannes	répercussions grave sur qualité et/ou environnement	Répercussions sur qualité avec génération des rebuts	Retouches possibles	Aucune répercussion sur la qualité
<b>I</b> importance	Stratégique pas de délestage sur autre machine sous-traitance impossible	Important pas de délestage sur autre machine sous-traitance possible	Secondaire délestage possible	Equipement de secours
<b>E</b> état	A rénover ou à réformer	A réviser	A surveiller	A l'état spécifié
<b>U</b> taux d'utilisation	Sature	élevé	moyen	Faible

Tableau4.1. Méthode PIEU. [21]

Sur cette base la criticité CR se calcule, équipement par équipement, en multipliant entre elles les valeurs de chaque critère :

$$CR = P \times I \times E \times U \quad (4.5)$$

A partir des criticités calculées selon le processus ci-avant, les équipements peuvent être classés en deux catégories :

- ceux qui sont super critiques CR = 0,
- ceux qui sont critique CR =1 ou 2,
- ceux qui sont ordinaire CR = 3.

La criticité de cette méthode elle est l'inverse de la criticité de la méthode l'AMDEC c'est-à-dire plus la valeur est petite, plus l'équipement est critique.

Le tableau suivant présente les criticités de tous les équipements de service grillage.

## CHAPITRE 4 : Application de l'AMDEC dans une entreprise Algérienne de production.

Désignation de la partie (agrégats)	Codes	Criticité sur l'équipement				
		P	I	E	U	CR
Pont roulant à grappin	23JK01	3	2	3	2	36
Transporteur à bande horizontale	23JM01	3	1	3	1	9
Transporteur à bande incliné	23JM02	3	2	2	1	12
Transporteur à bande incliné	23JM03	3	2	2	1	12
Transporteur à bande incliné	23JM04	3	2	2	1	12
Transporteur à bande mobile	23JM05	3	2	2	1	12
Trémie de stockage	23CA01	3	2	3	2	36
Trémie de stockage	23CA02	3	2	3	2	36
Trémie de stockage	23CA03	3	2	3	2	36
Trémie de stockage	23CA104	3	2	3	2	36
Trémie de stockage	23CA105	3	2	3	2	36
Trémie de stockage	23CA106	3	2	3	2	36
Bande d'extraction volumétrique	24JU01	3	2	3	1	18
Bande d'extraction volumétrique	24JU02	3	2	3	1	18
Bande d'extraction volumétrique	24JU03	3	2	3	1	18
Bande d'extraction volumétrique	24JU04	3	2	3	1	18
Bande d'extraction volumétrique	24JU05	3	2	3	1	18
Bande d'extraction volumétrique	24JU06	3	2	3	1	18
Transporteur à bande collecteur	24JM01	3	2	3	1	18
Transporteur à bande collecteur	24JM02	3	2	3	1	18
Four à charge en turbulence	32FM01	1	0	2	1	0
Chaudière	32FN01	1	1	2	1	2
Trémie de poussière	33CK01	2	2	3	2	24
Transporteurs Redler à gain double	35JX01	2	1	2	1	4
Cyclone	34TY01	2	2	3	1	12
Cyclone	34TY02	2	2	3	1	12
Electro filtre chaud (sec)	3140L01	1	0	2	1	0
Electro filtre chaud (sec)	34LG02	1	0	2	1	0
Tour de lavage	36LS101	1	1	2	1	2

## CHAPITRE 4 : Application de l'AMDEC dans une entreprise Algérienne de production.

Refroidisseur à étoile	36FC101A	1	0	2	1	0
Refroidisseur à étoile	36FC101B	1	0	2	1	0
Electro filtre humide	36LG101C	1	1	2	1	2
Electro filtre humide	36LG101D	1	1	2	1	2
Tour de séchage	37FS102	1	1	2	1	2
Echangeur à froid E102 A	37FT 102A	0	0	2	1	0
Echangeur à froid E 102 B	37FT102B	0	0	2	1	0
Echangeur à chaud E103	37FT103	0	0	2	1	0
Echangeur à chaud E105	37FT 105	0	0	2	1	0
Tour de catalyse	37 LS 104	0	0	2	1	0
Absorbeur	37LT101	2	2	2	2	16
Cuve acide 98%	37CC 102	3	2	3	1	18
Refroidisseur acide 98%	37CC102	3	1	2	1	6
Cheminée principale	34C1-101	3	2	3	2	36
Broyeur à boulets	35LD0 I		1	2	1	2
Transporteur Redler simple	35JX04	3	2	3	2	36
Silo de stockage de ZnO	38CZ102A	3	2	3	2	36
Silo de stockage de ZnO	38CZ102B	3	2	3	2	32
<b>Ventilateur de démarrage M26</b>	<b>320001</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Ventilateur intermédiaire M30</b>	<b>32VC02</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Ventilateur principale K102</b>	<b>37VC102</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
Pompes de système de lavage de gaz	8PC107A	2	2	1	2	8
Décanteur	38CZ103	3	2	2	3	36

Tableau 4.2. Équipements à incidence directe critique de l'atelier grillage.

A partir de ce tableau nous remarquons que les ventilateurs M30, M26, K102 sont les plus critiques.

### 4.6. Présentation des machines critiques

#### 4.6.1. Définition de ventilateur

Le ventilateur est une turbomachine, comportant une ou plusieurs roues autour d'un axe, entraînée par une puissance mécanique primaire qui lui est transmise. Il entretient

## CHAPITRE 4 : Application de l'AMDEC dans une entreprise Algérienne de production.

l'écoulement d'un fluide gazeux qui reçoit ainsi, en le traversant, une puissance mécanique utilisable (puissance utile) correspondant à un travail réel.

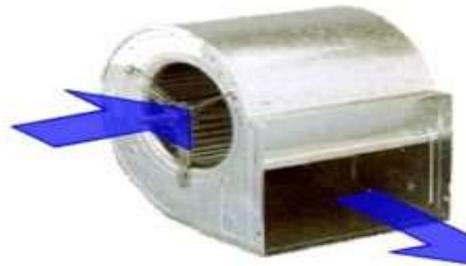
Il existe deux types de ventilateur

-Les ventilateurs axiaux ou hélicoïdes aspirent et propulsent l'air parallèlement à l'axe de rotation du ventilateur.

-Les ventilateurs radiaux ou centrifuges aspirent l'air parallèlement à l'axe de rotation et propulsent par force centrifuge perpendiculairement à ce même axe. Il existe des ventilateurs à aubes recourbées vers l'avant (à aubes avant), à aubes recourbées vers l'arrière (à aubes arrière) ou à aubes radiales. Il existe aussi des ventilateurs centrifuges à deux ouïes d'aspiration. Ces roues plus larges, parfois composées de deux roues simple ouïe accolées, aspirent l'air de chaque côté de la roue.



**ventilateur axial**



**ventilateur radial**

Figure 4.7. Types des ventilateurs en fonction de la direction de l'air pulsé. [33]

Il existe des ventilateurs centrifuges :

-"**A aubes inclinées vers l'avant**", appelés aussi "à action" ou "en cage d'écureuil". La roue de ces ventilateurs comprend un nombre important d'aubes de faible hauteur. Elles sont inclinées dans le sens de rotation de la roue.

-"**A aubes inclinées vers l'arrière**", appelés aussi "à réaction". La roue de ces ventilateurs comprend un nombre réduit d'aubes de plus grande hauteur. Elles sont inclinées dans le sens inverse de la rotation de la roue.

-"**A aubes radiales**", La roue de ces ventilateurs est composée d'aubes droites. Ce dernier type de ventilateur a un très mauvais rendement et peu utilisé dans les installations de ventilation et de conditionnement d'air. Etant, de par sa forme, relativement insensible à l'encrassement, on l'utilise principalement dans l'industrie pour assurer le transport pneumatique de produits légers comme les copeaux, les poussières, ...

## CHAPITRE 4 : Application de l'AMDEC dans une entreprise Algérienne de production.

Dans ce mémoire on a étudié trois (03) ventilateurs de type centrifuge à entraînement par accouplement qui s'ajoutent dans le service de production. (Tableau 4.3)

Machine	Fonction	Vitesse de rotation de la roue (tr/mn)	Diamètre extérieur (mm)	Poids (kg)	Type de la roue
Ventilateur de démarrage (M26)	Aspiré l'air de l'atmosphère et injecter dans le four de grillage	3000	1200	180	Aube inclinée vers l'avant
Ventilateur intermédiaire (M30)	- aspiré les gaz de four	1000	1880	600	Aube radiale
Ventilateur principale (K102)	aspiré le gaz SO <sub>2</sub> du tour de séchage	3000	1574.8	1680	Aube radiale

Tableau 4.3. Description des ventilateurs



Figure 4.8. Photo de ventilateur M30.

CHAPITRE 4 : Application de l'AMDEC dans une entreprise Algérienne de production.

---



Figure 4.9. Photo de ventilateur K102.



