الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DR. YAHIA FARES DE MEDEA

FACULTE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE

Département du Génie de la matière



Mémoire de Fin d'Études

Présenté pour l'obtention du Diplôme
de Master en Génie mécanique

Option : Mécatronique

THEME

Amélioration de la maintenabilité d'un mélangeur de sable par la méthode AMDEC

Proposé et dirigé par,

Dr. GUEMANA Mouloud

Préparé et présenté par,

. BOUZERKOULA Mahmoud

. DJERIBA Khelifa

Année Universitaire 2014-2015

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier ALLAH pour nous avoir guidés vers le bon chemin de la lumière et du savoir et pour nous avoir donné du courage, de la volonté afin de pouvoir réaliser ce modeste travail.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à nos promoteurs :

Dr.GUEMANA Mouloud pour l'encadrement de ce mémoire pour son aide, sa patience et la confiance qu'elle nous a accordée.

Nous tenons à remercier : le président et les membres de jury pour avoir accepter de juger notre travail.

Mes remerciement vont également a' monsieur HERBANE .

Nos sincères remerciements vont également à touts les enseignants du département de Génie Mécanique de l'université de Médéa, et à touts les enseignants qui ont participé à notre formation.

Enfin nous remercions tous ceux qui ont contribué de prés ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

BOUZERKOULA et DJERIBA



Dédicaces

Avant tout, nous remercions DIEU pour nous avoir donné la force et la Patience pour mener à terme ce travail.

Je dédie ce lapidaire travail :

***A** mes très chers parents qui m'ont guidé durant les moments les plus pénibles de ce long chemin, ma mère qui a été à mes côtés et ma soutenu durant toute ma vie, et mon père qui a sacrifié toute sa vie afin de me voir devenir ce que je suis, merci mes parents.*

***A** mes chères sœurs ET **A** mon cher frères ET **A** toute Ma famille*

*ET **A** mon cher frères Hicham , Bouzar Sans exception*

***A** mon binôme djeriba khelifa qui a contribué à la réalisation de ce modeste travail*

***A** tous les personne qui nous on aidés et soutenue de prés ou de loin*

***A** tous ceux qui me connaissent.*

A** toute mes collègues de la promotion **2015.



Bouzerkoula mahmoud



Dédicaces

Avant tout, nous remercions DIEU pour nous avoir donné la force et la Patience pour mener à terme ce travail.

Je dédie ce lapidaire travail :

***A** mes très chers parents qui m'ont guidé durant les moments les plus pénibles de ce long chemin, ma mère qui a été à mes côtés et ma soutenu durant toute ma vie, et mon père qui a sacrifié toute sa vie afin de me voir devenir ce que je suis, merci mes parents.*

***A** mes chères sœurs ET **A** mon cher frères ET **A** toute Ma famille*
Sans exception et mon amis noureldine
***A** mon binôme bouzerkoula mahmoud qui a contribué à la réalisation de ce modeste travail*
***A** tous les personne qui nous on aidés et soutenue de prés ou de loin*
***A** tous ceux qui me connaissent.*

A** toute mes collègues de la promotion **2015.



Djeriba khelifa

Résumé

La maintenance industrielle prend une importance croissante et se révèle être une des fonctions clés des entreprises de production moderne. Notre travail est consacré à l'étude théorique et pratique de la fiabilité des équipements au niveau de l'entreprise « POVAL-station FONDERIE », en l'occurrence, l'analyse de la fiabilité, des éléments critiques, basée sur des méthodes et des outils évoluées.

Dans ce projet de fin des études nous avons utilisé les lois de fiabilité et les méthodes d'analyse, en se basant, sur des outils, comme (AMDEC) très connues en fiabilité,
Afin de concrétiser notre étude, nous avons défini les méthodes graphiques et analytiques pour déterminer les paramètres critiques, qui sont utilisés pour l'évaluation du taux de dégradation des équipements au niveau de la station FONDERIE et déterminer le type de la maintenance à appliquer. Enfin, nous avons validé notre travail par une étude pratique, en choisissant les organes sensibles des équipements stratégiques du système de levage «au niveau du FONDERIE ».

Cette étude nous a permis de trouver des résultats en conformité avec la réalité pratique au niveau de l'entreprise chose qui a eu un impact positif au niveau de la station et qui sera utilisé et suivi par les autres stations en exploitation.

Mots clés : Diagnostic, Fiabilité, Défaillance, Taux de défaillance, Maintenance industrielle, Modèles d'analyse, Outils de fiabilité

Abstract

Industrial maintenance is becoming increasingly important and is proving to be a key business functions of modern production. Our work is devoted to the theoretical and practical study of the reliability of the equipment at the company "POVAL-station FOUNDRY ", in this case, the reliability analysis, critical elements, based on methods and advanced tools.
In this final project studies we used the laws of reliability and methods of analysis, based on tools such as (AMDEC) very known reliability,

To achieve this study, we defined the graphical and analytical methods to determine critical parameters, which are used to evaluate the rate of degradation of equipment and determine the type of maintenance required. Finally, we validated our work through a practical study, choosing the sensitive organs strategic system equipment lifting "at the FOUNDRY."

This study has allowed us to find results consistent with the practical reality at the company that thing had a positive impact at the station that will be used and followed by other stations in operation

Keywords: Diagnosis, Reliability, failure, failure rate, Industrial Maintenance, Analysis Models, Tools reliability

ملخص

الصيانة الصناعية أصبحت ذات أهمية متزايدة و تبرهن على أن تكون وظائف الأعمال الرئيسية الإنتاج الحديث .
و يتخصص عملنا في الدراسة و العملية للموثوقية المعدات في الشركة POVAL محطة FONDERIE , في هده الحالة و تحليل الموثوقية , و العناصر الحساسة , على أساليب و أدوات متقدمة في هده الدراسات النهائية للمشروع
استخدمنا قوانين الموثوقية و طرق التحليل , استنادا إلى أدوات مثل AMDEC الموثوقية المعروفة جدا , حددنا الأساليب البيانية و التحليلية لتحديد المعايير الضرورية , و التي تستخدم لتقييم معدل تدهور المعدات و تحديد نوع الصيانة المطلوبة
أخيرا قمنا بتحقق من صحة عملنا من خلال دراسة عملية , و اختيار الأجهزة الحساسة الإستراتيجية و قد سمحت لنا هده الدراسة بإيجاد نتائج تتماشى مع الواقع العلمي في الشركة , الشيء الذي كان له اثر ايجابي في المحطة التي سيتم استخدامها و تليها محطات أخرى

مفتاح الكلمات : التشخيص , الموثوقية , الصيانة الصناعية , نماذج التحليل , أدوات الموثوقية

Table des matières

INTRODUCTION GENERALE …….2

Chapitre I : GENERALITE SUR LA MAINTENANCE

I .1.INTRODUCTION…….4

I.2. DEFINITION DE LA MAINTENANCE ……4

I.2.1. But de la maintenance …….5

I.2.1.1 Objectifs financiers ……5

I.2.1.2 Objectifs opérationnels ……5

I.2.2. Mission de progrès de la maintenance ……..6

I.2.3. Niveaux de la maintenance …….7

I.2.4. Les coûts relatifs a la fonction maintenance…….8

I.2.5. Elaboration d'un plan de maintenance ……9

I.3. LES DIFFERENTS TYPES DE MAINTENANCE……10

I.3.1 Maintenance préventive …….10

I.3.1.1 Maintenance systématique …….11

I.3.1.2 Maintenance conditionnelle ……11

I.3.1.3 Maintenance prévisionnelle ……..11

I.3.1.4 Objectives visés par la maintenance préventive……..11

I.3.2. Maintenance corrective …….11

I.3.2.1 Maintenance palliative……12

I.3.2.2 Maintenance curative……..12

I.4. ANALYSE QUALITATIVE POST DEFAILLANCE……12

I.4.1. Système……..12

I .4.1.1. Système de production ……..12

I. 4.1.2. Nature des systèmes……13

I. 4.1.3. Système et composants……..13

I.4.2. Définition d'une panne et d'une défaillance…….13

I.4.2.1. Les six éléments de connaissance d'une défaillance…….13

I.4.3. Typologie des défaillances……..13

I.4.4. Causes de défaillance……14

I.4.5. Les modes de défaillances…….15

I.4.6. Classification des défaillances……..16

I.4.5.Conclusion……..17

Chapitre II: METHODES DE MAINTENANCE

II.1. INTRODUCTION……..20

II.2. OPTIMISATION DE LA MAINTENANCE PAR L'AMDEC……..20

II.2.1. Les outils de la méthode……20

II.3. LA MAINTENANCE BASEE SUR LA FIABILITE…….26

II.4. LA MAINTENANCE PRODUCTIVE TOTALE (TPM)……27

II.4.1 Historique……..27

II.4.2 Objectif…….28

II.4.3 Implantation de la TPM……..28

II.4.4. Définition du TRS……..30

II.4.5. Les approche de calcul de TRS……..33

II.5. Conclusion……34

Chapitre III : LA MÉTHODE D'AMDEC

III.1.INTRODUCTION…….36

III.2.HISTORIQUE DE LA METHODE……36

III.3.DEFINITION……..36
III.3.1Principe de l'AMDEC……...36.
III.3.2Buts de l'AMDEC ……....37
III.3.3.Domaines d'application de L'AMDEC…….....40
III.4.Types d'AMDEC…….41
III.4.1. AMDEC-Produit……..41
III.4.2.AMDEC-Processus……41
III.4.3.AMDEC- Moyen de production……41
III.5.Réalisation d'une AMDEC……...42
III.5.1.Préparation à L'AMDEC…….42
III.5.2.Conduite de la méthode…….43
III5.3.Première étape : décomposition et modes de défaillances…….....44
III.5.4.Deuxième étape : effets et criticités …….44
III.5.5.Troisième étape : synthèse……...46
III.6.EXPLOITATIONS DE L'AMDEC…….47
III.6.1.Évaluation des défaillances…….47
III.6.2.Actions correctives……...47
III.6.3.Suivi des corrections……48
III.6.4.Disponibilité……49
III.6.5.Caractéristiques essentielles de l'AMDEC…….49
III .7.CONCLUSION……..51

CHAPITRE IV : APPLICATION DE LA METHODE AMDEC SUR LE MELANGEUR

IV.1.INTRODUCTION……..53
IV.2 démarche de l'AMDEC …….53
IV.2.1. Étape I……...53
IV.2.1.1. Définition du système a étudié…….53
IV.2.1.2. Définition de la phase de fonctionnement ……..55

IV.2.1.3. Définition des objectifs à atteindre…….55

IV.2.1.4. Misse au point des supports de l'étude……55

IV.2.2. Étape II……..56

IV.2.2.1. Décomposition fonctionnelle du système……..56

IV.2.2.2. Décomposition du mélangeur en sous ensemble ……..57

IV.2.3. Étape III…….64

IV.3. CONCLUSION ……..75

CONCLUSION GENERALE…….77

ANNEXE……79-84

LISTE DE FIGURE

Figure I.1 : Le contenu de la fonction maintenance…….5

Figure I. 2 : les différents types de maintenance…….8

Figure I. 3 : Le rapport coûts- maintenance……10

Figure I. 4 : Les critères permettant l'analyse post défaillance……...14

Figure I. 5 : Les causes de défaillance…….…14

Figure I. 6 : Causes, Effets et modes de défaillance…….....15

Figure I.7 : Classification des défaillances……..16

Figure II.1: Méthode de Pareto…….21

Figure II.2: Optimisation de la maintenance par l'AMDEC……23

Figure II. 3: Etapes d'installation de la TPM……28

Figure II. 4: les cinq principaux facteurs de succès de la démarche TPM ……..29

Figure II. 4: TRS……..32

Figure III.1. Récapitulatif des types d'AMDEC……..42

Figure IV.1. Le mélangeur de sable…….54

Figure IV.2. : Décomposition sous ensemble……57

Figure IV.3. : Décomposition de Le moteur électrique……58

Figure IV.4. : Décomposition de Le réducteur de vitesse……59

Figure IV.5. : Décomposition de Les organes de sécurité…….60

LISTE DES TABLEAUX

Tableau .I.1: processus de maintenance……..6

Tableau I.2 Niveaux de la maintenance……...7

Tableau II.1 La minorité des Causes responsables de la majorité des effets……..22

Tableau II.2. AMDEC…….24

Tableau III.1. Indice de fréquence F ……..38

Tableau III.2. Indice de gravité G……..39

Tableau III.3. Indice de non-détection D……..….40

Tableau III.4 . Exemple de Tableau AMDEC…….....45

Tableau IV.1: les pièces de mélangeur de sable…….54

Tableau IV.2 : Grille de cotation de la probabilité de non-détection N…….61

Tableau IV. 3 : Grille de cotation de la gravite G……..62

Tableau IV. 4: Grille de cotation de la fréquence F……..63

Tableau IV. 5: le niveau de criticité C……64

Tableau IV.6: AMDEC d'un ventilateur……65

Tableau IV.7 : AMDEC d'un stator……...66

Tableau IV.8 : AMDEC d'un Paliers roulement…….67

Tableau IV.9: AMDEC d'un rotor……..68

Tableau IV.10: AMDEC d'un Arbre……..69

Tableau IV.11: AMDEC d'un roulement……70

Tableau IV.12: AMDEC d'un Pignon……71

Tableau IV.13: AMDEC d'un Arbre pignon ……...72

Tableau IV.14: AMDEC d'un Accouplement grande vitesse……73

Tableau IV.15: AMDEC d'un Accouplement petite vitesse……..74

LISTE DES SYMBOLES

AMDEC : Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leurs Criticité

F : La probabilité d'occurrence

G : La gravite des conséquences

D : La probabilité de non-détection

Cr : La criticité

P : La probabilité d'occurrence

MBF : Maintenance basée sur la fiabilité

PME : Les petites moyennes entreprises

PMI : Les petites moyennes industries

TPM : La maintenance productive totale

TRS : Le taux de rendement synthétique

D_0 : Taux de disponibilité

Tp : Taux d'efficacité

Tq : Taux de qualité

TF : Temps de fonctionnement

TR : Temps requis

TN : Temps net

TU : Temps utile

NPB : Nombre de pièces bonnes

NTPR : Nombre totale de pièces réalisées

Tcr : Temps de cycle de référence

FMECA : Failure Mode Effects and Criticality Analysis

Introduction générale

Introduction générale

Notre travail est consacré à l'étude théorique et pratique de l'analyse des modes de défaillance ainsi que la fiabilité, dans l'optique d'assurer une meilleure disponibilité, et de mettre les outils qu'il faut pour faire profiter l'entreprise du retour d'expérience et les modèles de fiabilité. Car l'étude de fiabilité d'un équipement permet de le bien connaitre durant sa période de fonctionnement et d'optimiser son exploitation afin d'augmenter la production , minimiser les pertes et les coût ainsi et rationalisé la politique de l'entreprise et ces décisions stratégique.

Pour inscrire ce projet dans cette vision nous avons utilisé quelque outil d'analyse de l'existant aux équipements concernées pour répondre au besoin de conduire une étude de fiabilisation qui se subdivise quatre chapitres :

- Le premier chapitre est un aperçu général sur la maintenance industrielle
- Le deuxième chapitre est consacré à la présentation les différents outils de maintenance
- Le troisième chapitre est consacré a la présentation de la méthode AMDEC machine.
- Enfin, nous avons achevé notre mémoire par une étude de cas pratique, en choisissant L'équipement qui a impacté considérablement le budget du service maintenance de fonderie. Il est à souligner que le problème principal du service Maintenance est la méconnaissance de l'outil de production, ce qui explique l'appréhension des risques de défaillance et l'impossibilité de les éviter.

Chapitre I

GENERALITE

SUR LA MAINTENANCE

I .1.INTRODUCTION :

La maintenance est une activité de service dynamique qui vise à un fonctionnement en douceur et rentable d'une entreprise. Bloquer remplacement est une politique d'entretien préventif, où un grand nombre d'objets identiques, à faible coût sont remplacés groupe sage après certains intervalles de temps. L'entretien préventif des composants de fonctionnement est basé sur l'hypothèse que cela coûte plus cher de procéder à une réparation ou un remplacement au moment de l'échec que de faire la même chose à un moment prédéterminé.

Le coût total de cette politique de maintenance est l'ensemble des remplacements de groupes engagés après chaque intervalle de remplacement, et le coût de remplacement de ces unités qui dégradation en dépit de la maintenance préventive. La fonction de coût total est un convexe [1] et une stratégie de remplacement optimal des coûts peut être obtenue. Outre le coût, le remplacement des blocs est avantageux étant donné que les opérations de remplacement peuvent être effectuées à un moment opportun, lorsque le système ne fonctionne pas, réduisant ainsi le temps d'arrêt du système coûteux.

I.2. DEFINITION DE LA MAINTENANCE :

Selon la norme française NF EN13306, la maintenance est l’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 une fonction requise. L’activité actuelle de la maintenance s’inscrit dans un cadre de participation à la réalisation des objectifs de productivité, de rentabilité et de croissance de l’entreprise. [1]
Présentent la fonction maintenance comme un ensemble d’activités regroupées en deux sous-ensembles : les activités à dominante technique et les activités à dominante gestion (voir figure I.1).

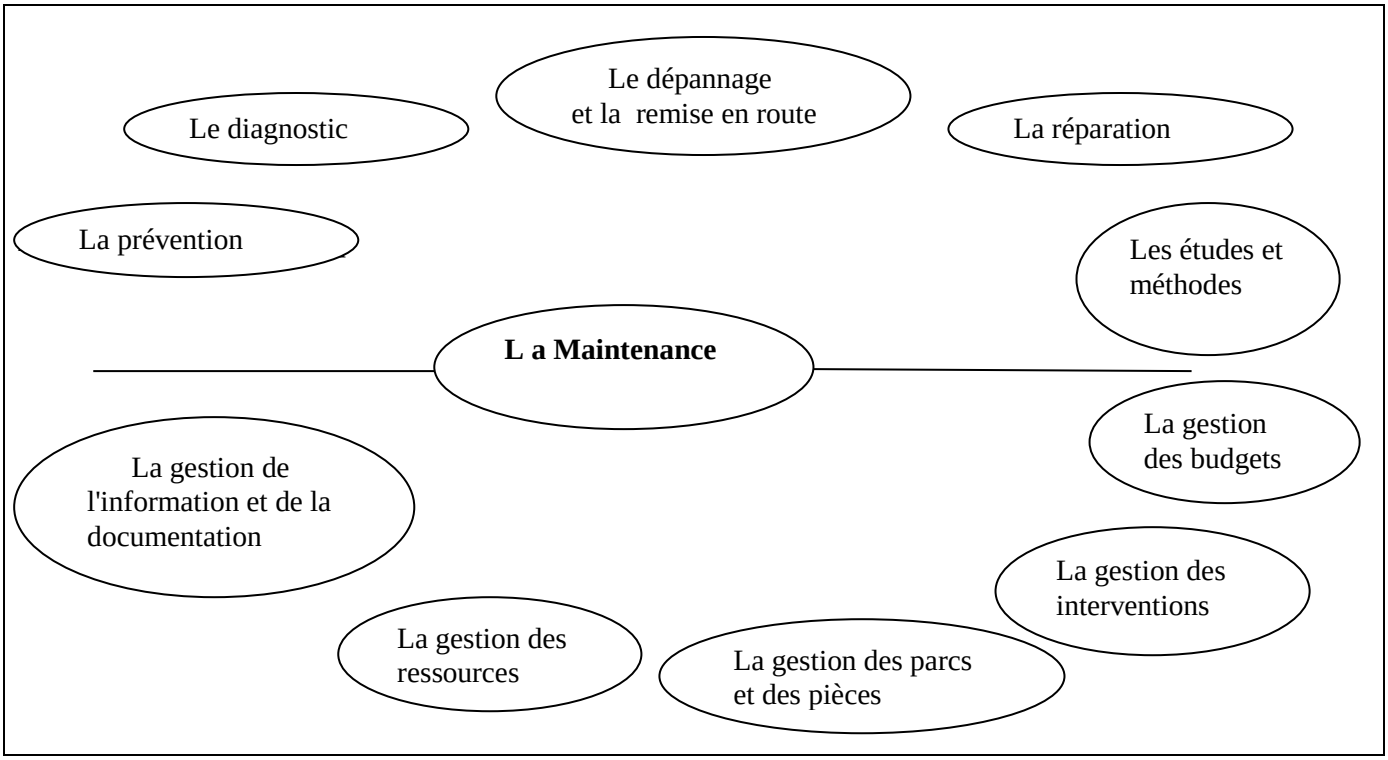


Figure I.1 : Le contenu de la fonction maintenance [1]

Dans la définition de la maintenance, nous trouvons deux mots-clés : maintenir et rétablir. Le premier fait référence à une action préventive. Le deuxième fait référence à l'aspect correctif. Nous présentons dans les paragraphes qui suivent les définitions de chaque type de maintenance.

I.2.1. But de la maintenance :

Les objectifs de la maintenance peuvent être classés en deux types **:**

I.2.1.1 Objectifs financiers

- Réduire au minimum les dépenses de maintenance.
- Assurer le service de maintenance dans les limites d'un budget. [2]

I.2.1.2 Objectifs opérationnels

- Maintenir l'équipement dans les meilleures conditions possibles.
- Assurer la disponibilité maximale de l'équipement à un prix minimum.
- Augmenter la durée de vie des équipements.

- Entretenir les installations avec le minimum d'économie et les remplacer à des périodes prédéterminées.
- Assurer un fonctionnement sûr et efficace à tout moment. [2]

I.2.2. Mission de progrès de la maintenance

Les missions qui doivent jalonner le processus de maintenance : C'est d'aborder les points suivants et les remettre en question en permanence.

A) Documentation de base	B) politique	C) Ordonnancement/Préparation
• Documentation technique • Equipements critiques • Performances requises • Disponibilités requises • Schémas installations	• Plan de maintenance • Gammes,BOP,préparation • Atelier • Motivation • GMAO • Indicateurs • Actions sécurité • Fiches de fonctions	• Planning –plan de charge prestataire • Moyens internes; externes et matériels • Localisation des pannes • Préparation des travaux • Programmation des arrêts

D/Gestion matériel	E/Travaux	F/Suivi du contrat	G/ Retour d'expérience
• Achat • Gestion stock • Magasin outillage	• Lancement travaux • Réalisation travaux curatifs • Réalisation travaux préventifs • Heures supplémentaires • Astreintes	• Comptabilité /gestion • Fiches d'expertises • Rapports techniques • Suivi des délais	• CRBT (compte rendu des bons d'intervention) • Gestion des historiques • Gestion coûts • Préventif • Indicateurs et tableaux de bords.

Tableau. I.1: processus de maintenance

I.2.3. Niveaux de la maintenance :

Le tableau ci-dessous présente une explication des niveaux de maintenance. [3]

Niveaux	Actions	Exemples
1ére niveau	- Des réglages simples prévus par le constricteur ou le service maintenance.	- Echange d'élément consommable tels que : fusibles, voyants,…etc.
2émé niveau	- Dépannage par échanges standard des éléments prévus à cet effet d'opérations mineures de maintenance préventive.	- Graissage d'une machine - contrôle de bon fonctionnement d'un four de traitements thermique
3éme niveau	- D'échange de constituants - De réparations mécaniques mineures -De réglage et réétalonnage générale des mesures.	- Remplacement d'une clavette cisaillée nécessitant l'ajustage de la nouvelle clavette
4éme niveau	- Tous les travaux importants de maintenance corrective ou préventive à l'exception de la rénovation et de la reconstruction.	- Révision générale d'un compresseur ; - Démontage, Réparation, règle d'un treuil de levage
5éme niveau	- Tous les travaux de rénovation, de reconstruction ou de réparation importante, confiés a un atelier centrale de maintenance ou a une entreprise exérieure prestataire de service.	- Révision générale de la chaufferie d'une usine. - Réparation d'un engin de levage portuaire partiellement endommagé à la suite d'une tempête.

Tableau I.2 Niveaux de la maintenance

I.2.4. Les coûts relatifs a la fonction maintenance

Comme la montre la figure I.3. Nous pouvons décomposer les coûts en 2 catégories :

- Les coûts engendrés par l'allongement du temps de production (ou perte de production).
- Les coûts de maintenance (l'argent dépensé pour les éviter ou pour remédier).

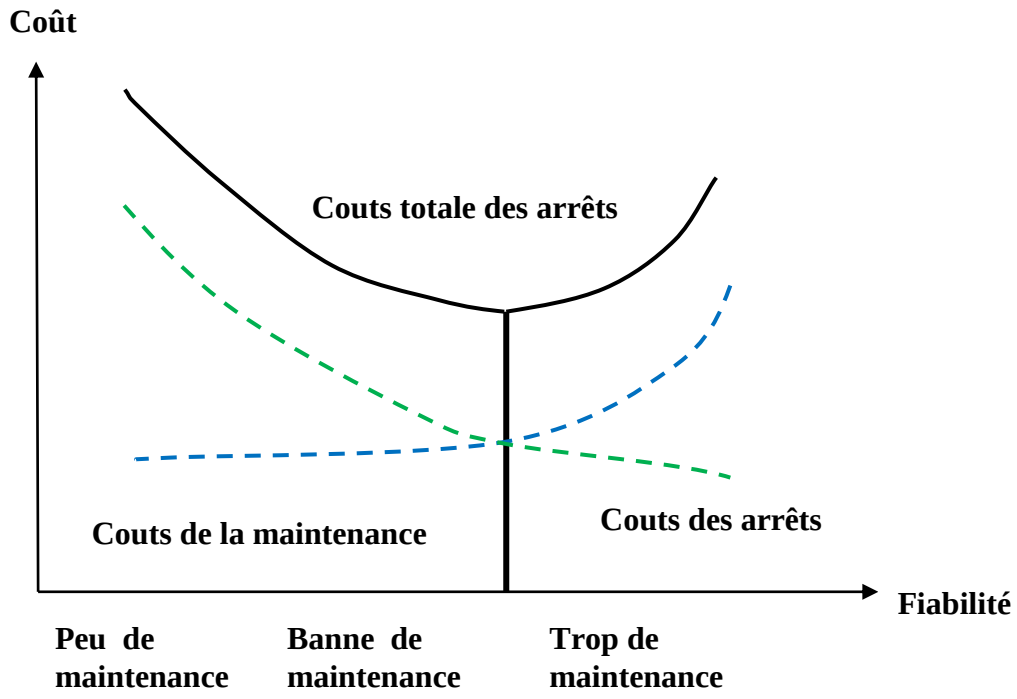


Figure I. 2 : Le rapport coûts- maintenance

A. Le coût direct d'un service maintenance : s'évalue à partir des :

- coûts salariaux.
- coûts des pièces, de l'équipement des agents, des consommables et des stocks.
- coûts induits par les arrêts de production nécessaires aux interventions en préventif...

B. Le coût total des dysfonctionnements (de toutes origines) :

Il s'évalue à partir du nombre d'heures de production qu'il est nécessaire de réaliser pour atteindre la Production journalière comparé au temps optimal de production. Il se décompose en :

- coûts salariaux,
- surconsommation d'énergie,
- dévalorisation plus rapide des équipements. [5]

I.2.5. Elaboration d'un plan de maintenance :

Le plan de maintenance n'est autre que l'ensemble des mesures à prendre pour éviter, les conséquences des défaillances sur les équipements et ses fonctions et son environnement ceci selon les objectifs de chaque entreprise et les contraintes sue lesquelles elle est soumise. La démarche ne sera évidemment pas la même pour l'acquisition d'un chariot élévateur et d'une usine chimique, mais les principes d'analyse seront identiques et feront tous référence aux objectifs et contraintes de base. La protection humaine et le respect de l'environnement demeurent les exigences premières ; C'est le facteur incontournable de la sûreté de fonctionnement .Les autres composantes, fiabilité, disponibilité, maintenabilité pour une durée de vie donnée, y seront associées et hiérarchisées suivant les partis moines et leur destination.

Comme le mentionne [6],

les défaillances sont à la maintenance ce que les maladies sont à la médecine : leur raison d'exister. Pour mettre en place une politique de maintenance adéquate, il est important de comprendre les phénomènes de défaillance et de dégradation des composants. Basant sur l'arbre de décision pour faire l'analyse suivante :

1. Sélectionner un équipement critique sur lequel vous fait de l'entretien.
2. Faire une description détaillé de l'entretien appliqué a cet équipement et si vous disposer de l'historique de l'équipement, veuillez lister les interventions.
3. Utiliser l'arbre de décision pour chaque composante ou système principal pour déterminer le type d'entretien plus adéquat.
4. Comparer le type d'entretien suggéré avec la réalité et reconsidérer votre choix d'entretien.