Figure 4.10. Photo de ventilateur M26.

## CHAPITRE 4 : Application de l'AMDEC dans une entreprise Algérienne de production.



**Roue K102**

**Roue M26**

**Roue M30**

Figure 4.11. Photos des roues.

### 4.6.2. Composants des ventilateurs

Les trois (03) ventilateurs sont composés presque des mêmes éléments (figure 4.12).

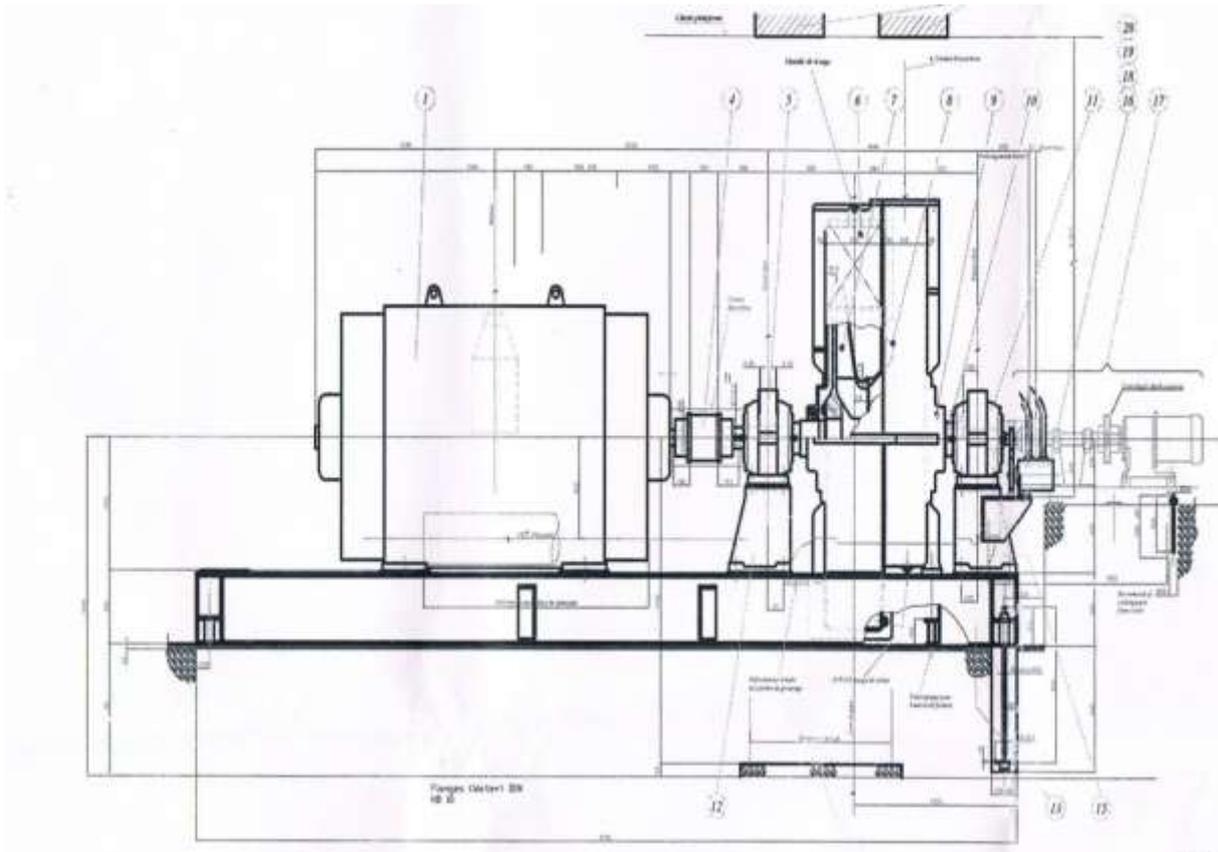


Figure 4.12. Schéma d'assemblage de système du ventilateur K102.

## CHAPITRE 4 : Application de l'AMDEC dans une entreprise Algérienne de production.

1	20	Courroie dentée Fenner 510L 17 1/2 " centres
1	19	Toothed pulley Fenner 48L 100 2 1/2 " taderlock buch 1610
1	18	Toothed pulley Fenner 40L 100 2 1/2 " bore
1	17	Transmission auxiliaire type crofft 3.75 kw
1	16	Pompe d'huile avec transmission par arbre
1	15	Cast iron support bracket, pattern N° 51289/2
1	14	Réservoir à huile et système de graissage
1	13	Assure de liaison acier sous montage du ventilateur
1	12	Cast iron support bracket, pattern N° 51289/1
1	11	Palier Sirocco H.S.S.S. pumo lub 4 1/2 " Ø
1	10	Arbre
2	9	Presse étoupe (Double carbone)
1	8	Aspiration (Fonte)
1	7	Turbine avec cone profilé
1	6	Ventilateur en fonte et enveloppé d'aspiration
1	5	Palier Sirocco H.S.S.S. pumo lub 4 1/2 " Ø
1	4	Accouplement flexibox METASTREAM series T24
1	1	Moteur Siemens 800Kw 2970 R.P.M. type 1LA 3334
<b>Qté</b>	<b>Item</b>	<b>Description</b>

Tableau 4.4. Nomenclatures des éléments du ventilateur.

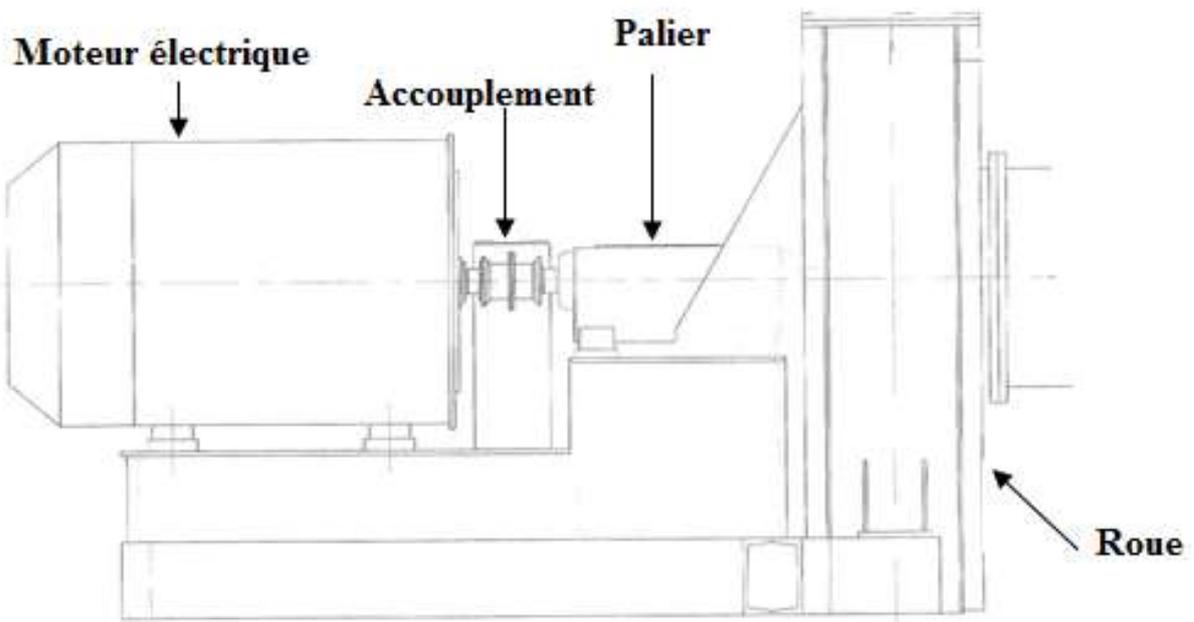


Figure 4.13. Schéma d'assemblage de système du ventilateur M30 et M26.

## 4.7. Analyse fonctionnelle des ventilateurs

### 4.7.1. Décomposition fonctionnelle

On a décomposé le système en quatre (04) sous systèmes pour le ventilateur K102 et cinq (05) sous systèmes pour les ventilateurs M30 et M26. (Figure 4.15 et 4.15).

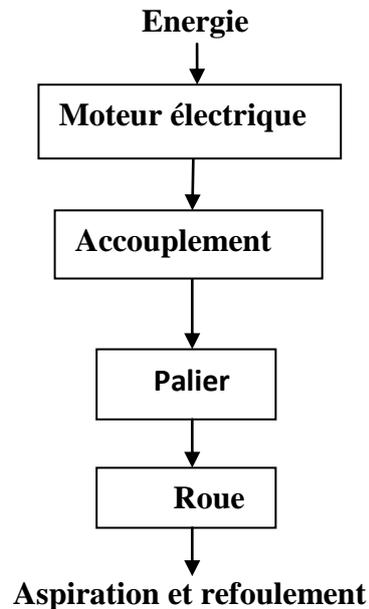


Figure 4.14. Décomposition fonctionnelle du ventilateur M30 et M26.