I.3. LES DIFFERENTS TYPES DE MAINTENANCE

Dans la définition de la maintenance, nous trouvons deux mots-clés : maintenir et rétablir. Le premier fait référence à une action préventive. Le deuxième fait référence à l'aspect correctif (voir figure I.2)

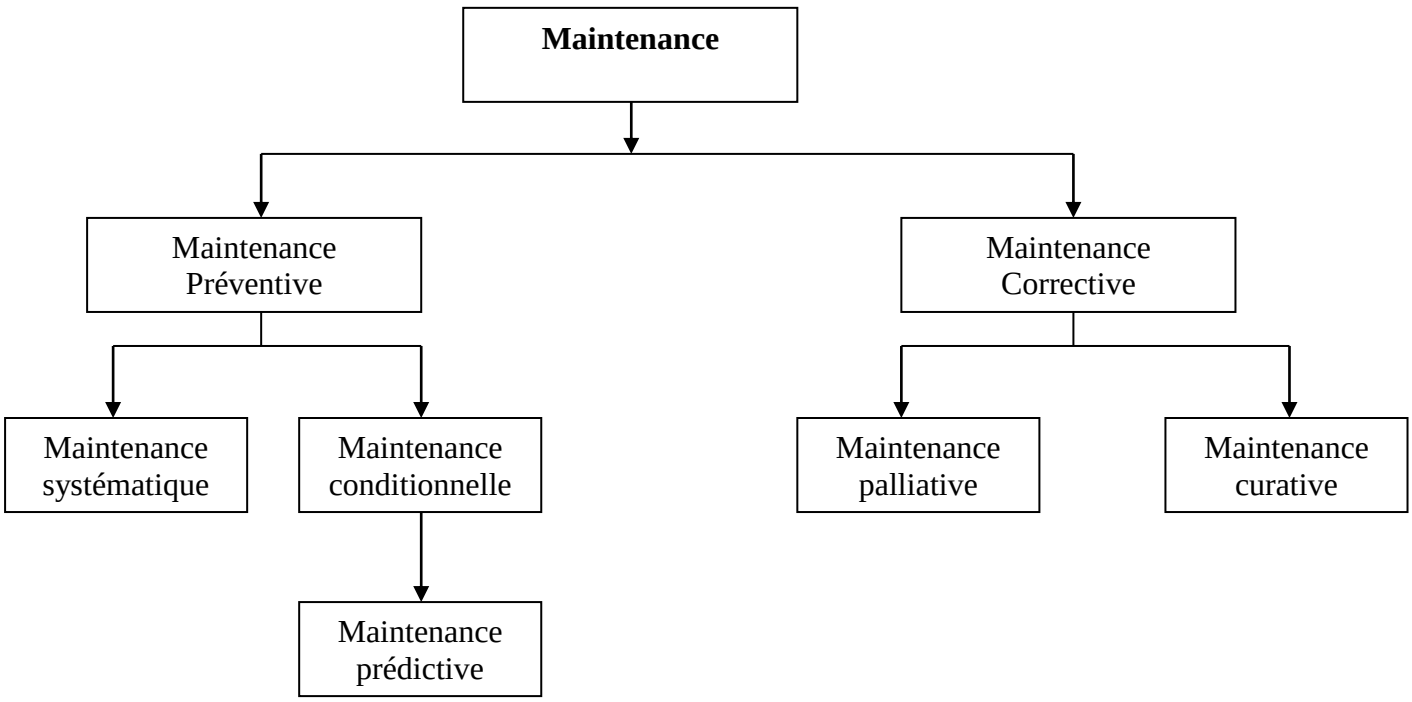


Figure I. 3 : les différents types de maintenance

I.3.1 Maintenance préventive :

La maintenance ayant pour objet de réduire la probabilité de la défaillance ou de dégradation d'un bien ou d'un service rendu.

Autrement dit, La maintenance préventive permet de réduire les risques et probabilité de dysfonctionnement des systèmes de production.

La maintenance préventive peut être :

- systématique.
- conditionnelle.
- prévisionnelle. [3]

I.3. 1.1 Maintenance systématique :

Lorsque la maintenance préventive est réalisée a des intervalles prédéterminées, ou parle de la maintenance systématique, l'opération de maintenance est effectué conformément à un calendrier. [4]

I.3. 1.2 Maintenance conditionnelle :

Lorsque l'opération de maintenance préventive est subordonnée à l'analyse de l'évolution de paramètres significatifs (température, pression,…etc.) de la dégradation ou de basse de performance conditionnelle.

I.3.1.3 Maintenance prévisionnelle :

Lorsque la maintenance préventive est effectuée sur la base de l'estimation du temps de fonctionnement correct avant l'observation de l'évènement redouté on parle de maintenance prévisionnelle.

I.3.1.4 Objectives visés par la maintenance préventive

-Améliorer la fiabilité du matériel.

-Garantir la qualité des produits.

-Assurer la sécurité humaine.

-Améliorer la gestion des stocks.

I.3.2. Maintenance corrective

La maintenance corrective regroupe l'ensemble des activités réalisées après la défaillance (totale ou partielle) d'un bien, ou la dégradation de sa fonction, pour lui permettre d'accomplir une fonction requise, au moins provisoirement.

La maintenance corrective peut être :

- palliative.
- curative. [3]

I.3.2.1 Maintenance palliative

La maintenance palliative regroupe les activités de maintenance corrective destinée à permettre à un bien d'accomplir provisoirement tout ou partie d'une fonction requise.
Ces activités du type dépannage qui présentent un caractère provisoire devront être suivies d'activités curatives.

I.3.2.2 Maintenance curative

La maintenance curative regroupe les activités de maintenance corrective ayant pour objet de rétablir un bien dans un état spécifié ou de lui permettre d'accomplir une fonction requise. Ces activités du type réparation, modification ou amélioration doivent présenter un caractère permanent.

I.4. ANALYSE QUALITATIVE POST DEFAILLANCE

I .4.1. Système

Un système peut être défini comme un ensemble de composants interdépendants conçus pour réaliser une fonction donnée, dans des conditions données et dans un intervalle de temps donné.

Pour chaque système, il importe de définir clairement les éléments qui le caractérisent à savoir : la fonction, la structure, les conditions de fonctionnement, les conditions d'exploitation et l'environnement dans lequel il est appelé à opérer. [7].

I .4.1.1. Système de production

Le système de production est une catégorie particulière de système constitué par un ensemble de ressources humaines, techniques et financières. Placé dans un environnement naturel, économique, social et politique. En Fonctionnant pour sa propre pérennité, le bien de ses membres de ses utilisateurs, de la société en générale. La Réalisant de produits matériels (biens) ou immatériels (services). Mettant en œuvre différents processus (de conception de production, de gestion, de commercialisation,….).et dont la composition (équipements, effectifs,…..), l'organisation, et les activités (innovations, externalisations…..) évoluent. [7]

I. 4.1.2. Nature des systèmes

Les systèmes peuvent être de diverses natures technologique:

-Système électrique ou électronique, logique ou analogique, de contrôle- commande.

-Système thermo-hydraulique permettant de véhiculer des fluides. -Système mécanique.

-Système programmes, système de traitement de l'information. [7].

I. 4.1.3. Système et composants

(Pièce) ⊂ (Composant) ⊂ (Sous système) ⊂ (Système élémentaire) ⊂ (Système)

I. 4.2. Définition d'une panne et d'une défaillance

Une panne est une non-conformité qui nécessite une intervention de maintenance non prévue pour y remédier, alors que le terme défaillance englobe toute forme de non-conformité à un critère de performance défini.

Une défaillance est une perte de fonction. La norme AFNOR [1] définit la défaillance comme une altération ou une cessation d'un bien à accomplir une fonction requise.

I.4.2.1. Les six éléments de connaissance d'une défaillance

La synthèse de l'analyse qualitative et quantitative mettra en évidence, les défaillances et leurs combinaisons qui compromettent la sûreté de fonctionnement du système ainsi que les composants les plus critiques ou les missions les plus importantes du système. Seront alors dégagées les améliorations techniques susceptibles d'augmenter la fiabilité, la disponibilité, la maintenabilité ou la sûreté.

Une analyse post défaillance doit comporter les six éléments de connaissance permettant de comprendre aussi bien l'environnement du système lors de sa perte de normalité que les mécanismes ayant engendré la défaillance (Voir figure I.5).

Cela afin d'apporter des remèdes durables et des mesures d'organisation pour éviter la réapparition de la défaillance, ou pour atténuer ses effets. [7].

I.4.3. Typologie des défaillances

Il existe deux types de défaillances : La défaillance catalectique complète et soudaine qui est due a une rupture brusque et la défaillance par dérive qui est due à un phénomène d'usure [8].

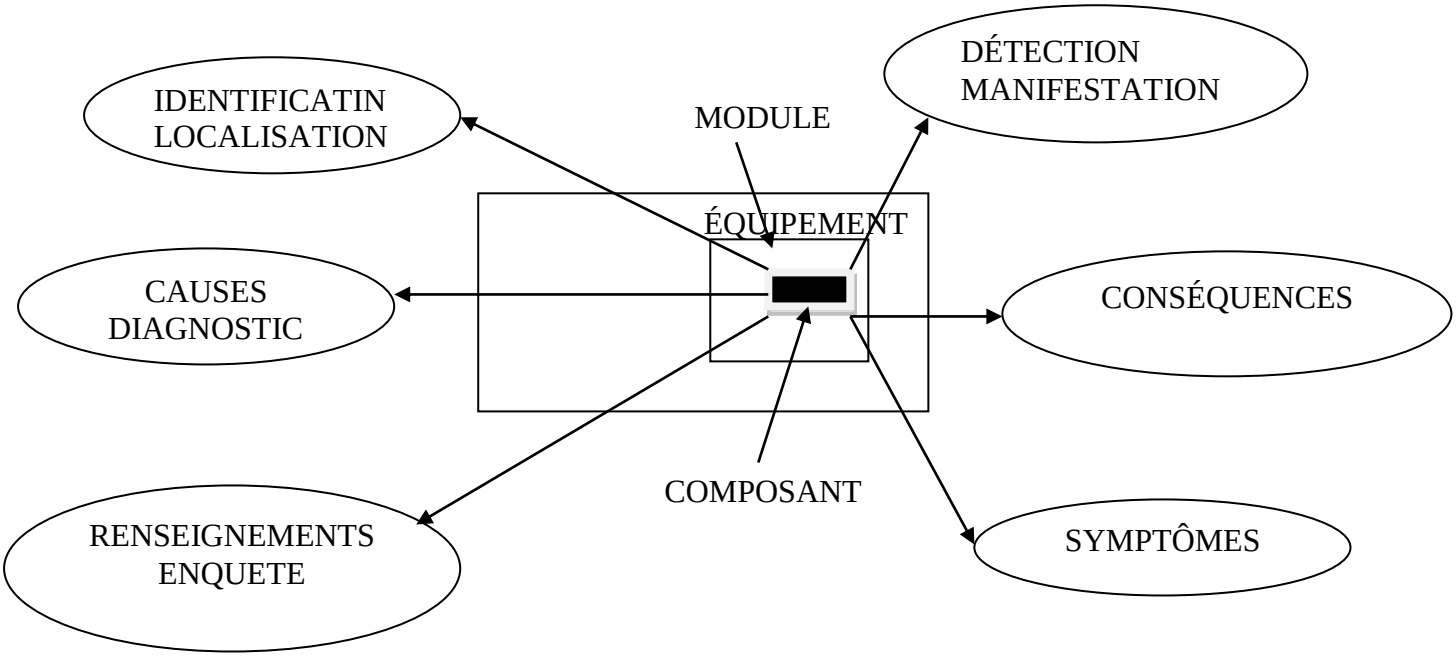


Figure I. 4 : Les critères permettant l'analyse post défaillance

I.4.4. Causes de défaillance

Ce sont des circonstances liées aux plusieurs facteurs [7] c'est ce que nous présentons à la figure I.6.

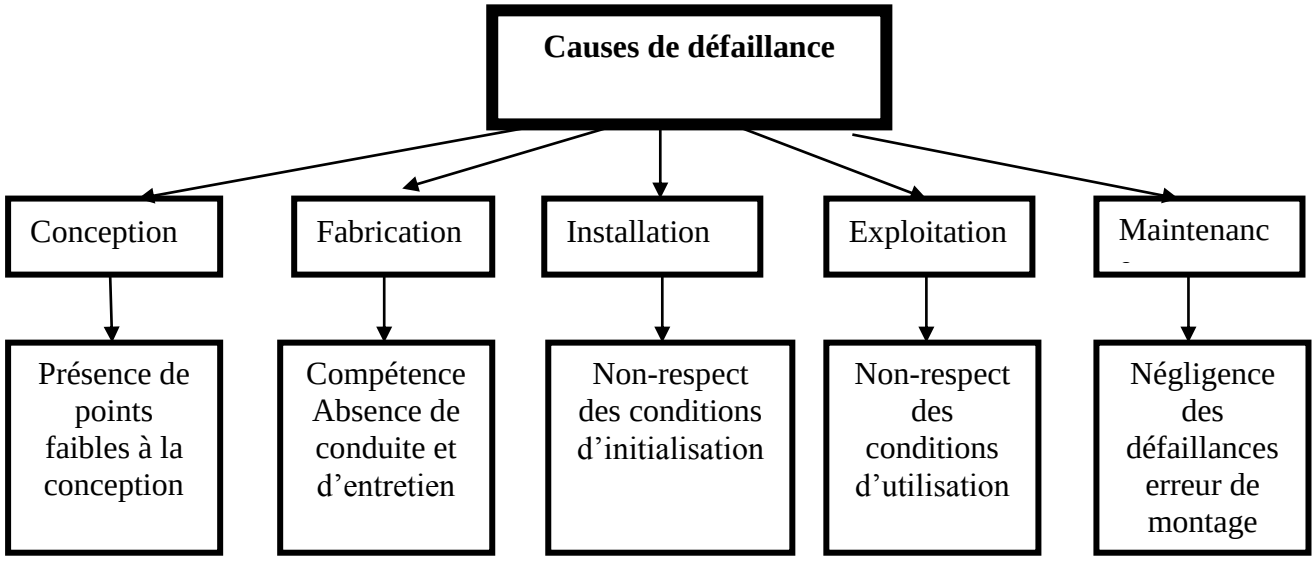


Figure I. 5 : Les causes de défaillance

I.4.5. Les modes de défaillances

Le mode de défaillance est défini par la norme NF x 60-010 :"Effet par lequel une défaillance est observée".

Les principaux modes de défaillances sont divisés dans les trois catégories suivantes :

- la santé – matière : il s'agit de défauts pré-existants dans les pièces en service. Il apparaît suite à un défaut soit lors de l'élaboration de la matière, soit lors de l'élaboration de la pièce finie, ou lors du montage;
- Les modes de défaillances mécaniques:

1- Les modes de défaillances inhérents au fonctionnement : Elles apparaissent suite à :

A l'Usure, à une surcharge, à une fatigue (thermique et mécanique), à un fluage, à un choc, à une fissuration, à l'abrasion, à l'érosion ou à la corrosion.

2- Les modes de défaillances inhérents au matériau : Défaut de mise en oeuvre, défaut de fabrication (défaut d'usinage, de traitements thermiques, de soudure…

3- Les modes de défaillances inhérents à l'environnement : Défaut de montage, abrasion, corrosion.

- Les modes de défaillances électriques :

Ces défaillances surgissent suite à la rupture d'une liaison électrique, au collage, à l'usure de contact ou au claquage d'un composant. [8]

Les modes de défaillances sont donc en rapport avec le processus de dégradation. La figure I.7, illustre les liens étroits et les inter-relations qui existent entre ces divers concepts :

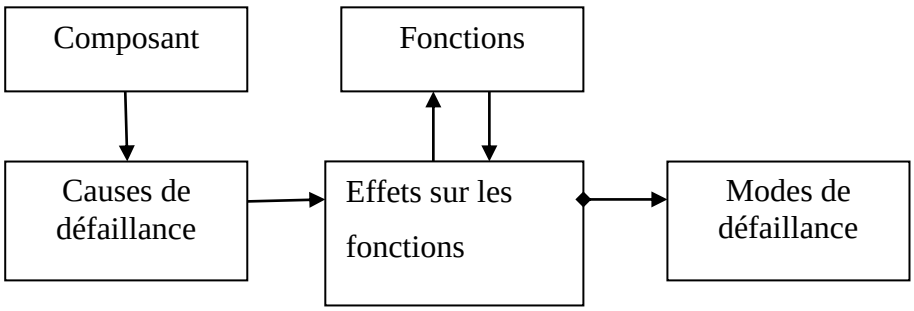


Figure I. 6 : Causes, Effets et modes de défaillance

I.4.6. Classification des défaillances

Le cadre de référence de la classification des défaillances que nous présentons à la figure I.8, est répartir en sept familles et 17 causes.

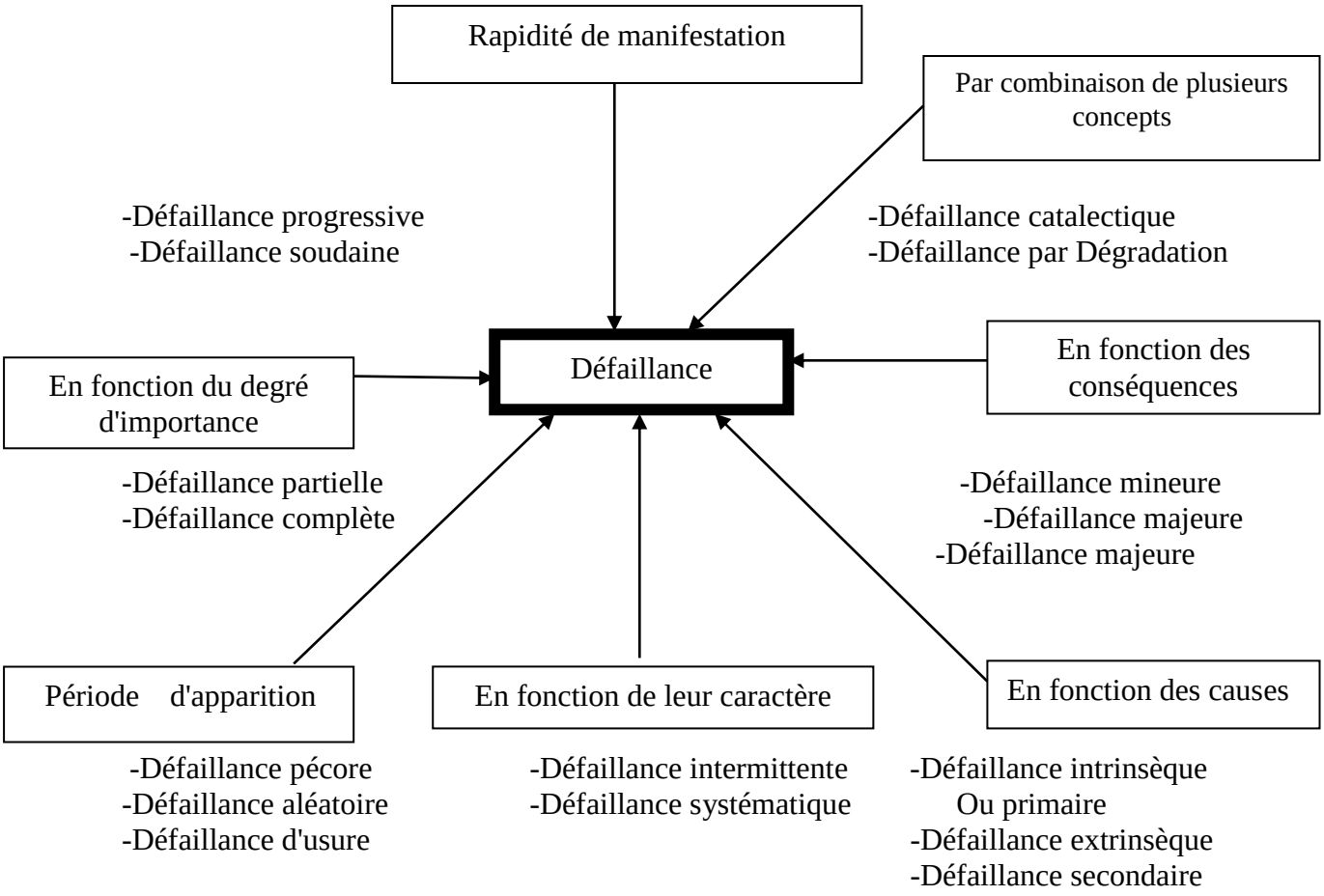


Figure I.7 : Classification des défaillances

I.4.5.Conclusion

La maintenance est une fonction complexe , selon le type de processus, peut être déterminante pour la réussite d'une entreprise. Les fonctions qui la composent et les actions qui les réalisent doivent être soigneusement dosées pour que les performances globales de l'outil de production soient optimisées.

Toute la difficulté tient à ce réglage qu'il faut ajuster en tenant compte de nombreux éléments

- au niveau de l'entreprise : du contexte économique et social ;
- au niveau de l'installation : de l'interaction avec les autres systèmes (en particulier celui de la production) ;
- au niveau du système maintenance : des divers effets de chacune des activités (études, préparation, ordonnancement...).

Pour être efficace, il faut d'abord avoir une idée aussi claire que possible des mécanismes qui influent sur les grandeurs significatives (nombre de pannes, temps de réparation, délais logistiques, coûts de maintenance préventive, coûts du stockage des matières, actions de communication, etc.). Il faut ensuite mesurer ces grandeurs et construire des indicateurs pour juger de l'état du système...

Chapitre II

METHODES DE MAINTENANCE

II.1. INTRODUCTION

On va traiter d'abord le problème d'optimisation de la fonction maintenance. Les travaux de recherches dans ce domaine ont donc pour objectifs de cerner les différentes composantes de processus de fabrication tout en cherchant le maintenance qui présentent des pertes financières dans le budget. Puis de chercher les composantes de maintenance identifié au départ les plus défaillantes. Par la suite elle consiste à identifier les organes élémentaires de ces composantes qui portent préjudice au fonctionnement normal de processus. Dans ce contexte l'optimisation de la maintenance est traitée de plusieurs manières.

II.2. OPTIMISATION DE LA MAINTENANCE PAR L'AMDEC

II.2.1. Les outils de la méthode

A. Analyse de Pareto (méthode ABC)

L'analyse de Pareto consiste à déterminer la minorité de causes responsables de la majorité des effets.

La démarche de la méthode se décline en 4 étapes principales :

1. définir la nature des éléments à classer

Ces éléments à classer dépendent du caractère étudié.

Ces élément peuvent être: des matériels, des causes de panes, des natures de pannes, des bons de travail, des articles en stocks etc.

2. Choisir le critère de classement

Les critères les plus fréquents sont les coups et les temps, selon le caractère étudiée, d'autres critères peuvent être retenue tels que :

- le nombre d'accidents, le nombre d'incidents;
- le nombre de rebuts, le nombre d'heures d'utilisation;
- le nombre de kilomètres parcourus;
- la valeur consommée annuellement.

3. Tracé la courbe pourcentage des valeurs cumulées du critère en fonction du pourcentage des éléments cumulés qui en sont responsables (figure II.1).

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

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

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

La classe B est intermédiaire. Elle est composée généralement des 30% d'éléments responsable de 15% d'effets.

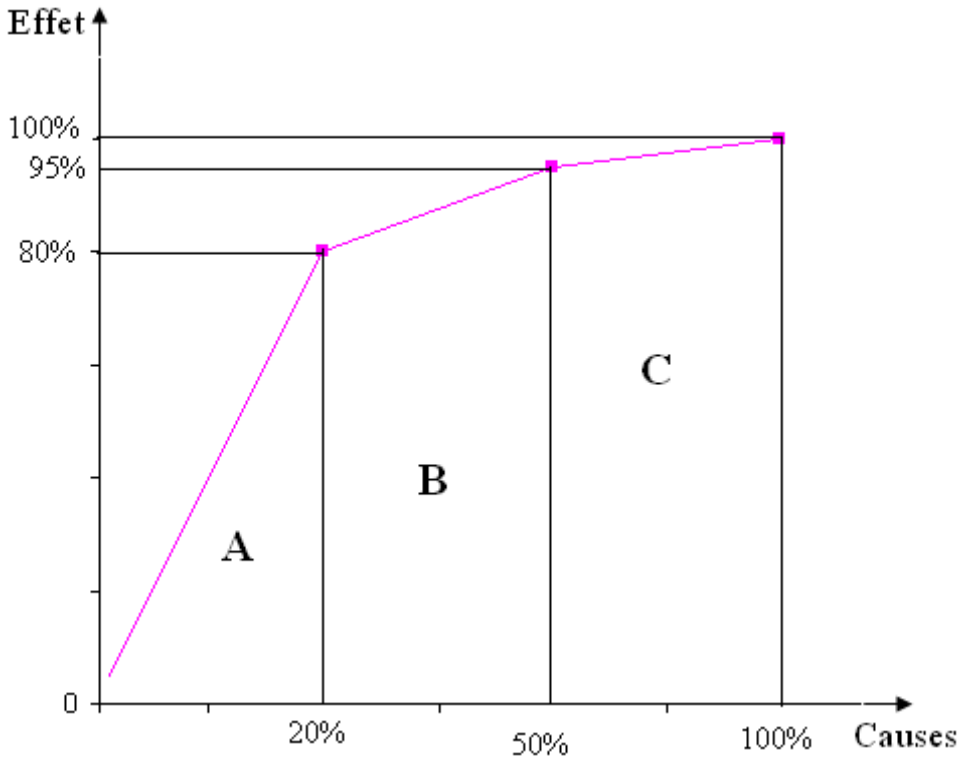


Figure II.1: Méthode de Pareto.

L'outil Pareto est utilisé dans de nombreux travaux concernant cette méthodologie comme est appelée aussi pour les raisons précitées : méthode des 20/80 ou encore méthode ABC, Nous permet de classer les causes selon les effets qu'elles génèrent et de déduire les priorités d'actions à mener:

- déterminer les éléments qui pénalisent le plus la disponibilité des équipements et leurs fréquences.
- Définir les actions de maintenance correctives à entreprendre dans l'ordre d'urgences et d'importance.
- Optimiser les moyens techniques et humains.
- Automatiser les opérations principales de gestion des stocks.
- Orienter le choix des actions d'amélioration. [7]

Exemples des causes et leurs effets qu'on peut étudier a l'aide de cette méthode:

Causes	Effet
Equipements	Coût de maintenance
Défaillances	Coût d'indisponibilité
Articles en stock	Valeur de consommation

Tableau II.1: La minorité des Causes responsables de la majorité des effets

B. Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leurs Criticité

L'AMDEC occupe une place importante dans l'optimisation de la fonction maintenance. En effet les coûts de maintenance sont répartis en deux types : coûts directs et coûts indirects. Parmi les coûts indirects figure les coûts d'indisponibilité de matériel. L'étude AMDEC a pour objectif de réduire ces temps d'indisponibilité et améliorer la fiabilité des équipements dès la conception (voir figure II.2) .

Ce qui permet d'optimiser cette composante tout en identifiant les éléments les plus critiques et en aidant les décideurs de service maintenance à définir la politique de maintenance appropriée. [9].

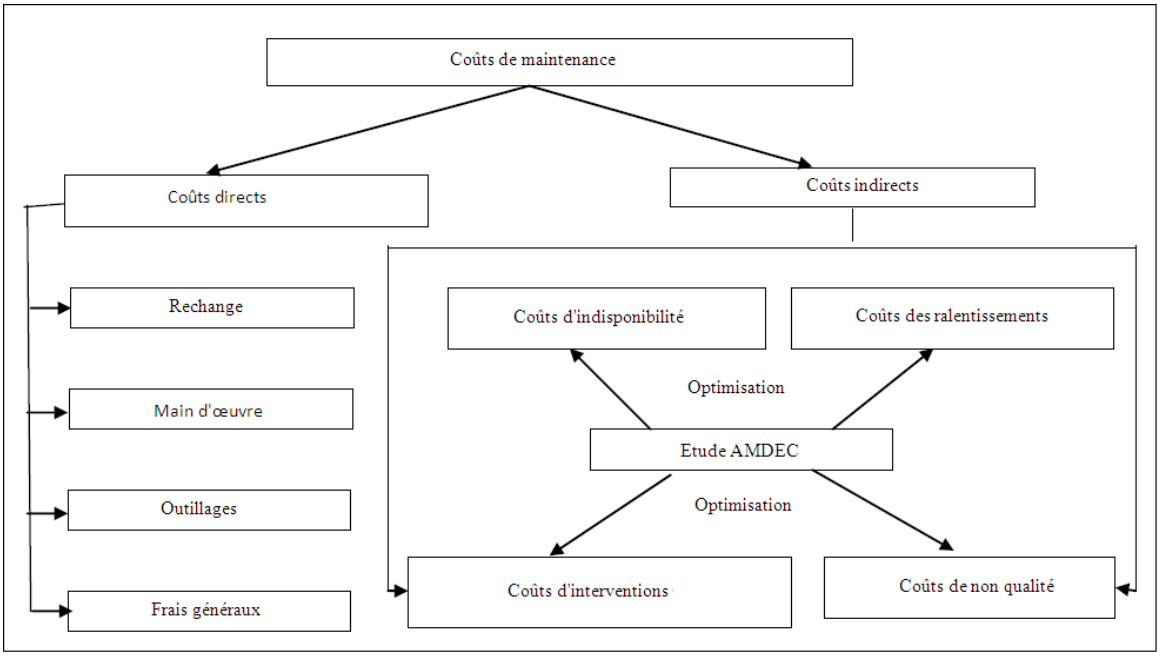


Figure II.2: Optimisation de la maintenance par l'AMDEC.

L'analyse des modes de défaillance de leurs effets et leur criticité (AMDEC). C'est l'analyse inductive de recherche des effets des pannes des composants sur les sous-systèmes et le système.

Elle permet de recenser les défauts à détecter lors des opérations de maintenance. Il s'agit de cerner les conditions de travail, les types d'avaries à identifier et encore:

- 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 leurs efficacités, et pour les comparer et décider. [9].

C. Méthodologie de l'AMDEC

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 démarche pratique de l'AMDEC comprend 4 étapes :

Etape 1 : initialisation de l'étude qui consiste :

- la définition de la machine à analyser.
- la définition de la phase de fonctionnement.