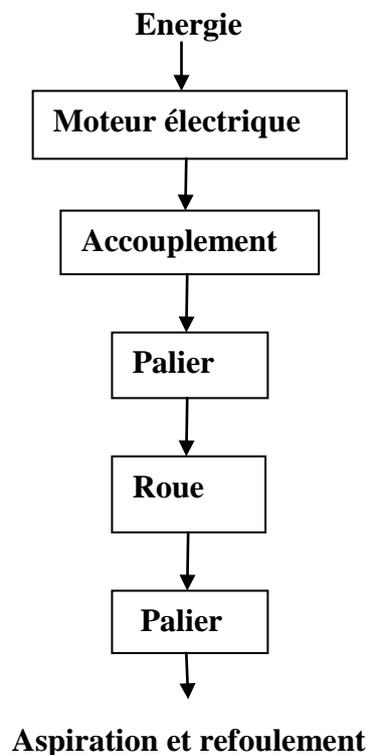


Figure 4.15. Décomposition fonctionnelle du ventilateur K102.

## CHAPITRE 4 : Application de l'AMDEC dans une entreprise Algérienne de production.

Les trois (03) ventilateurs ont les mêmes éléments sauf le ventilateur K102 qui est composé d'un palier en plus, ajoute après la roue. L'analyse fonctionnelle à été réalisée seulement sur le ventilateur K102.

La méthode de modélisation fonctionnelle développée se compose de deux (02) parties :

### 4.7.2. Analyse fonctionnelle externe

Dans cette partie, nous avons défini et analysé le besoin auquel devra répondre le ventilateur les fonctions de service qu'elle devra remplir, les contraintes auxquelles elle sera soumise pour cela on a utilisé deux (02) outils:

#### 4.7.2.1. Bête à corne

Cet outil nous a aidé à définir le besoin auquel répond les ventilateurs, Pour cela on s'est posé les trois (03) questions suivantes :

- A qui, à quoi le ventilateur rend-il service ?

Mécanicien

- Sur qui, sur quoi agit-il ?

Donner l'air

- Dans quel but ?

Dans le but d'aspirer et propulser l'air.

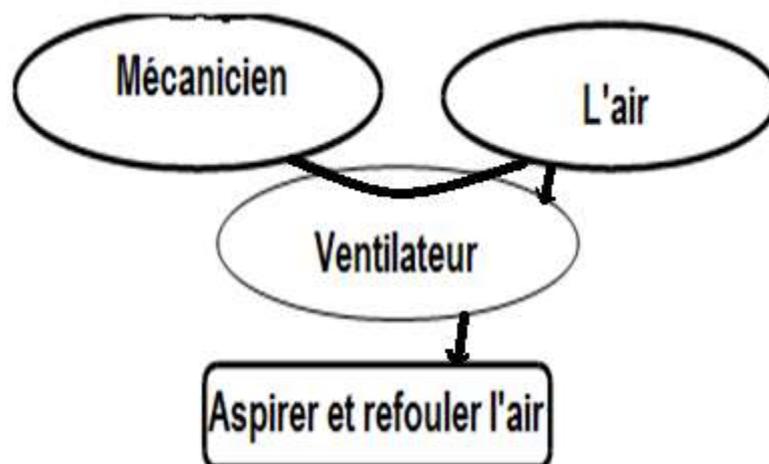


Figure 4.16. Bête à corne appliquée aux ventilateurs.

La validation du besoin est une phase d'étude qui consiste à vérifier si le besoin, tel qu'il a été défini, ne risque pas d'être modifié ou annulé à plus ou moins long terme.

#### 4.7.2.2. Pieuvre

## CHAPITRE 4 : Application de l'AMDEC dans une entreprise Algérienne de production.

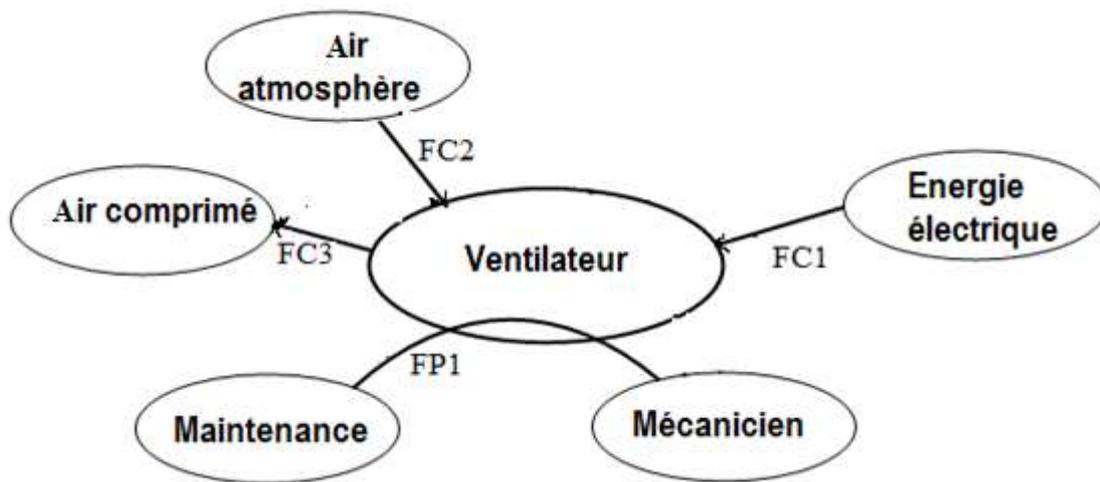


Figure 4.17. Pieuvre appliquée au ventilateur.

FP1 : Faire la maintenance de ventilateur.

FC1 : Etre alimenté en énergie électrique.

FC2 : Aspirer l'air.

FC3 : Créer un courant d'air comprimé.

### 4.7.3. Analyse fonctionnelle interne

Cette analyse nous a aidés à comprendre comment fonctionne le ventilateur, et à choisir les solutions techniques.

Pour cela on a dégagé chaque fonction technique principale et complémentaire et on a matérialisé les concepts de solutions techniques à l'aide d'outil de description FAST.

#### **Outils FAST (Function Analysis System Technic)**

Nous avons appliqué l'outil F.A.S.T. à la machine en suivant la démarche présentée dans la (figure 4.18).

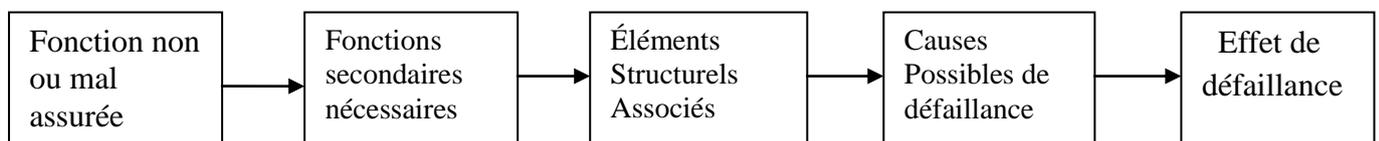


Figure 4.18. Démarche de construction du FAST. [22].

Nous avons commencé par la recherche de la fonction non ou mal assurée « aspiration et refoulement de l'air, ensuite on a dégagé les fonctions secondaires nécessaires à cette production (générer l'énergie, assurer transmission, crée une turbulence), ensuite, on a affecté chaque fonction secondaire à son élément structurel associé, pour chaque élément structurel

## CHAPITRE 4 : Application de l'AMDEC dans une entreprise Algérienne de production.

---

associés on a cherché les cause possible de défaillance, et enfin, on a défini les effets et symptômes causés par cette fonction défaillante. Cette description fonctionnelle est représentée sous forme d'un arbre, comme le montre la (Figure 4.19) :