Etape 2 : description fonctionnelle de la machine qui consiste :

- décomposition structurelle (nombre d'organe)
- les liens entre les différentes structures (sous ensemble)

Etape 3 : analyse AMDEC qui consiste :

- analyse des mécanismes de défaillances (causes de la défaillance)
- effet de la défaillance
- évaluation de la criticité à travers :
  - la probabilité d'occurrence F,
  - la gravité des conséquences G,
  - la probabilité de non détection D.
- la criticité est définie par le produit : Cr = F.G.D
- propositions d'actions correctives.

Etape 4 : synthèse de l'étude/décisions qui consiste :

- bilan des travaux.
- décision des actions à engager.

Feuille d'analyse

MODE DE DEFAILLANCE, ANALYSE DES EFFETS ET DE LA CRITICITE de:									
					Equipements:	Sous système:		Système:	
(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)
N°	Dénomination	Fonction	Mode De Défaillance	λ	Fonctionnement résultat et effets sur L'équipement Sous système Le système	Symptôme observables	Méthode de préventi on	Criticité	Recommand ations Et remarques

Tableau II.2. AMDEC.

- explication des colonnes :

- En colonne a :

Le numéro d'ordre de l'événement envisagé pour le sous-système considéré suivant l'arbre produit.

- En colonne b :

La désignation de l'organe considéré.

- En colonne c :

La fonction de cet organe.

- En colonne d :

Le mode de défaillance présumé:

* rupture d'un organe mécanique

* corrosion – usure

* fissuration par fatigue

- En colonne e :

La probabilité d'occurrence de l'événement envisagé .Elle est évaluée par classe (ordre de grandeur) .Ces classes sont représentées par les lettres A, B, C, D :

*A : événement quasi impossible : $\mathbf{P < 10^{-9}}$

* B : : événement très improbable : $\mathbf{10^{-9} < P < 10^{-6}}$

* C : événement improbable : $\mathbf{10^{-6} < P < 10^{-3}}$

* D : événement possible : $\mathbf{P > 10^{-3}}$

- En colonne f :

La conséquence de la défaillance envisagée sur l'organe, le sous-système, le système

- En colonne g :

Les symptômes observables pouvant aider la maintenance conditionnelle

- En colonne h :

La méthode de compensation ou de prévention

- En colonne i :

Le niveau de criticité sur le système exprimé par un chiffre :

* 1 : très critique

* 2 : critique

* 3 : pas critique

* 4 : sans in fluence

On rajoute:

1- Les méthodes de détection de la panne au niveau considéré.

2- La méthode employée pour isoler la panne.

- En colonne j :

Les recommandations aux concepteurs.

- La méthode A-B-C a été retenue pour effectuer la classification des machines.

Et Cet analyse d'AMDEC représente bien d'une façon synthétique les éléments les plus significatifs d'un lot suivant les critères de regroupement choisis.

II.3. LA MAINTENANCE BASEE SUR LA FIABILITE

La MBF (la maintenance basée sur la fiabilité) est un véritable outil de conception de la maintenance préventive optimisé pour chaque équipement; en conciliant les doubles enjeux disponibilité/coût global de possession des installations.

Parmi les outils ou méthodes qu'elle utilise, la matrice de criticité, les grilles d'analyse de mode de défaillances, de leurs effets et de leur criticité (AMDEC) et le logigramme de décision. [7].

Cette technique apporte une connaissance approfondie du fonctionnement et des interactions d'un système, par l'analyse systématique des relations causes-effets [7].

Elle occupe une place importante dans l'optimisation de la fonction maintenance. Aujourd'hui, l'intérêt économique de la fonction maintenance réside dans l'anticipation des anomalies potentielles, plus que dans les actions correctives, voire la maîtrise du processus de production. Son ambition est de guider la démarche industrielle dans une voie d'augmentation des moyens organisationnels, techniques et d'information. [7].

La MBF a pour objectifs [7] :

- de définir et de justifier en conception les actions de maintenance programmées à mettre en place.

- de redéfinir en exploitation les actions de maintenance programmée. - d'assurer et d'augmenter les performances de l'outil de production en matière de sûreté de fonctionnement.

- de déterminer les recommandations relatives aux enjeux technico-économiques (investissement, rénovation, procédure, justification).

De nombreuses méthodes ont été développées ces dernières années à travers les Petites et Moyennes Entreprises (PME) et les Petites et Moyennes Industries (PMI) dans le monde afin de répondre à ces problèmes.

La variété des méthodes provient de l'hétérogénéité des domaines concernés, du mode de raisonnement utilisé et de la diversité des objectifs. [7]

Le travail de. [9] montre comment l'exploitation des données du retour 116 d'expérience recueillie à l'aide d'une démarche MBF (Maintenance Basée sur la Fiabilité) concourt à une meilleure organisation de la maintenance des équipements de production des PME/PMI.

Et Grâce à son principe de limitation de l'étude, de hiérarchisations successives et des données du retour d'expériences seules les matériels critiques nécessitent que leur comportement soit surveillé.

Et pour l'étude d'un équipement, les défaillances sont classées par ordre d'importance. Les plans de maintenance doivent évoluer, être optimisés en fonction des remarques des opérateurs de maintenance et de production. L'amélioration des actions de maintenance se fera à l'aide des rapports d'intervention et des indicateurs du tableau de bord. [7].

Présente un développement d'outils d'aide à la décision pour la définition des stratégies de maintenance dans les scieries, Sa mise en place d'un programme de maintenance planifié se fait en quatre étapes.

Dix scieries européennes (PME) ont choisi d'adapter cette approche MBF À chaque étape de ces deux méthodes [9].

Un classement basé sur la criticité des éléments qui sont analysés est réalisé, et seuls les éléments les plus critiques seront conservés pour la suite de l'étude.

Compte tenu des types de machines du complexe nous pouvons asseoir une méthodologie adaptée pour notre application pour une meilleure gestion de la maintenance des équipements de production du complexe,Elle s'appuie sur un découpage tout d'abord géographique et ensuite fonctionnel (décomposition topo fonctionnelle)**.**

II.4. LA MAINTENANCE PRODUCTIVE TOTALE (TPM)

II.4.1 Historique

Les experts attribuent L'origine du terme « Total Productive Maintenance » A l'équipementier électronique japonais Nippondenso pour l'industrie automobile à la fin des années 60.

La littérature TPM a commencé à se constituer à la fin des années 80, avec des livres et des articles écrits par des Japonais (avec comme chef de file Seiichi Nakajima) et des Américains. La première grande conférence sur la TPM a eu lieu aux Etats-Unis en 1990.

II.4.2 Objectif

L'objectif des travaux concernant la TPM et son application dans les entreprises traite de nombreux aspects (direction + ingénierie + production + maintenance + qualité). [9]

II.4.3 Implantation de la TPM

C'est JIPM qui recommande l'application de cette méthode. Pour le bon déploiement de sa démarche elle est décrite d'une manière synthétique (Voir figure II.3) et se compose de 4 phases, 12 étapes et 8 piliers.

Etapes d'installation de la TPM

Le schéma intitulé 'Programme de développement de la TPM', ci-dessous, présente les quatre phases à suivre pour le lancement de la TPM : préparation, lancement, redéploiement, développement, accompagnées de 12 étapes et s'appuie sur 8 piliers.

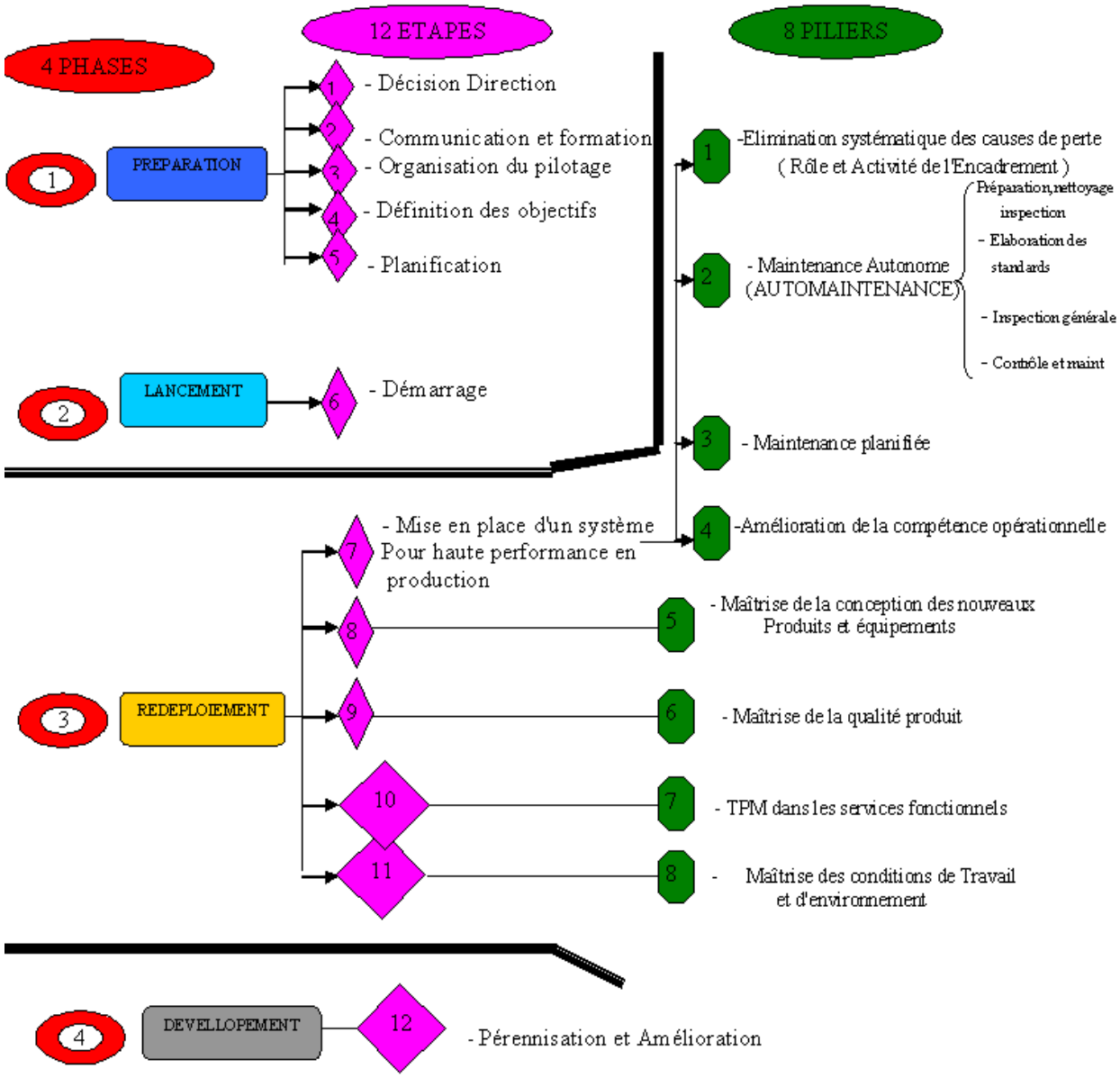


Figure II. 3: Etapes d'installation de la TPM

Le projet S'inscrit dans une démarche globale d'excellence industrielle développée avec succès, depuis 1994, sur le site de Desvres [7].

Il s'agit d'un déploiement du plan de maintenance qualité sur une ligne de galvanisation au profit du groupe Arcelor.

Le concept de base de la maintenance de la qualité consiste à gérer les conditions de la machine permettant d'empêcher les défauts. Il s'appuie sur la maintenance autonome et sur des opérateurs, formés et entraînés, connaissant leurs équipements. [9].

On site ici le projet d'intégration qui à réaliser une étude pour déterminer qu'elles sont les facteurs de succès et d'échecs de la TPM dans les entreprises (voir figure II.4).