## CHAPITRE 4 : Application de l'AMDEC dans une entreprise Algérienne de production.

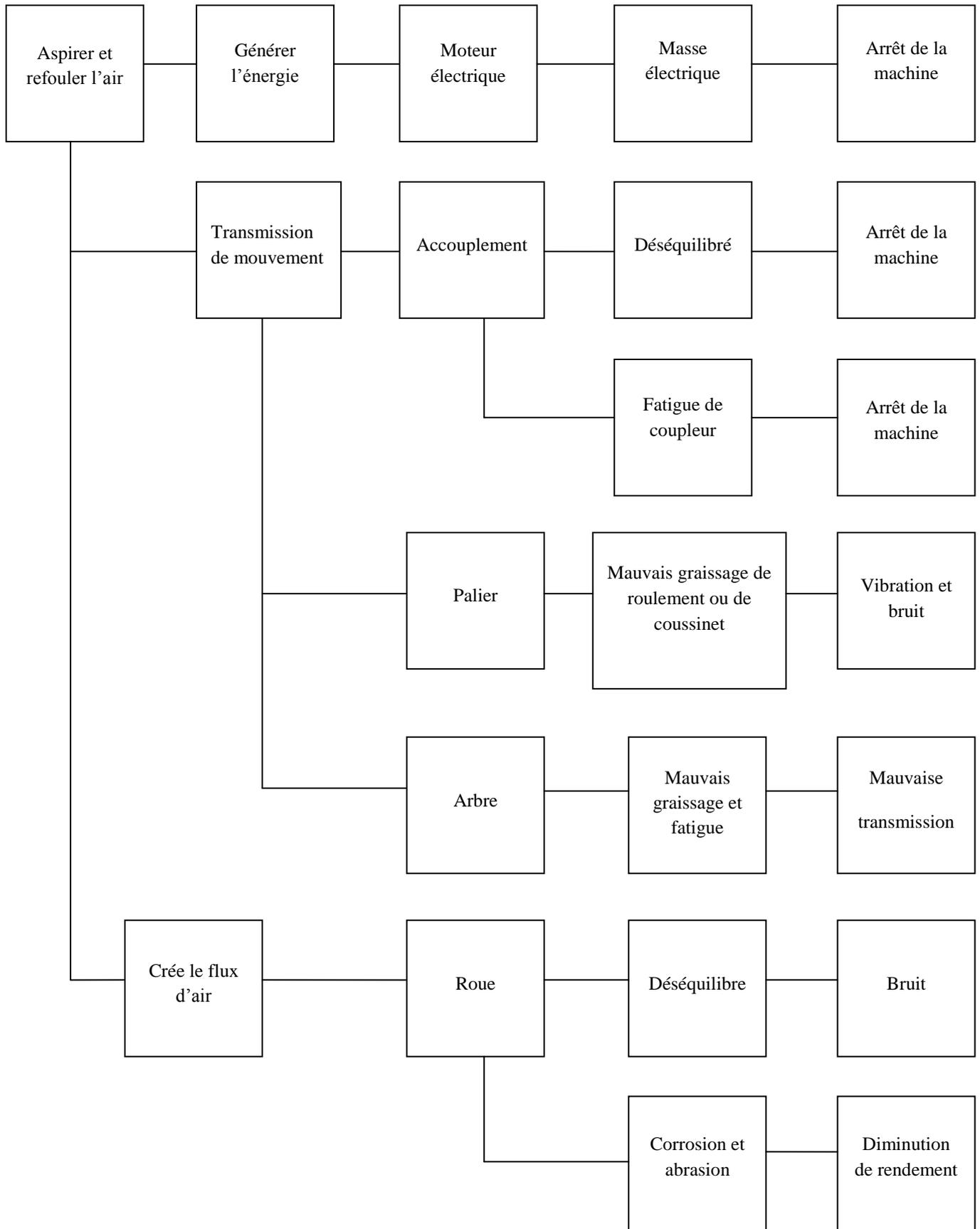


Figure 4.19. Diagramme FAST.

## CHAPITRE 4 : Application de l'AMDEC dans une entreprise Algérienne de production.

### 4.8. Analyse dysfonctionnelle

Pour la réalisation de l'analyse dysfonctionnelle nous avons emprunté deux (02) méthodes (inductive: AMDEC / déductive : arbre de défaillance).

#### 4.8.1. Méthode AMDEC

L'analyse AMDEC on la effectuée en groupe de travail comprenant: les responsables de service de grillage, un étudiant. Pour cela Des réunions de travail ont été nécessaires. Dans ces réunions on a validé l'analyse dysfonctionnelle, et on a mis au point le barème de cotation des trois (03) critères et les criticités.

##### 4.8.1.1. Tableaux de l'AMDEC

###### -Ventilateur intermédiaire M30

Eléments	Fonction	Défaillance	Causes	F	G	D	C
Accouplement	-Transmission de mouvement de moteur à la roue	-Usure/cassure -vibration	-Fatigue -Déséquilibre	2	2	3	12
Roue	-Aspiration de gaz SO <sub>2</sub> de sortie four à tour de lavage	-Usure -vibration	-Corrosion -Déséquilibre	1	4	4	16
Coupleur	-Transmission de mouvement de moteur à la roue	-Usure/cassure -Vibration	-Fatigue -Déséquilibre	2	3	2	12
Palier	-Porter le roulement	-Fissure	-Mauvais graissage -Male aligné	1	4	3	12
Arbre	-Porter la roue et l'accouplement	-Usure/cassure	-Mauvais graissage -Fatigue	1	4	4	16
Roulement	-Guider l'arbre en rotation et faciliter transmission de mouvement	-Usure/cassure	-Mauvais graissage -fatigue	1	4	3	12
Joint compensateur aspiration	-Relie le ventilateur et la conduite de gaz	-Détérioration	-Fatigue	2	1	1	2
Joint compensateur refoulement	-Relie le ventilateur et la conduite de gaz	-Détérioration	-Fatigue	2	1	1	2

Tableau 4.5. Application d'AMDEC sur ventilateur M30.

## CHAPITRE 4 : Application de l'AMDEC dans une entreprise Algérienne de production.

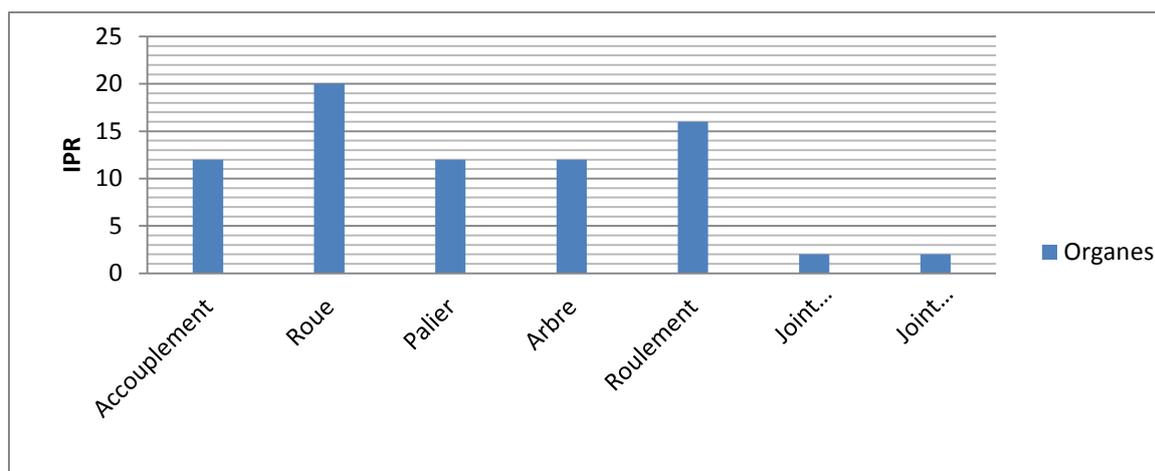


Figure 4.20. Histogramme de criticité du ventilateur M30

### -Ventilateur de démarrage M26

Eléments	Fonction	Mode de défaillance	Causes	F	G	D	C
Accouplement	-Transmission de mouvement de moteur à la roue	-Usure/cassure -Vibration	-Fatigue -Déséquilibre	2	2	3	12
Roue	-Aspiration de gaz atmosphérique pour alimenter le four	-Usure -Vibration	-Corrosion -Déséquilibre	1	4	4	16
Coupleur	-Transmission de mouvement de moteur à la roue	-Usure/cassure -Vibration	-Fatigue -Déséquilibre	2	3	2	12
Palier	-Porter le roulement	-Fissure	-Mauvaise graissage -Male aligné	1	4	3	12
Arbre	-Porter la roue et l'accouplement	-Usure/cassure	-Mauvaise graissage -Fatigue	1	4	4	16
Roulement	-Guider l'arbre en rotation facilité transmission de mouvement	-Usure/cassure	-Mauvaise graissage -Fatigue	1	4	3	12
Joint compensateur aspiration	-Relie le ventilateur et la conduite de gaz	-Détérioration	-Fatigue	2	1	1	2
Joint compensateur refoulement	-Relie le ventilateur et la conduite de gaz	-Détérioration	-Fatigue	2	1	1	2

Tableau 4.6. Application de l'AMDEC sur ventilateur M26

## CHAPITRE 4 : Application de l'AMDEC dans une entreprise Algérienne de production.

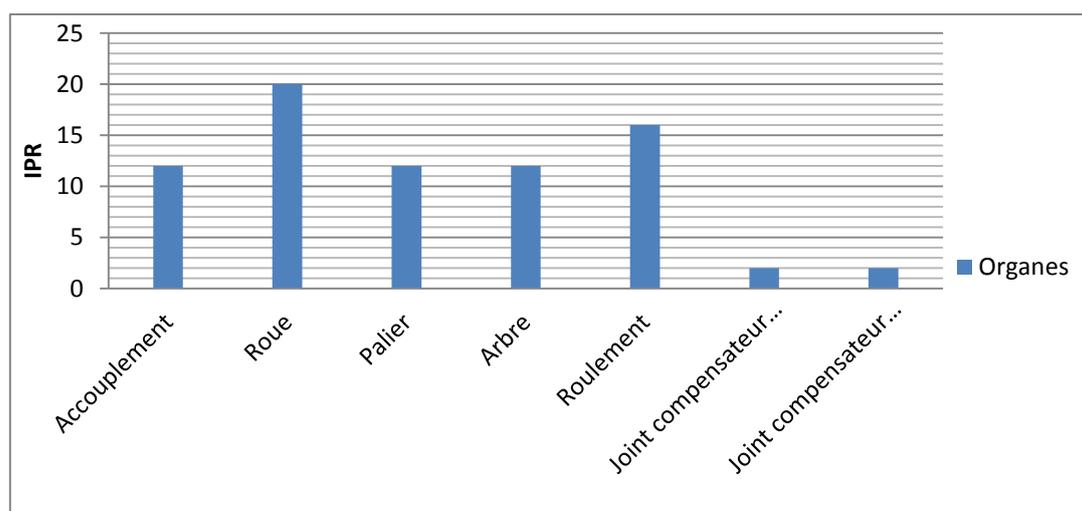


Figure 4.21. Histogramme de criticité du ventilateur M26

### -Ventilateur principal K102

Eléments	Fonction	Défaillance	Causes	F	G	D	C
Accouplement	-Transmission de mouvement de moteur à la roue	-Usure/cassure -Vibration	-Fatigue -Déséquilibre	2	2	3	12
Roue	-Aspiration de gaz SO <sub>2</sub> et dégager vers atmosphère	Usure -Vibration	-Corrosion -Abrasion -Déséquilibre	1	4	4	16
Palier cote roue	-Porter la roue qui remplace les roulements	-Usure de coussinet	-Mauvaise graissage -Fatigue	1	4	3	12
Palier cote moteur	-Porter la roue qui remplace les roulements	-Usure de coussinet	-Mauvaise graissage -Fatigue	1	4	3	12
Joint de carbone	-Etanchéité de gaz	-Usure/cassure	-Fatigue	2	2	1	4
Refroidisseur d'huile de palier	-Refroidisse l'huile de palier avec l'eau de mer	-Bouchage des tubes -Usure	-Le déchet à l'eau de mer -Fatigue	2	2	2	8

Tableau 4.7. Application de l'AMDEC sur ventilateur K102

## CHAPITRE 4 : Application de l'AMDEC dans une entreprise Algérienne de production.

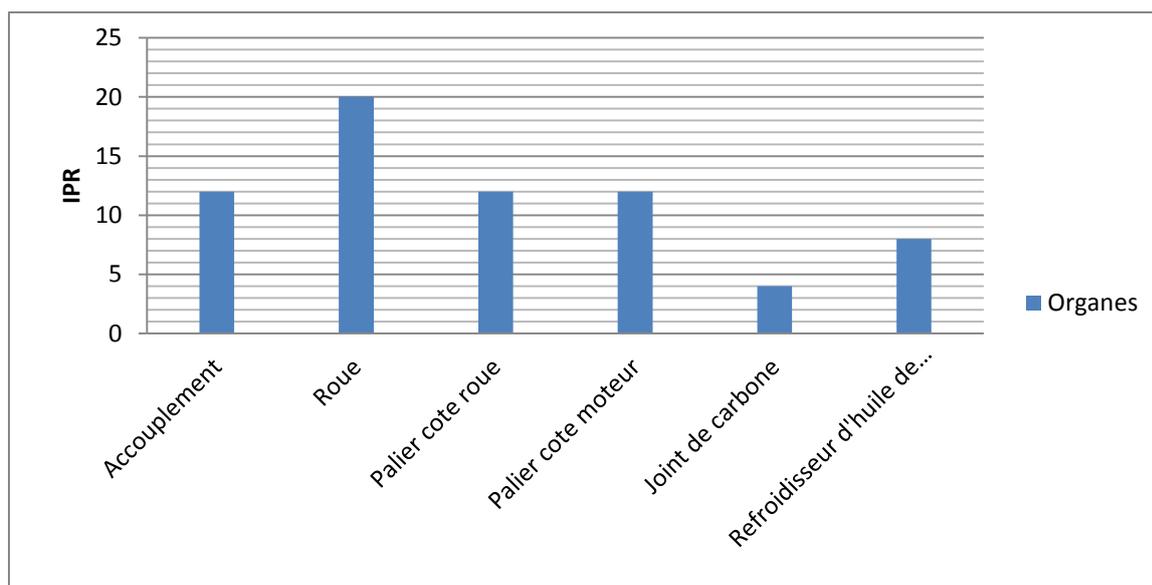


Figure 4.22. Histogramme de criticité du ventilateur K102

### 4.8.2. Actions correctives

Élément	Défaillance	Effet	Action corrective
Accouplement	-Usure/cassure -Vibration	-Vibration -Arrêt de ventilateur	-changement d'accouplement -Serrage de système de fixation
Palier	-Usure de coussinet ou de roulement	-Vibration -Mauvaise transmission	-Changement de coussinet et de roulement
Coupleur	-Usure/cassure -Vibration	-Mauvaise transmission -Arrêt de moteur	-Changement de coupleur
Roulement	-Usure/cassure	-Perte de performance -Mauvaise transmission	-Diminution de la vibration -Lubrification régulière
Roue	-Usure -Vibration	-Diminution de rendement -Bruit	-Vérification de l'alignement -Nettoyage de la roue -Changement de la roue
Arbre	-Usure/cassure	-Mauvaise transmission -Bruit	-Vérification de l'alignement -Vérification de système de la fixation
Joint	-Détérioration	-Fuite	-Changement de joint

Tableau 4.8. Actions correctives.

## CHAPITRE 4 : Application de l'AMDEC dans une entreprise Algérienne de production.

---

L'alignement joue un rôle prépondérant sur la durée de vie des éléments d'une transmission. Un mauvais alignement des arbres, produit un effort sur l'accouplement et les roulements de l'arbre du moteur et du réducteur provoquant leur détérioration.

### **4.9. Méthode de l'arbre de défaillance (causes et effets)**

Nous avons construit l'arbre de défaillance en partant de l'événement redouté (arrêt de la machine), ensuite on a établi les événements intermédiaires (panne mécanique, panne électrique), et dans chaque événement intermédiaire on a défini l'événement élémentaire.

## CHAPITRE 4 : Application de l'AMDEC dans une entreprise Algérienne de production.

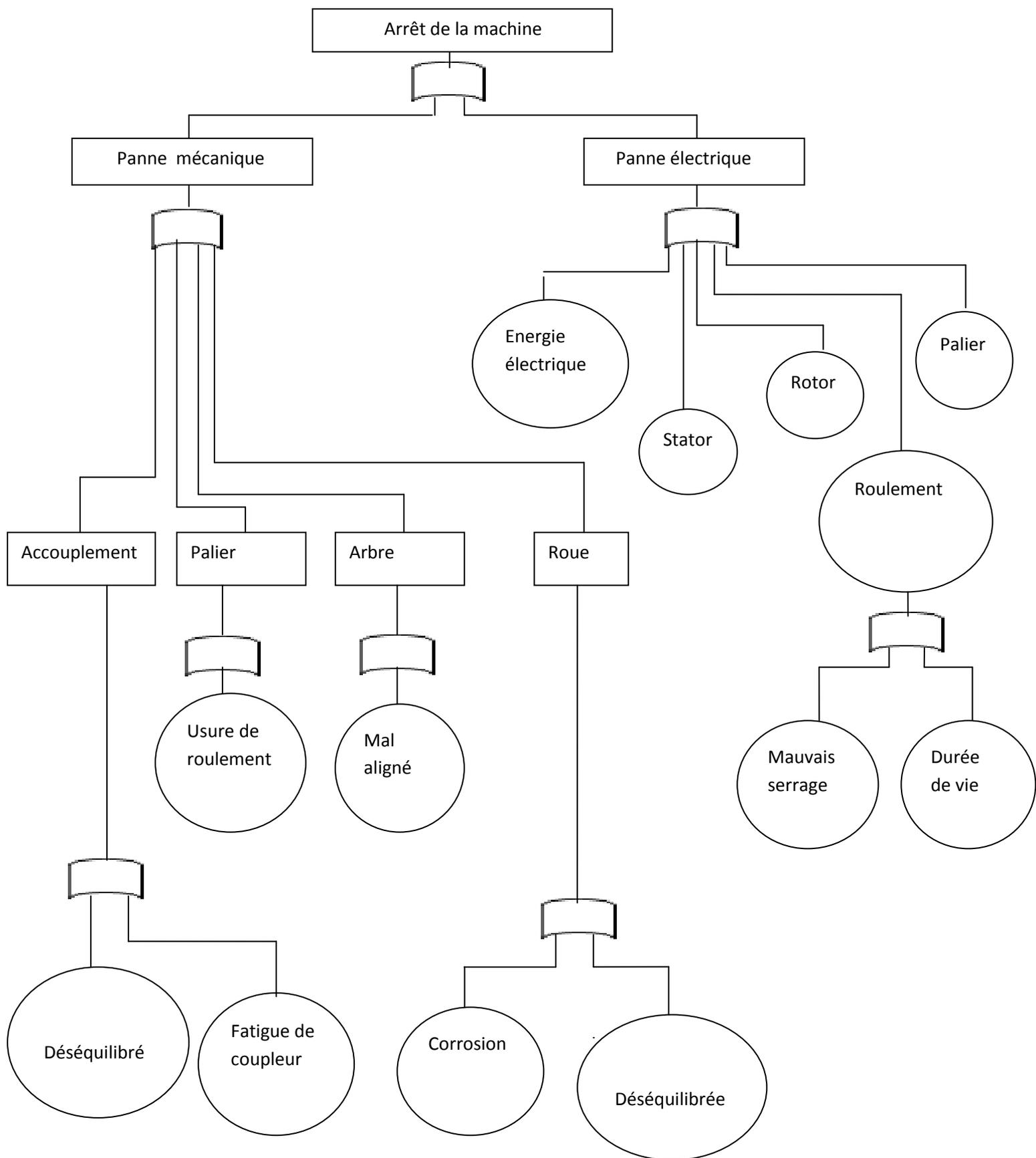


Figure 4.23. Arbre de défaillance du ventilateur M26.