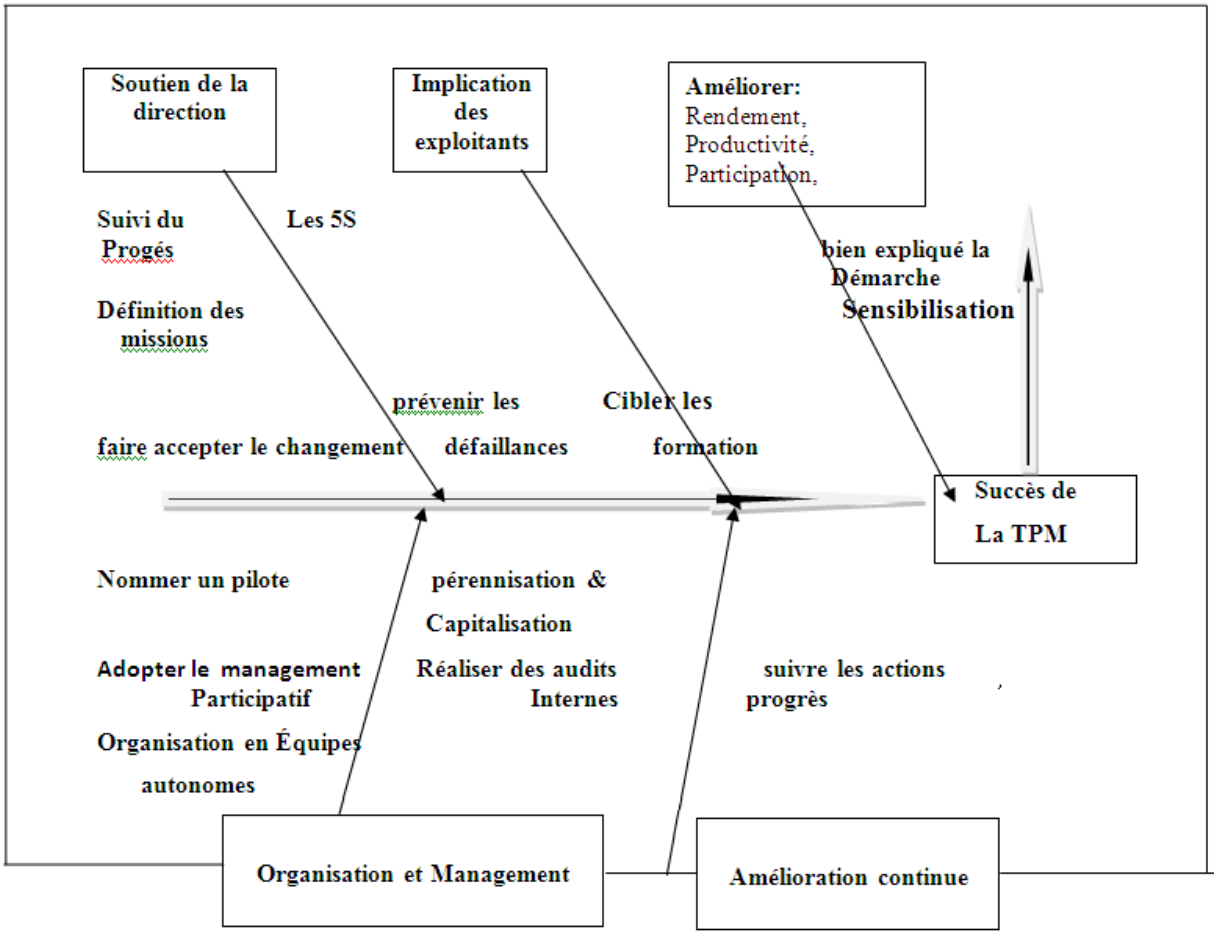


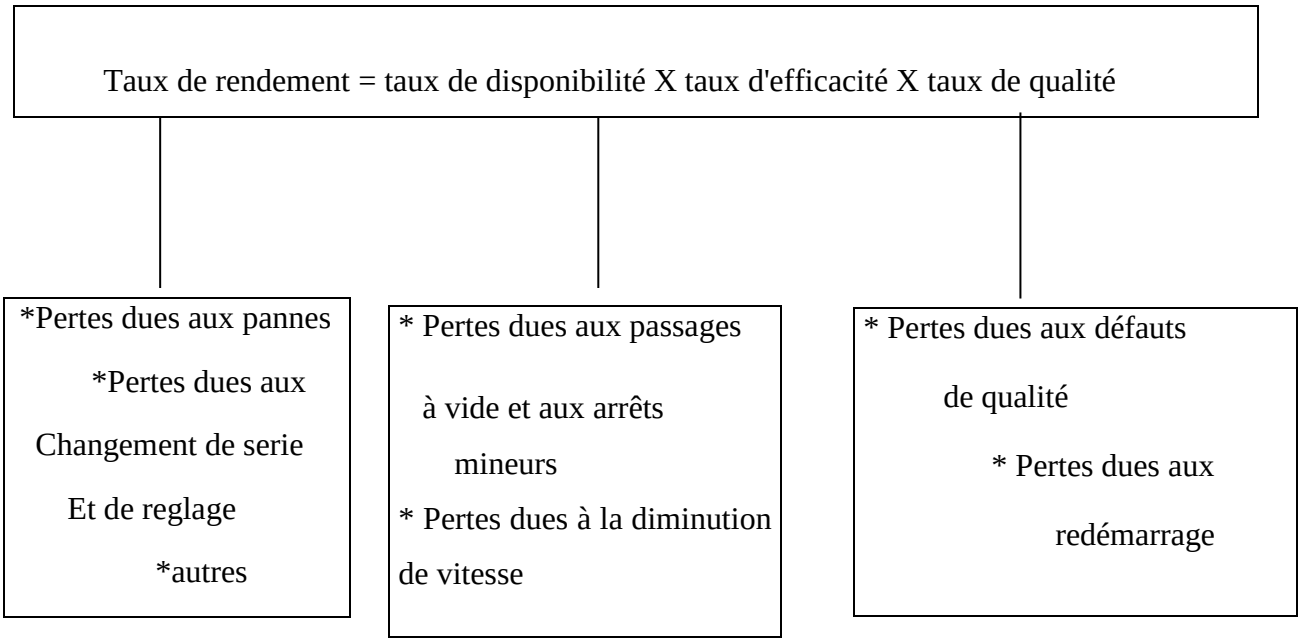
Figure II. 4: les cinq principaux facteurs de succès de la démarche TPM

L'exploitation du TRS dans une démarche TPM constitue un moyen majeur d'amélioration de la performance industrielle. [9].

C'est un indicateur d'alerte des dérives des résultats de production et à ce titre il ne doit pas être négligé.

II.4.4. Définition du TRS :

Le Taux de Rendement Synthétique est un indicateur de productivité. Il mesure la performance d'un système de production**.** Il permet d'assurer le suivi des démarches du progrès, ainsi que la mise en oeuvre d'un outil de pilotage de la production. Il se définit par le produit : [7].



$$\mathbf{TRS = Do \times Tp \times Tq} \qquad \text{(II.1)}$$

Les composantes du TRS se définissent de la manière suivante:

- Disponibilité opérationnelle (Do) : c'est le rapport du temps de fonctionnement sur le temps requis.

$$Do = \frac{\text{Temps de Fonctionnement}}{\text{Temps Requis}} = \frac{TF}{TR} \qquad \text{(II.2)}$$

- Le Taux de performance (Tp) : c'est le rapport du temps net sur le temps de fonctionnement.

$$Tp = \frac{\text{Temps Net}}{\text{Temps de Fonctionnement}} = \frac{TN}{TF} \qquad \text{(II.3)}$$

- Le Taux de qualité (Tq) : c'est le rapport du temps utile sur le temps net.

$$Tq = \frac{\text{Temps utile}}{\text{Temps Net}} = \frac{TU}{TN} \qquad \text{(II.4)}$$

C'est un super "Ratio"

$$\textbf{TRS} = (TF / TR)\ X\ (TN / TF)\ X\ (TU / TN) = \frac{TU}{TR} \qquad (II.5)$$

On peut donc définir le TRS comme ce que l'entreprise vend « Bon », par rapport à ce qu'elle pourrait vendre si tout était parfait dans l'entreprise.

$$\text{Et pratiquement} \quad \textbf{TRS} = \frac{NPB}{NTPR} = \frac{\text{Nombre de pièces bonnes}}{\text{Nombre Totale de pièces réalisées}} \qquad (II.6)$$

$$= \quad NPB\ x\ \frac{Tcr}{Tr} \qquad (II.7)$$

Avec

Tcr : Temps de cycle de référence

Tr : Temps requis

A. Sur quoi faut-il intervenir pour améliorer le TRS ?

La chasse aux pertes vise à convertir les pertes en gains, c'est à dire les gaspillages en économies.

Elle débute par une indispensable phase de mesure et d'analyse.

Durant cette phase, on compare le fonctionnement réel du système de production par rapport à une situation de référence dans laquelle il fonctionnerait de manière optimale.

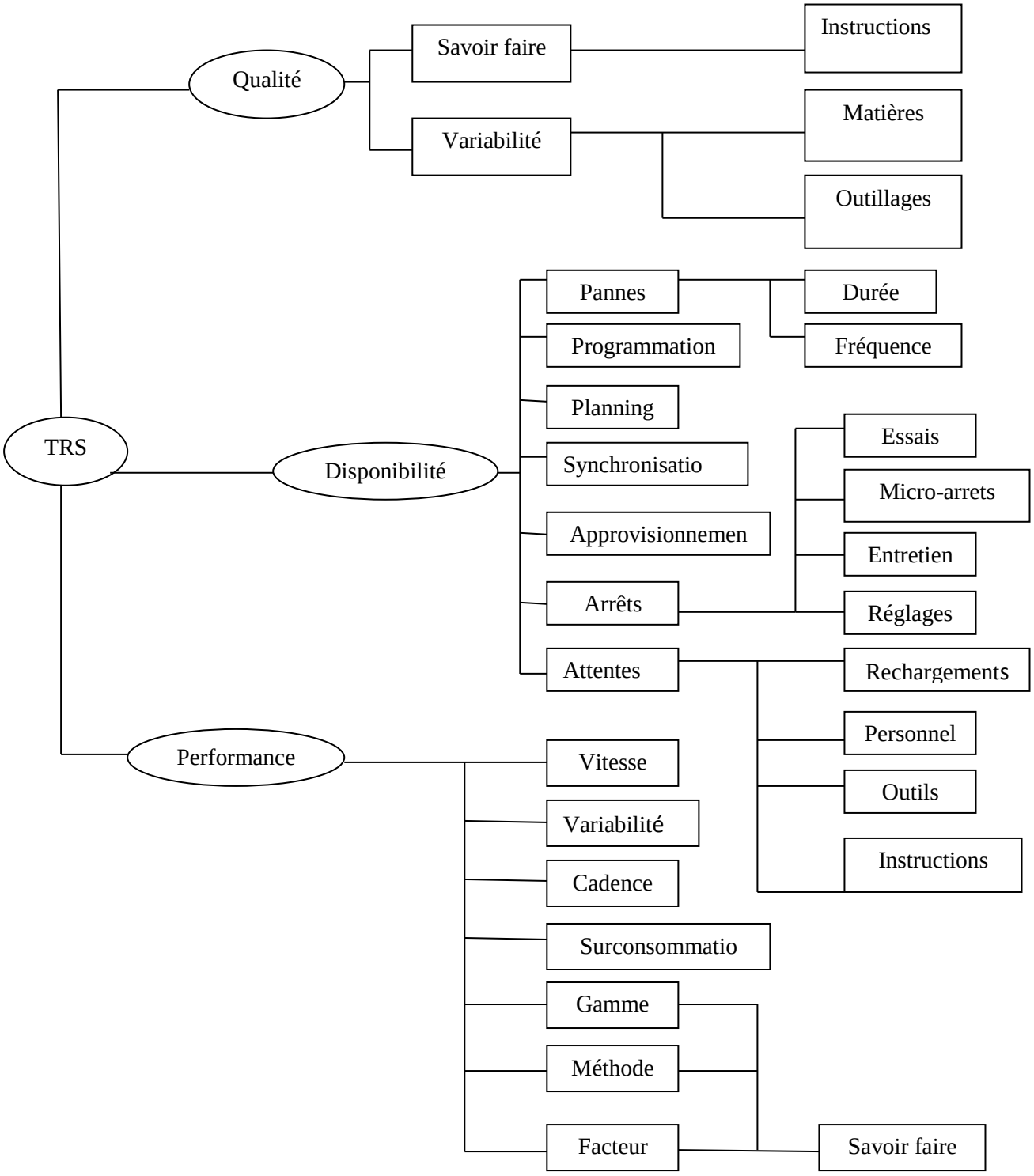


Figure II. 5: TRS

Il ressort de ces indicateurs que l'amélioration de la capacité productive d'un système passe par la maîtrise des différents temps de chaque système :

- diminuer les arrêts induits et cela par une bonne organisation de la gestion des stocks, une bonne organisation du service du personnel

- diminuer les causes extérieures telles que l'absence d'énergie, par l'achat des groupes électrogènes (automatiser le fonctionnement des systèmes).

- Diminuer les arrêts propres et cela par le choix d'une bonne politique de maintenance (orienter cette politique vers la maintenance préventive) pour une bonne disponibilité et une fiabilité des équipements, les arrêts fonctionnels doivent être programmés et respectés

II.4.5. Les approche de calcul de TRS

En se basant sur des recherches bibliographies, il nous parait légitime que le TRS est le meilleur indicateur pour cibler les actions prioritaires permettant de faire face aux points faibles de la productivité. [9].

Les avantages de la mise en place de cet indicateur dans un atelier et les gains que l'on peut en tirer, qui se résume : convergence vers le même indicateur (TRS) les efforts de différents services, avec à la clé, une diminution spectaculaire des coûts de revient. Comme il existe peu d'actions aussi bénéfiques : [9].

- Accroissement de la productivité (davantage de produits fabriqués en moins de temps)
- Amélioration de la qualité (moins de déréglages)
- Diminution des coûts de maintenance
- Réduction des stocks de sécurité entre les phases successives du processus de production
- Diminution des coûts de main
- D'oeuvre (un même opérateur peut conduire davantage de machines, puisqu'elles nécessitent moins de surveillance)
- Réduction des besoins en investissements (moins de machines pour la même production).

Dans le même travail il a présenté un exemple de mise en place et de suivi de cet indicateur dans deux entreprises différentes. Ces entreprises, qui n'ont pas la même branche d'activité, sont CATERPILLAR France et PYLE Plasturgie.

Et conclura par les différentes façons de mesurer le TRS dans ces deux entreprises.

Le calcul du TRS chez PYLE s'effectue chaque semaine. Il est basé sur deux critères importants :

- Le nombre d'heures de pièces bonnes
- Le temps Requis.

Le TRS chez CATERPILLAR

Formule de calcul utilisée est: La TRS $= \frac{\text{Temps Utile}}{\text{Temps Requis}}$ (II.8)

Temps utile : c'est le nombre de pièces bonnes (le temps pendant lequel la machine fonctionne bien). Il s'agit du temps marqué sur la gamme.

Les points-clés de l'efficacité de la démarche TPM est

1/ La mobilisation de l'ensemble de l'usine en s'attaquant à toutes les pertes de capacité indépendamment de leur nature : technique, organisationnelle ou qualitative.

Et cela grâce à l'auto maintenance qui fait responsabilisée le personnel de production dans le fonctionnement de son équipement.

2/ Sa mise en place est conditionnée par un soutien continu de la Direction pendant plusieurs années or il faut opérer un suivi continu à moyen, voire long terme.

3/ Conduire la démarche TPM de façon stricte et rigoureuse, au moyen d'étapes structurées, comme le précise S. Nakajima dans La Maintenance Productive Totale.

Le Taux de Rendement Synthétique peut s'obtenir de trois manières :

a-TRS calculé par le rapport temps utile / temps requis en fonction des temps (délais)

b- TRS calculé par le rapport du nombre de pièces réalisés / nombre de pièces théoriquement réalisables en fonction des coûts (nombre de pièces)

c- TRS calculé par la multiplication des trois indicateurs de performance :

Taux de qualité x taux de performance x disponibilité opérationnelle

II.5. Conclusion

Cette revue bibliographique montre bien la pertinence des problèmes d'optimisation et de gestion de la maintenance par les différentes méthodes, parmis leurs approches qui ont passés en revue, nous nous constatons que :

L'optimisation de la maintenance, 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, en utilisant l'analyse de Pareto (méthode A-B-C), on peut alors faire un plan d'action sélectif qui s'attaque aux éléments essentiels. On optimise donc l'action en ne s'intéressant qu'aux éléments qui sont responsables du coûts très élevés d'indisponibilité de matériel , l'AMDEC nous permet d'améliorer la fiabilité des équipements , voire réduire les coûts indirects de la maintenance.

Chapitre III

LA MÉTHODE D'AMDEC

III.1.INTRODUCTION

La méthode AMDEC a été utilisée originellement dans le traitement des risques potentiels inhérents aux activités de production de l'armement nucléaire. Progressivement, elle a été adaptée à l'ensemble des activités à risques (nucléaire civil ; domaine aéronautique, spatial ; grands travaux), puis a été intégrée dans les projets industriels. De nos jours, son emploi est très répandu dans le monde industriel soit pour améliorer l'existant, soit pour traiter préventivement les causes potentielles de non-performance des nouveaux produits, procédés ou moyens de production.