## CHAPITRE 4 : Application de l'AMDEC dans une entreprise Algérienne de production.

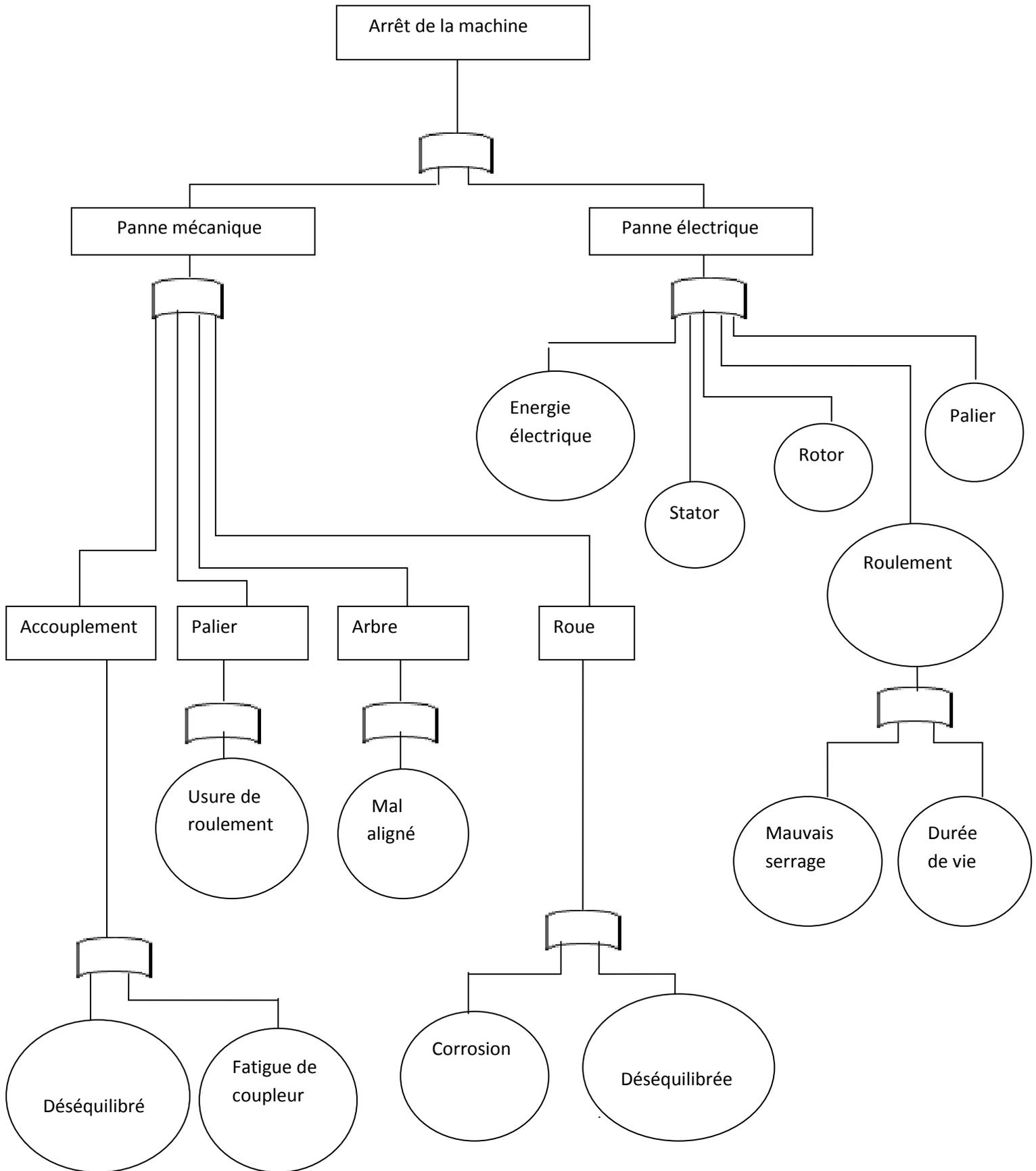


Figure 4.24. Arbre de défaillance du ventilateur M30.

## CHAPITRE 4 : Application de l'AMDEC dans une entreprise Algérienne de production.

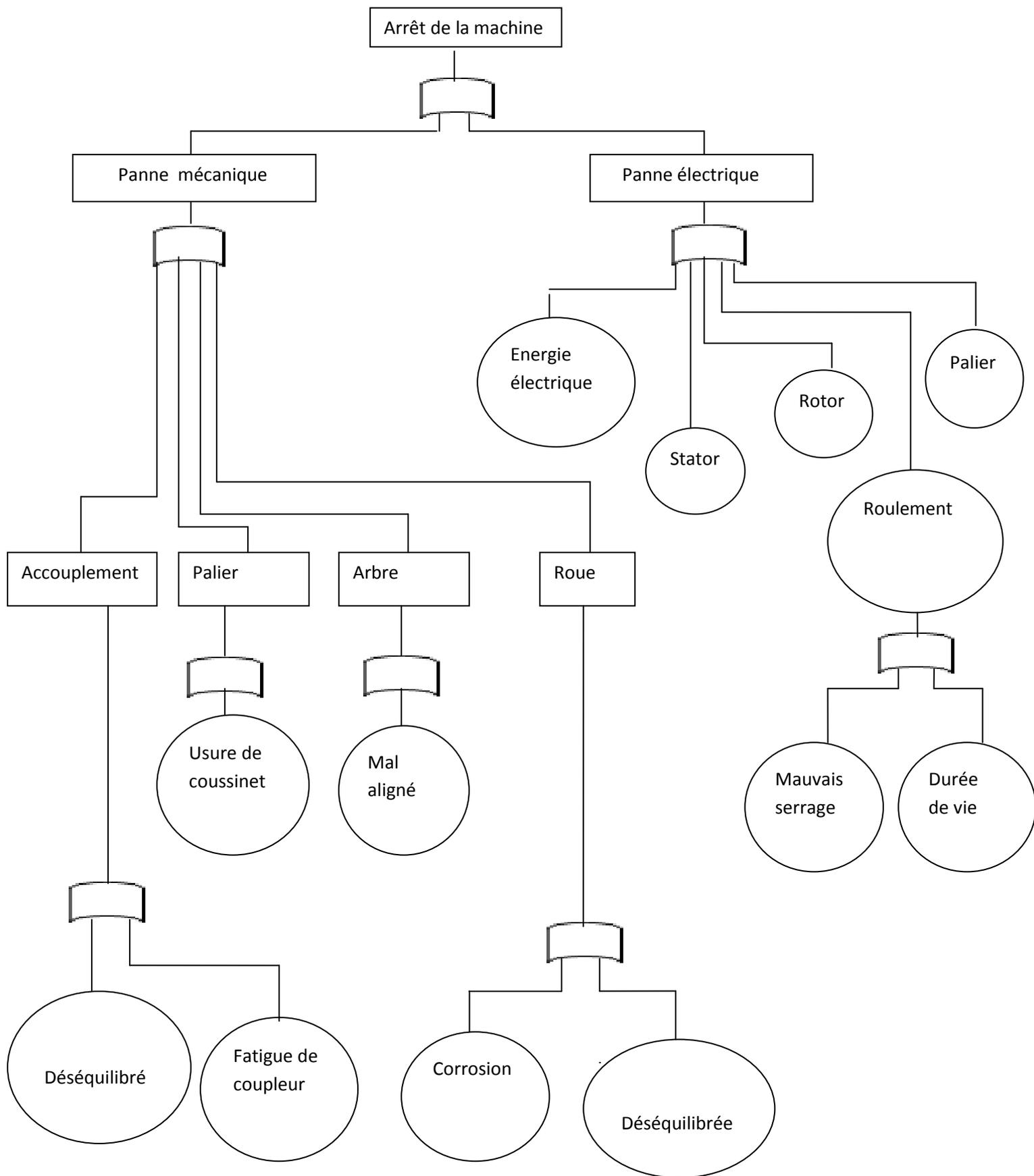


Figure 4.25. Arbre de défaillance du ventilateur K102.

## CHAPITRE 4 : Application de l'AMDEC dans une entreprise Algérienne de production.

---

### **4.10. Problèmes de performance**

La liste présentée ci-dessous signale les zones pouvant être contrôlées lorsque les valeurs relatives à l'air ou au bruit ne correspondent pas aux attentes. La majeure partie des problèmes de ventilateur est due à l'une de ces raisons courantes.

#### **4.10.1. Problèmes de capacité d'air**

1. La résistance du système n'est pas conforme à sa conception. Si la résistance du système est inférieure à celle prévue, il est possible que le débit d'air et la puissance en chevaux soient trop élevés. Si la résistance est supérieure à celle prévue, le volume d'air est trop faible.
2. La vitesse du ventilateur ne correspond pas à sa conception.
3. La densité d'air ne correspond pas aux valeurs de conception. Vérifiez également les procédures/techniques de mesure de la performance de l'air.
4. Les dispositifs de régulation de l'air sont fermes ou obstrués. Vérifiez également les filtres.
5. La roue n'est pas correctement montée ou tourne en sens inverse.
6. Certaines pièces du système ou du ventilateur ont été endommagées ou ont besoin d'être nettoyées.

#### **4.10.2. Problèmes de bruit**

1. La performance de l'air est incorrecte et le ventilateur ne fonctionne pas à la capacité pour laquelle il a été conçu. Le ventilateur doit fonctionner dans une zone d'écoulement instable.
2. Défaillance de palier. Vérifiez les paliers (lubrification).
3. La tension d'alimentation est élevée ou la fréquence d'alimentation est incohérente. Les mécanismes régulateurs de fréquence peuvent être la cause d'un bruit produit par le moteur.
4. Les objets installés dans un écoulement d'air à haute vitesse peuvent produire du bruit. Ces objets comprennent les capteurs d'écoulement, les aubes directrices.
5. Mauvais état de l'entrée du ventilateur.
6. La procédure de mesure de l'acoustique ou du son est incorrecte.

#### **4.10.3. Problèmes de vibrations**

1. Mauvais alignement des éléments d'entraînement.
2. Mauvaises bases ou structure de montage (résonances).
3. Matériau étranger fixe aux éléments de rotation.
4. Eléments de rotation endommagés (paliers, arbre, ventilateur, roue, poulies).
5. Vis sans tête cassées, desserrées ou manquantes.
6. Boulons desserrés.

## CHAPITRE 4 : Application de l'AMDEC dans une entreprise Algérienne de production.

---

7. Vibration transmise par une autre source.

8. Le ventilateur fonctionne dans une zone sans écoulement ou avec un écoulement d'air instable.

### **4.10.4. Problèmes de moteur**

1. Câblage incorrect.

2. Vitesse du ventilateur trop élevée.

3. Pièces mal installées-agrégation.

4. Paliers mal lubrifiés.

5. Capacité du moteur trop faible pour l'application.

6. Dispositifs de protection mal étalonnés.

### **4.10.5. Problèmes d'entraînement**

1. Accouplement déséquilibré

2. Mauvais alignement de l'entraînement.

## **Conclusion**

Le travail décrit dans ce chapitre nous a permis d'analyser les types des défaillances pour le bon fonctionnement dans l'entreprise Alzinc. Le choix de notre étude s'est porté sur l'atelier de grillage à partir du dossier historique. Ensuite on a choisi les ventilateurs M26, M30, K102 comme des équipements des plus critiques. Nous avons commencé par la décomposition fonctionnelle et l'analyse fonctionnelle des ventilateurs, cela nous a permis de déduire les sous systèmes qui composent les ventilateurs, ensuite nous avons appliqué l'AMDEC qui a permis de recenser systématiquement les défaillances potentielles des ventilateurs pour estimer les risques liés à l'apparition de ces défaillances, puis nous avons utilisé l'arbre de défaillance qui a permis de représenter graphiquement les combinaisons des événements.

## **Conclusion générale**

L'objectif de ce travail nous a permis d'étudier l'optimisation de maintenance par la méthode AMDEC.

Le travail de recherche présenté dans ce mémoire porte sur l'étude de la surveillance et le diagnostic des machines industrielles, pour minimiser au maximum les fausses alertes et détecter toute dégradation avant que le système n'atteigne le seuil de défaillance.

L'AMDEC est une démarche logique et de bon sens. En admettant qu'aucun système n'est infaillible, elle consiste à identifier, décrire, évaluer les risques qui découlent des défaillances. Bien structurée, l'AMDEC permet d'atteindre cet objectif en confiance et d'optimiser la maintenance.

Elle devrait accompagner la vie de tout système conçu et réalisé du cerveau et des mains de l'homme.

Enfin, nous souhaitons que d'autres études soient effectuées à l'aide d'autres méthodes d'optimisation de maintenance, en faisant toujours appel à la méthode AMDEC si nécessaire.

## **Bibliographie**

- [1] AUBREVILLE Jean- Marie. Maintenance industrielle se l'entretien de base à l'opération de la sureté, Edition ellipse paris 2004.
- [2] BELFARHI Nedjoua. Conception d'un outil d'aide à la détection des défaillances dans un système de production. Thèse de magister, université Hadjlahdar-Batna, 2011-2012.
- [3] BENISSAAD Ismail. Maintenance industrielle, année universitaire 2007-2008.
- [4] BOITEL Daniel et HAZARD Claude. Guide pratique de la maintenance, entretien manuels d'enseignements. Edition Nathan cop Paris 1987.
- [5] BUFFERNE jean. La TPM un système de production, Technologie (SCEREN - CNDP) – Revue Française de gestion Industrielle, Paris 2008.
- [6] CHAPOUILLE Pierre. Fiabilité, Maintenabilité, Techniques de l'Ingénieur, T 4300, 2007.
- [7] CHATELET Jean-Marie. Méthodes productique et qualité, Edition ellipses Paris 1996.
- [8] DOUAIMI Zakaria. Optimisation de la maintenance par l'AMDEC, mémoire de master université Aboubekr Belkaid Tlemcen 2014.
- [9] FAUCHER jean. Pratique de l'AMDEC assurez la qualité de fonctionnement de vos produits, équipements et procédés, Edition Dunod Paris 2004.
- [10] GHERNAOUT Chakib, BOUKLATA Mohammed. Développement d'outil d'aide au diagnostic. Application au banc « simulateur de panne machine frigorifique ET'422 », mémoire de master en génie énergétique université de Tlemcen Aboubacker Belkaid 2014.
- [11] GHOMARI S.MAMI E.F. "Qualité et normes ISO –Actes de symposium international sur la qualité et maintenance au service de l'entreprise Tome 1-Qualima 01 Université Abou bekr Belkaid Tlemcen 21 et 22 novembre 2004.
- [12]GRAFF Jean-Pierre. Dossier n°3 La méthodologie AMDEC, CRTA Avignon 2004.

[13] HERROU Ibrahim. GHORBA Mohammed, L'AMDEC un outil puissant d'optimisation de la maintenance, application à un motocompresseur d'une PME marocaine, Ecole Nationale Supérieure d'Electricité et de Mécanique, Casablanca Maroc 2005.

[14] HOUHOU Mourad. Évaluation de la fiabilité et de la disponibilité des systèmes mécaniques par la méthodologie Arde Bayes. Maintenance Industrielle mémoire de magister université Mohammed Boughara Boumerdes 2011/2012.

[15] KADI Daoud Ait. Maintenance et qualité, département du génie mécanique, université Laval, CANADA, 2007.

[16] KEBBAB Toufik, AYAD Mohammed. Application de l'AMDEC sur l'extracteur de fumée de l'Entreprise Nationale de la Pétrochimie ENIP, mémoire de master 2008/2009.

[17] KELADA Joseph. La méthode AMDEC, école des hautes études commerciales Casablanca Maroc 1998.

[18] KHALAF Alahmad. Systèmes de contrôle de la qualité de production méthodologie de modélisation, de pilotage et d'optimisation des systèmes de production, thèse de doctorat en génie Industriel, université Paul Verlaine de Metz 2008.

[19] LAIR William. Modélisation dynamique de systèmes complexes pour le calcul de grandeurs fiabilistes et l'optimisation de la maintenance, thèse de doctorat de spécialité mathématique, l'université de Pau et des Pays de l'Adour.

[20] LANDY Gérard. L'AMDEC guide pratique ,2<sup>e</sup> édition AFNOR Paris 2007.

[21] LAVINA Y, PERRUCHE E, Maintenance et assurance qualité. Edition d'organisation, Paris 1998.