III.2.HISTORIQUE DE LA METHODE

Historiquement, la méthode initiale est appelée Analyse des modes de défaillances et de leurs effets (AMDE). Il s'agit d'une méthode d'analyse préventive de la sûreté de fonctionnement (fiabilité, disponibilité, maintenabilité, sécurité). Développée aux Etats-Unis, dans l'industrie aéronautique, au début des années soixante, elle a pris son essor en Europe au cours des années soixante-dix dans l'industrie automobile, chimique, nucléaire. La méthode AMDEC a ajouté l'estimation de la dimension critique des risques.[10]

III.3.DEFINITION

L'AMDEC est une traduction de l'anglais FMECA (Failure Mode Effects and Criticality Analysis). Elle est plus complète que l'AMDE (FMEA) car elle comprend également la criticité.

L'AMDEC est une méthode d'analyse utilisable dans tous les domaines, souvent Complémentaires à d'autres méthodes existantes. Elle permet

D'étudier la fiabilité à partir de l'étude des défaillances des pièces du processus étudié. Cette méthode systématique doit être menée de façon pertinente pour éviter d'être trop lourde si le niveau de détail est exagéré ou trop superficielle et donc inutile si le niveau de détail est insuffisant. [11]

III.3.1Principe de l'AMDEC

L'AMDEC repose sur :

(1) La notion de décomposition de l'équipement en élément simple, via la recherche des fonctions de l'équipement.

(2) La notion d'effet constatée par l'utilisateur final.

(3) La notion de criticité au travers :

_ La fréquence d'apparition des défaillances.

_ La gravité des conséquences.

_ La probabilité de ne pas découvrir l'effet.[12]

III.3.2Buts de l'AMDEC

L'AMDEC est une technique qui conduit à l'examen critique de la conception dans un but d'évaluer et de garantir la sûreté de fonctionnement (sécurité, fiabilité, maintenabilité et disponibilité) d'un moyen de production.

L'AMDEC doit analyser la conception du moyen de production pour préparer son exploitation, afin qu'il soit fiable et maintenable dans son environnement opérationnel. Pour parvenir à ce but, le propriétaire de l'installation exige :

— qu'elle soit intrinsèquement fiable

— de disposer des pièces de rechange et des outillages adaptés

— de disposer des procédures ou aides minimisant les temps d'immobilisation du moyen par la diminution du temps d'intervention (diagnostic, réparation ou échange et remise en service)

— que les personnels (d'exploitation et de maintenance) soient formés ;

— qu'une maintenance préventive adaptée soit réalisée, afin de réduire la probabilité d'apparition de la panne.

L'AMDEC va permettre d'atteindre ces objectifs en traitant systématiquement les paramètres suivants

Recensement et définition des fonctions :

— du moyen de production.

— des sous-systèmes.

— des composants.

Analyse des défaillances par :

— le recensement des modes de défaillance.

— l'identification des causes de défaillance.

— l'évaluation des risques.

— la recherche des modes de détection.

Hiérarchisation des défaillances avec la cotation de la criticité qui va permettre d'estimer, pour chaque défaillance, trois critères de définition :

— la fréquence d'apparition de la défaillance (indice F).

— la gravité des conséquences que la défaillance génère (indice G).

— la non-détection de l'apparition de la défaillance, avant que cette dernière ne produise les conséquences non désirées (indice D).

Chacun de ces critères sera évalué avec une table de cotation établie sur 5 niveaux, pour le critère de gravité, et sur 4 niveaux, pour les critères de fréquence et de non-détection. Les tableaux **1**, **2** et **3** présentent un exemple de barème de cotation de la criticité. [13]

L'indice de criticité est calculé pour chaque défaillance, à partir de la combinaison des trois critères précédents, par la multiplication de leurs notes respectives :

$$C = F \times G \times D$$

Valeurs de F	Fréquence d'apparition de la défaillance
1	Défaillance pratiquement inexistante sur des installations similaires en exploitation, au plus un défaut sur la durée de vie de l'installation.
2	Défaillance rarement apparue sur du matériel similaire existant en exploitation (exemple : un défautpar an) ou Composant d'une technologie nouvelle pour lequel toutes les conditions sont théoriquement réunies pour prévenir la défaillance, mais il n'y a pas d'expérience sur du matériel similaire.
3	Défaillance occasionnellement apparue sur du matériel similaire existant en exploitation (exemple : un défaut par trimestre).
4	Défaillance fréquemment apparue sur un composant connu ou sur du matériel similaire existant en exploitation (exemple : un défaut par mois) Ou Composant d'une technologie nouvelle pour lequel toutes les conditions ne sont pas réunies pour prévenir la défaillance, et il n'y a pas d'expérience sur du matériel similaire.
(1) L'indice de fréquence F est établi pour chaque association composant, mode, cause.	

Tableau III.1 – Indice de fréquence F

Valeurs de G	Gravité de la défaillance (1)
1	**Défaillance mineure** : aucune dégradation notable du matériel (exemple : TI 10 min).
2	**Défaillance moyenne** nécessitant une remise en état de courte durée (exemple 10 min < TI 30 min).
3	**Défaillance majeure** nécessitant une intervention de longue durée (exemple 30 min < TI 90 min) ou Non-conformité du produit, constatée et corrigée par l'utilisateur du moyen de production.
4	**Défaillance catastrophique** très critique nécessitant une grande intervention (exemple TI > 90 min) ou Non-conformité du produit, constatée par un client aval (interne à l'entreprise) ou Dommage matériel important (sécurité des biens).
5	**Sécurité/Qualité** : accident pouvant provoquer des problèmes de sécurité des personnes, lors du dysfonctionnement ou lors de l'intervention ou Non-conformité du produit envoyé en clientèle.
(1) L'effet de la défaillance s'exprime en termes de durée d'arrêt, de non-conformité de pièces produites, de sécurité de l'opérateur. TI : temps d'interruption.	

Tableau III.2 – Indice de gravité G

Valeurs de D	Non-détection de la défaillance (1)
1	Les dispositions prises assurent une **détection totale** de la cause initiale ou du mode de défaillance, permettant ainsi d'éviter l'effet le plus grave provoqué par la défaillance pendant la production.
2	Il existe un signe avant-coureur de la défaillance mais il y a risque que ce signe ne soit pas perçu par l'opérateur. La **détection est exploitable**.
3	La cause et/ou le mode de défaillance sont difficilement décelables ou les éléments de détection sont peu exploitables. La **détection est faible**.
4	Rien ne permet de détecter la défaillance avant que l'effet ne se produise : il s'agit du cas **sans détection**
(1) Signes avant-coureurs : bruit, vibration, accélération, jeu anormal, échauffement, visuel...	

Tableau III.3 – Indice de non-détection D

III.3.3.Domaines d'application de L'AMDEC

L'AMDEC, par l'évaluation de la criticité des conséquences des défaillances, permet de les classer par importance et de préparer un plan d'action visant à optimiser le moyen de production et, ainsi, à réduire la criticité (actions sur la probabilité d'apparition de la défaillance et/ou sur la gravité de la conséquence).[14]

Domaines d'application de l'AMDEC
Années 1950 : la méthode **FMECA** (Failure Modes, Effects and Criticality Analysis) est introduite aux États-Unis dans le domaine des armes nucléaires.
Années 1960 : cette méthode est mise en application en France sous le nom d'**AMDEC** pour lesprogrammes spatiaux et aéronautiques.
Années 1970 : son application est étendue aux domaines du nucléaire civil, des transports terrestres et des grands travaux.
Années 1980 : l'AMDEC est appliquée aux industries de produits et de biens d'équipement de production.

III.4.Types d'AMDEC

Il existe globalement trois types d'AMDEC (figure III.3) 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.[14]

III.4.1. 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 oeuvre 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.[14]

III.4.2.AMDEC-Processus

L'AMDEC Processus est utilisée pour étudier les défauts potentiels d'un produit nouveau ou non, engendrés par le processus de fabrication. Elle est mise en oeuvre 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. [14]

III.4.3.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. [14]

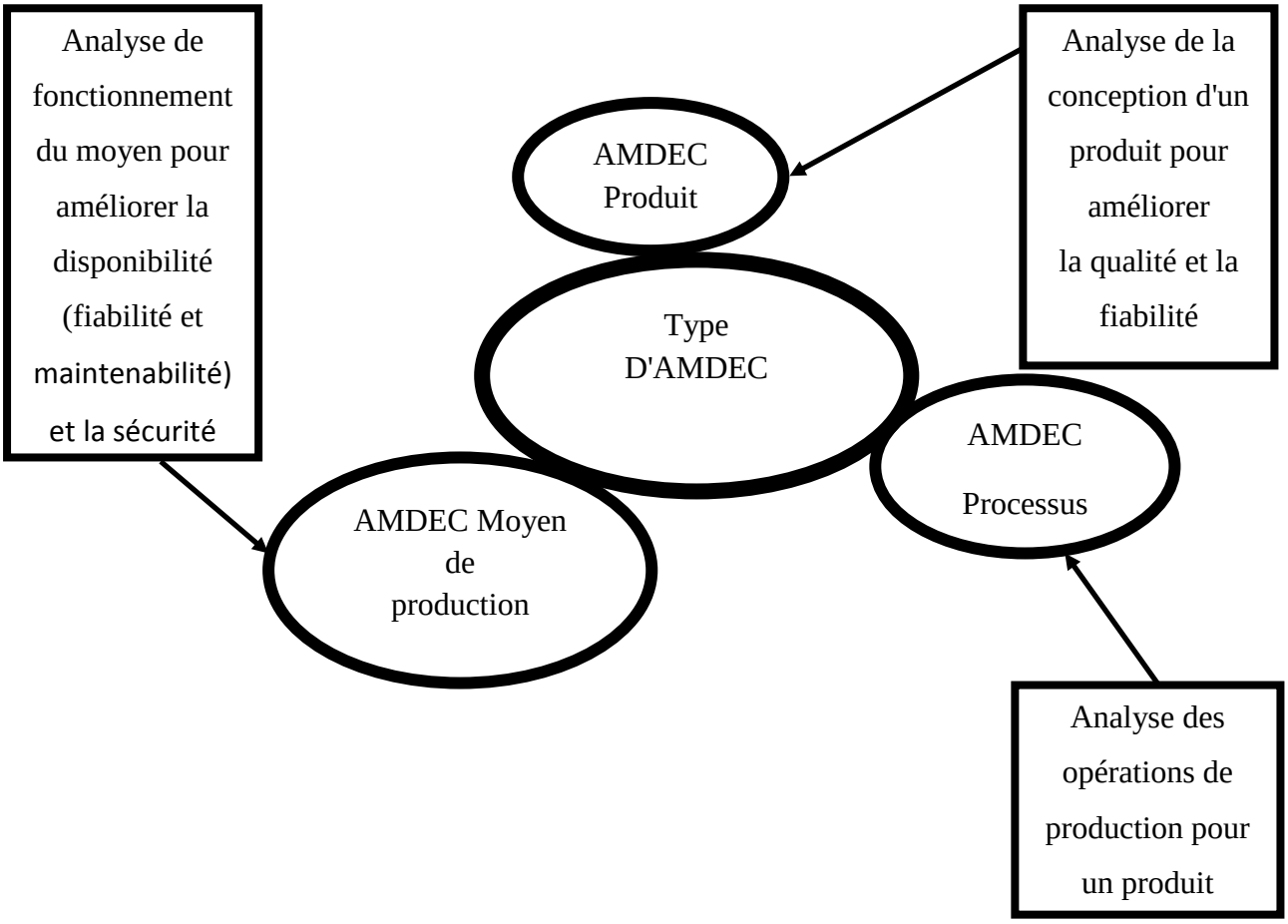


Figure III.1. Récapitulatif des types d'AMDEC

III.5.Réalisation d'une AMDEC

III.5.1.Préparation à L'AMDEC

La méthode s'inscrit dans un cycle d'activités. En amont de l'AMDE ou AMDEC proprement dite, une analyse fonctionnelle doit avoir été réalisée. L'analyse fonctionnelle externe du système décrit ce qu'on attend de lui. Ces analyses fonctionnelles sont explicites dans le cadre de grands projets menés selon les référentiels qui les exigent. Dans de nombreux cas, elles sont implicites ou incomplètes. Il importe pour mener une AMDEC pertinente de rendre explicite ces informations. L'absence d'explicitation des exigences fonctionnelles externes et internes rend l'exploitation de L'AMDEC très périlleuse et potentiellement trompeuse. [14]

La validation des analyses fonctionnelles existantes ou la réalisation d'analyses fonctionnelles est une étape d'initialisation nécessaire pour aborder l'AMDEC.

III.5.2.Conduite de la méthode

L'AMDEC exploite une connaissance complète et précise du système. La démarche vadonc devoir réunir autant de personnes que nécessaire pour disposer de toute la connaissance du système. La base commune est constituée par l'image idéale du système atteignant ses objectifs que donnent les analyses fonctionnelles. Le groupe va l'enrichir de tous les fonctionnements induits par les défaillances. Il faut disposer de spécialistes capables de décrire les modes de défaillance susceptibles d'affecter chaque composant et il faut réunir ces spécialistes pour faire circuler l'information et que chacun puisse imaginer l'impact, sur la partie qu'il connaît bien, des modes de défaillance d'un composant décrits par un spécialiste de ce composant [14].

Toute AMDEC a comprendre une décomposition du système avec recensement des modes de défaillance susceptibles d'affecter chaque composant, puis une description des effets qu'on peut attendre de ces modes de défaillance et, si on va jusqu'à L'AMDEC, une valorisation de ces conséquences.

En fonction de l'exploitation prévue de l'AMDE(C) et de la norme utilisée, on y ajoutera :

- Les causes de défaillance
- La détection ou non de la défaillance
- Une évaluation de la probabilité de la défaillance
- Le ou les dispositifs susceptibles de pallier la défaillance.

On détaillera les effets en plusieurs stades (effets, immédiats, secondaires, lointains, etc.) ; on décomposera la criticité en plusieurs paramètres (gravité des conséquences potentielles, détectabilité de l'incident, fréquence de la défaillance, fiabilité des dispositifs susceptibles de la pallier, etc.).

On ajoutera les suites données à l'analyse proprement dite :

- Acceptation ou décision de la diminution du niveau de risque
- Actions correctives décidées
- Responsable de l'action corrective
- Délai de mise en oeuvre de l'action corrective
- Suivi de l'action corrective.

III5.3.Première étape : décomposition et modes de défaillances

La première étape va donc consister à décomposer le système en éléments plus petits.

Que doit-on obtenir à ce stade :

- Les éléments de la décomposition doivent être assez élémentaires pour qu'on puisse
- être sûrs de savoir leur attribuer tous leurs modes de défaillance ;
- Le groupe doit comprendre, pour chaque élément, au moins un spécialiste capable de
- décrire son fonctionnement nominal, ses modes de défaillance en détail ;
- Tout le système doit être couvert par la décomposition.