[22] LYONNET Patrick. La maintenance- mathématiques et méthodes, Edition technologique et documentation Lavoisier& Paris 1992.

[23] MONCHY François. Maintenance, Méthode et Organisation, édition "Usine Nouvelle", Paris 2004.

[24]MORTUREUX Yves. AMDE(C), Techniques de l'Ingénieur [se4040], Paris France.

[25] OTMANI Abdeslam. Contribution à l'étude de rénovation de la station de pompage d'eau de mer ALZINC Ghazaouet, mémoire de master en Génie Energétique, université Abou Backer Belkaid Tlemcen, 2014.

[26] RIDOUX Michel. AMDEC- Moyen Techniques de l'ingénieur, AG4220, Paris France 1999.

[27] SAGGADI Samira. Optimisation des temps d'attente des systèmes flexible de production basée sur les réseaux de Pétri ; mémoire de magister en maintenance des systèmes mécaniques, université de Boumerdes 2007.

[28] TEKKOUK Nazih. Analyse et simulation d'une cellule flexible de production par les réseaux de Pétri, mémoire de magister de l'université de Boumerdes, 2007.

[29] ZILLE Valérie. Modélisation et évaluation des stratégies de maintenance complexes sur des systèmes multi-composantes, thèse de doctorat, université de Technologie, Troyes 2009.

## **Sites internet**

[30] <http://www.hubertfaigner.com/articles>, html.

[31] <http://www.directive.fr/articles/BPR>, html.

[32] <http://www.carmat.info/methode-amdec-30>, html.

[33] <http://www.autonlab.org/tutorials/bayesnet>, html.

[34] [http://www.tn.refer.org/hebergement/cours/sys\\_disc/notions\\_de\\_base\\_RdP](http://www.tn.refer.org/hebergement/cours/sys_disc/notions_de_base_RdP), html.

[35] <https://www.google.dz/fx6DU7zaOsXe7Aakarbre+de+d%C3%defaillance>, pdf.

[36] LAURENT Franck.

[https://www.google.dz/webhp?tab=ww&ei=gx6DUqwJIWf7gaMo4GoBA&ved=0CBAQ1S4#q=icms2\\_surete\\_de\\_fonctionnement](https://www.google.dz/webhp?tab=ww&ei=gx6DUqwJIWf7gaMo4GoBA&ved=0CBAQ1S4#q=icms2_surete_de_fonctionnement), pdf.

[37] <http://www.labri.fr/perso/vincent/Research/V-CRVMAR-2003>, pdf.



**ANNEXE A – Photo du ventilateur M30.**



**ANNEXE B– Photo du ventilateur K102**



**ANNEXE C – Photo du ventilateur M26.**



**ANNEXE D – Photo de la roue du ventilateur central K102**



**ANNEXE E – Photos de la roue du ventilateur M30.**



**ANNEXE F – Photos de la roue du ventilateur M26.**

## ANNEXE G - Gammes de maintenance préventive

### Ventilateur de démarrage M26

Eléments, composants	S	C	Critère d'acceptation si C	Fréquences P/S=Remplacement. Systématique/C= contrôles pour statuer sur le besoin de remplacement
Accouplement		X	-Coaxialité $\geq 3/100$ -Tampons usés	03 mois ou chaque arrêt de l'installation -Alignement -Changement de tampons
Roue	X			Chaque 04 an remplacement systématique
Coupleur			Présence de vibrations	-Vérification hebdomadaire -Remplacement systématique et réparation à l'ATC
Palier			Présence de vibrations	-Vérification hebdomadaire -Remplacement systématique et réparation à l'ATC
Arbre			-Coaxialité $\geq 3/100$	Changement de l'arbre
Roulement			Changement chaque réparation de palier au ATC	
Joint compensateur Aspiration			Détérioré	Changement du joint
Joint compensateur refoulement			Détérioré	Changement du joint

### Ventilateur intermédiaire M30

<b>Eléments, composants</b>	<b>S</b>	<b>C</b>	<b>Critère d'acceptation si C</b>	<b>Fréquences P/S=Remplacement. Systématique/C= contrôles pour statuer sur le besoin de remplacement</b>
Accouplement		X	-coaxialité $\geq 5/100$ -tampons usés	03 mois ou chaque arrêt de l'installation -Alignement -Changement de tampons
Roue	X		-Présence de grillé colmaté sur la roue	-03 mois ou chaque arrêt de l'installation nettoyage la roue -Chaque 03 ans remplacement systématique
Coupleur			Présence de vibrations	03 mois ou chaque arrêt de l'installation -Remplacement systématique et réparation à l'ATC
Palier			Présence de vibrations	03 mois ou chaque arrêt de l'installation -Remplacement systématique et réparation à l'ATC
Arbre			-coaxialité $\geq 3/100$	Changement de l'arbre
Roulement			Changement chaque réparation de palier au ATC	
Joint compensateur Aspiration			Détérioré	03 mois ou chaque arrêt de l'installation changer du joint
Joint compensateur refoulement			Détérioré	03 mois ou chaque arrêt de l'installation changer du joint

## Ventilateur principale K102

Eléments Composant	S	C	Critère d'acceptation si C	Fréquences P/S=Remplact. Systématique/C= contrôles pour statuer sur le besoin de remplacement
Accouplement		X	-coaxialité $\geq 5/100$ -Lames ressort détériorés	03 mois ou chaque arrêt de l'installation -Alignement -Remplacement des lames
Roue		X	-Présence des boues d'acide	-03 mois ou chaque arrêt de l'installation nettoyage la roue -Chaque 03 ans remplacement systématique
	X			
Palier coté roue		X	-Etat de surface des coussinets $0,1 \geq \text{jeu horizontal} \geq 0,2$ $0,18 \geq \text{jeu verticale} \geq 0,25$	03 mois ou chaque arrêt de l'installation change des coussinets
Palier coté moteur		X	-Etat de surface des coussinets $0,1 \geq \text{jeu horizontal} \geq 0,2$ $0,18 \geq \text{jeu vertical} \geq 0,25$	03 mois ou chaque arrêt de l'installation change des coussinets
Joint en carbone			présence d'une fuite de gaz	03 mois ou chaque arrêt de l'installation -changement de joint
Refroidisseur d'huile de paliers			-test des tubes(105) -nombre tubes bouches $\geq 10\%$	Chaque 03 mois -Changement de refroidisseur
Refroidisseur d'huile de variateur de vitesse			--test des tubes(105) -nombre tubes bouches $\geq 10\%$	Chaque 03 mois -Changement de refroidisseur







## Résumé

La maintenance industrielle prend une importance croissante et se révèle être une des fonctions clé de l'entreprise de production moderne.

L'Analyse des Modes de Défaillance de leurs Effets et de leurs Criticités va permettre de réduire le temps d'indisponibilité et l'identification des éléments les plus critiques, cela va nous permettre aussi de définir le mode de maintenance à appliquer.

Enfin pour prouver l'intérêt de l'étude AMDEC dans l'optimisation de la maintenance, nous avons effectué une étude de cas sur des trois (03) ventilateurs (ventilateur de démarrage M26, ventilateur intermédiaire M30, ventilateur principal K102) dans l'entreprise de ALZINC à Ghazaouet.

**Mots clés :** Diagnostic, Défaillance, Taux de défaillance, Analyse d'AMDEC, Maintenance industrielle.

## Abstract

Industrial maintenance is becoming increasingly important and proves to be one of the key business functions of modern production.

Failure Mode Effect Critically Analysis let us reduce the time of non availability and the identification of the most critical elements and the identification of the mode of maintenance to apply.

At the end, to prove the interest of the AMDEC's study in the optimization of maintenance we have carried out a case study on the three ventilator (ventilator the start M26, ventilator intermediate M30, ventilator principal K102) at ALZINC Company using the elaborated software.

**Keywords:** Diagnostics, Failures, Failures rate, Analyses AMDEC, Industrial maintenance.

## ملخص

الصيانة الصناعية أصبحت ذات أهمية متزايدة ويبرهن على أن تكون واحدة من وظائف الأعمال الرئيسية الحديثة للإنتاج.

هذه المذكرة تعالج مشكل تحسين وظيفة الصيانة باستعمال طريقة تحليل أنماط الخلل وتأثيراتها AMDEC.

إن تحليل أنماط الخلل وتأثيراتها تسمح لنا بتقليص زمن عدم الإتاحة و تحديد العناصر الحساسة وتحديد نمط الصيانة لتطبيقها.

وأخيرا، لتأكيد أهمية دراسة AMDEC في تحسين الصيانة قمنا بدراسة الحالة على ثلاثة مروحيات (مروحة الانطلاق M26، المروحة الوسيطة M30، المروحة الرئيسية K102) بمؤسسة صناعة الزنك بالغزوات.

**الكلمات المفتاحية :** التشخيص، الخلل، نسبة الخلل، تحليل AMDEC، الصيانة الصناعية.