Il n'est pas important que la décomposition ait exactement la même finesse partout, mais il est très préférable que ces niveaux soient assez proches pour assurer que chaque composant du système est présent dans la décomposition. [14]

La décomposition doit être assez fine pour savoir identifier tous les modes de défaillance attachés à chaque élément ; une décomposition trop fine augmente inutilement la charge de travail et peut rendre plus difficile, sinon l'identification des modes de défaillance, du moins la prévision de leurs effets ; une décomposition trop grossière peut laisser les spécialistes en face d'éléments trop complexes pour décrire leurs modes de défaillance de façon assez simple et précise (cause, fréquence, mode de détection, possibilité de palliatif, etc.).

La première étape aboutit donc à une liste de fonctions « élémentaires » ou une liste de composants ou de sous-systèmes « élémentaires », chaque fonction, sous-système ou composant est affecté des différents modes de défaillance qu'il peut connaître. [14]

La connaissance des modes de défaillance susceptibles d'affecter un « composant » est déterminante pour la qualité du résultat de l'analyse. On peut s'appuyer sur plusieurs types de sources :

- Considérer a priori tous les écarts aux fonctionnements attendus
- Utiliser le retour d'expérience
- Utiliser la documentation disponible
- Ecouter les experts.

III.5.4.Deuxième étape : effets et criticités

La deuxième étape va consister à imaginer et décrire ce qui va se passer dans le système quand le mode de défaillance étudié est apparu. C'est à ce stade qu'on peut regretter de ne pas avoir décomposé le système. Si chaque mode de défaillance donne lieu à une cascade d'effets

qui dépendent de divers paramètres, la démarche va être difficile à conduire à terme et il vaut mieux revenir en arrière.

On doit décrire les effets vus de l'extérieur du système, les effets sur l'accomplissement des fonctions du cahier des charges, décrites par l'analyse fonctionnelle externe ; il s'agit aussi d'effets sur la sécurité du système ou de son environnement qui n'est recensés nulle ne part.

Pour imaginer précisément ces effets, il peut être utile de passer par des étapes intermédiaires : effets sur l'environnement immédiat du composant, effets sur les fonctions (analyse fonctionnelle interne) dans lesquelles le composant est impliqué, puis effets au niveau du sous-système et des fonctions de plus haut niveau, enfin effets finaux.

Si plus de trois niveaux sont nécessaires, pour se représenter la propagation de l'événement initial jusqu'aux conséquences finales, il est recommandable dedécomposer la démarche AMDE(C) en niveau système, sous-système, etc.

La criticité est donc une synthèse de plusieurs paramètres significatifs de l'importance des effets du mode de défaillance. Le choix des paramètres dépendra du sujet d'analyse et des résultats recherchés. Ce qui sera important sera d'expliquer de quoi cette criticité est faite.

Le tableau AMDE(C)

Le travail d'analyse est généralement présenté dans des tableaux de colonnes. Nombre de documents pédagogiques et de normes présentent leur tableau AMDE ou AMDEC. Il importe d'utiliser un tableau adapté à la démarche qu'on conduit et non d'emprunter un tableau tout fait. Le remplissage du tableau va guider la démarche ; il est donc essentiel qu'il reflète bien la démarche et les objectifs poursuivis.

En pratique, si ce noyau dur est toujours au centre sous une forme ou une autre, les divers tableaux AMDE/AMDEC utilisés sont plus riches. (Y. Mortureux 2012)

Le tableau va comprendre au minimum les éléments présentés dans le tableau 2.1.

Date :	**Version :**	**Analyste :**	
Système étudié :			
Composant	Mode de défaillance	Effets	Criticité

Tableau III.4 : Exemple de Tableau AMDEC

III.5.5.Troisième étape : synthèse

La conduite d'une analyse des modes de défaillance et de leurs effets sur un système réel conduit normalement à un volume très important de documentation. Ceci peut être unedes explications du fait que tant d'AMDE(C) encombrent des locaux d'archives sans avoir été lue et réellement utilisées. Aussi est-ce une étape essentielle que celle de la synthèse.

C'est une étape qui sollicite fortement l'expérience et l'expertise du responsable de l'analyse.

La synthèse doit à la fois :

- Refléter le contenu des analyses réalisées ;
- Répondre aux questions initialement posées.

Il est impossible de préconiser un type de synthèse ; en effet, il est très important que la synthèse soit structurée selon les besoins auxquels l'AMDE(C) doit répondre et on a vu qu'ils peuvent être de nature très diverses. En même temps, la synthèse ne doit rien perdre de ce que l'analyse a mis en valeur. C'est un travail qui ne peut être fait que par celui qui a bien intégré la demande et qui maîtrise la pertinence et les limites de l'analyse réalisée.

On trouvera couramment dans une synthèse des listes et des tableaux comme par exemple, la liste des pannes possibles regroupées par conséquences.

Chaque item de la liste est l'ensemble des pannes ayant une conséquence donnée. On appelle cela la liste des pannes résumées.

Si la fréquence présumée des défaillances a été évaluée, cette liste peut être ordonnée des plus fréquentes aux moins fréquentes. Ou bien si l'importance des conséquences a été évaluée, elle peut être ordonnée des plus graves aux moins graves ;

- Des classements des pannes en fonction de la gravité de leurs conséquences
- La liste des défaillances non détectables
- La liste des défaillances détectables et de leurs symptômes
- La liste des symptômes de défaillances, avec, pour chacun, les pannes qu'il peut révéler
- La liste des symptômes observables avec les mesures à rendre quand ils apparaissent
- La liste des actions de réductions de risque
- Une évaluation globale (fréquence-gravité) des risques dus aux défaillances des composants du système

- La liste des hypothèses (relatives à l'environnement ou à l'utilisation ou aux systèmes lui-même) qui ont dû être faites ou précisées pour mener l'analyse à terme (et qui sont donc des conditions de validité des conclusions).

III.6.EXPLOITATIONS DE L'AMDEC

III.6.1.Évaluation des défaillances

Ayant passé en revue à un niveau de détail poussé tout ce qui peut se produire quand une défaillance affecte un composant du système, il est souvent utile de prendre du recul et de donner une évaluation globale des risques dus à ces défaillances.

Pour cela, on reprend la liste des conséquences possibles au niveau du système et on regroupe les conséquences équivalentes en nature et en gravité.

Vouloir tout additionner peut donner une image trop réductrice et inexploitable. Il paraît plus efficace de garder séparées des conséquences sur la vie et la santé des personnes, des conséquences financières, des conséquences sur l'image ou des conséquences commerciales.
Pour chaque type de conséquences, il peut être significatif de retenir un, deux, trois ou quatre niveaux de gravité, par exemple :

- Catastrophe : plusieurs personnes tuées ou gravement blessées dans un gros accident ;
- Accident grave : une personne gravement blessée ou tuée ;
- Accident important : au moins une personne blessée, frappée d'une incapacité de travail ou d'une hospitalisation d'au moins 24 h ;
- Accident bénin : pas plus de quelques contusions, égratignures, etc., n'empêchant pas de reprendre le travail après soins et remises en ordre sur place.

Dans un espace « fréquence-gravité », chaque type de conséquences retenu va être représenté par un point dont une coordonnée représente le niveau de gravité et l'autre la fréquence estimée. Cette fréquence estimée résulte de l'addition des fréquences des défaillances qui peuvent en être la cause.
Cette représentation, très synthétique, permet bien d'évaluer globalement le système, mais n'indique pas dans quelles directions les améliorations les plus prometteuses seraient à rechercher. Elle permet d'asseoir une décision d'acceptation des risques ou le constat que certains risques doivent impérativement être réduits.

III.6.2.Actions correctives

Le tableau qui présente les modes de défaillance des composants, leurs effets et leurs criticités peut très naturellement être complété par les actions susceptibles de réduire cette dernière, soit en réduisant la fréquence estimée des défaillances initiales, soit en réduisant les

conséquences de ces modes de défaillance. Il importe d'être clair dans la présentation des actions correctives. Selon la demande et l'état d'avancement de l'analyse, on peut indiquer :

- Pour chaque mode de défaillance, toutes les actions correctives imaginables susceptibles de réduire sa criticité ;
- Uniquement pour les modes de défaillance dont la criticité dépasse un certain seuil, toutes les actions correctives susceptibles de la réduire en dessous de ce seuil ;
- Pour chaque mode de défaillance, les actions correctives susceptibles de réduire la criticité et pour lesquelles on sait donner une évaluation de la réduction de la criticité ;
- Uniquement les actions correctives soutenues et recommandées par le groupe ayant mené l'analyse ;
- Uniquement les actions correctives décidées et engagées ;
- La liste des actions correctives à potentiel d'amélioration intéressant.

Chaque action corrective est décrite avec la liste de toutes les défaillances sur lesquelles elle a un impact (en réduction de la fréquence de défaillance ou en réduction des conséquences, y compris, éventuellement les impacts négatifs). Ainsi, à chaque action corrective envisageable est associé un tableau complet de son action sur les risques dus aux défaillances des composants du système.

Il est souhaitable de conserver la trace de toutes les actions correctives qui ont pu être suggérées et étudiées à un moment ou un autre de l'analyse, même si elles ont été rapidement écartées. Mais il est aussi intéressant de produire un document synthétique permettant de préparer les décisions de choix des actions correctives retenues.

III.6.3.Suivi des corrections

Le tableau, sur lequel les actions correctives retenues figurent en face des défaillances et de leurs effets dont elles vont devoir réduire l'impact, peut être encore utilement développé. On peut y ajouter des colonnes pour suivre, par exemple :

- La date de début de mise en oeuvre
- Le responsable de l'action corrective
- L'avancement de celle-ci
- Les mesures d'impact de la mesure
- La modification que la mise en oeuvre de la mesure apporte à l'amde(c)
- La clôture de l'action.

III.6.4.Disponibilité

La disponibilité des moyens de production est leur aptitude à être en état d'accomplir une mission déterminée dans des conditions données, à un instant donné ou pendant un intervalle de temps donné.

Elle s'exprime par le ratio

$$D = \frac{\sum \text{temps de fonctionnement}}{\sum \text{temps de fonctionnement} + \sum \text{temps d'arrêt}}$$

La diminution des stocks intermachines dans les flux de production, ajoutée à l'automatisation et à l'informatisation des moyens deproduction, pose avec plus d'acuité le problème de la maîtrise de la disponibilité avec, pour objectifs, la rentabilisation des investissements industriels. [10]

L'analyse de disponibilité permet d'identifier globalement les sources de perte de performance en production et de déterminer les actions à mener (amélioration de la fiabilité et/ou amélioration de la maintenabilité). [10]

Le concepteur et l'exploitant des moyens de production disposent de nombreuses méthodes de construction de la disponibilité. Parmi ces méthodes, on peut recenser : le diagramme cause-effet, les arbres de défaillance, l'AMDE et l'AMDEC qui tiennent une place importante du fait de la rigueur qu'elles suggèrent.

Il est à noter que l'efficacité de la méthode dépendra largement du choix de l'outil en fonction des objectifs recherchés et de la situation initiale.

III.6.5.Caractéristiques essentielles de l'AMDEC

L'AMDEC est une méthode inverse de celle mise en oeuvre pour la conception, puisqu'elle est réalisée pour analyser comment un dispositif conçu peut être amené à ne pas fonctionner et quelles seront les conséquences de ses dysfonctionnements sur le dispositif de production, le produit fabriqué et la sécurité des personnes et des biens. L'AMDEC est une **méthode d'analyse inductive rigoureuse** qui permet une recherche systématique :

- des modes de défaillance d'un moyen de production (par exemple : perte d'une fonction, dégradation dans la réalisation d'une fonction, réalisation intempestive de la fonction) ;
- des causes de défaillance générant les modes de défaillance. Ces causes peuvent se situer au niveau des composants du moyen de production ou être dues à des sollicitations extérieures

- des conséquences des défaillances sur le moyen de production, sur son environnement, sur le produit ou sur l'homme ;
- des moyens de détection pour la prévention et/ou la correction des défaillances. La méthode est qualifiée d'inductive car son point de départ est la recherche des événements élémentaires pour en déduire les conséquences finales. Par opposition, les méthodes déductives consistent à analyser la conséquence finale pour en rechercher les événements élémentaires.

L'AMDEC est une méthode de travail de groupe qui réunit :

- des compétences dans le domaine des études et des méthodes.
- des expériences dans le domaine de la maintenance, desméthodes, de la fabrication et de la qualité.

La création du groupe de travail permet l'apport « vivant » de la connaissance, de l'expérience et du bon sens. Elle permet également la réunion des personnes qui n'ont pas tendance à se rencontrer naturellement dans un esprit constructif. La constitution du groupe de travail facilite l'association des différents acteurs à l'oeuvre commune qu'est la construction de la disponibilité.

III .7.CONCLUSION

Bien que simple, la méthode s'accompagne d'une lourdeur certaine et la réalisation exige un travail souvent important et fastidieux.

Une des difficultés est dans l'optimisation de l'effort entre le coût de l'analyse AMDEC (dépendant de la profondeur de l'analyse) et le coût de l'amélioration à apporter.

La solution pour surmonter le volume des entités à étudier est de conduire des AMDEC fonctionnelles. Cette approche permet de détecter les fonctions les plus critiques et de limiter ensuite l'AMDEC " physique " aux composants qui réalisent tout ou partie de ces fonctions.

La cohérence entre d'une part la gestion des AMDEC et des améliorations préconisées et d'autre part, les différentes versions du système est l'une des autres principales difficultés à résoudre.

Aussi, la méthode n'est pas bien adaptée aux projets en temps réel car elle ne permet pas de bien appréhender l'aspect temporel des scénarios.

Néanmoins l'AMDEC fournit :

- une autre vision du système,
- des supports de réflexion, de décision et d'amélioration,
- des informations à gérer au niveau des études de sûreté de fonctionnement et des actions à entreprendre.

Chapitre IV

APPLICATION DE LA METHODE AMDEC SUR LE MELANGEUR DE SABLE TYPE 1250

IV.1. INTRODUCTION

L'AMDEC machine a pour objective l'analyse de la conception et/ou de l'exploitation d'un moyen ou équipement de production pour améliorer la disponibilité et le sécurité de celui-ci :

L'AMDEC machine trouve deux cas d'application

L'AMDEC prévisionnelle :

En phase de conception pour vérifier certains points particuliers (éléments nouveaux, spécifique ou complexe) dont on cannait mal le comportement, elle permet l'amélioration de la conception.

L'AMDEC opérationnel :

En période d'exploitation pour améliorer la comportement d'un matériel critique , pour mettre au point un plan de maintenance**.**

IV.2 démarche de l'AMDEC :

IV.2.1. Étape I

IV.2.1.1. Définition du système a étudié

Le mélangeur de sable a moulage se prête a la préparation de sables de moulage de fonderie soit sur la base de sables frais liée d'argile , soit sur la base d'addition synthétiques telles que bentonite , le mélangeur est propre a la préparation de masse , a la préparation de mélangée de verre soluble et d'argile et aux mélanges avec addition de bitume

Avant de charger les sables au mélangeur, il faut nettoyer des restes de fer**.**

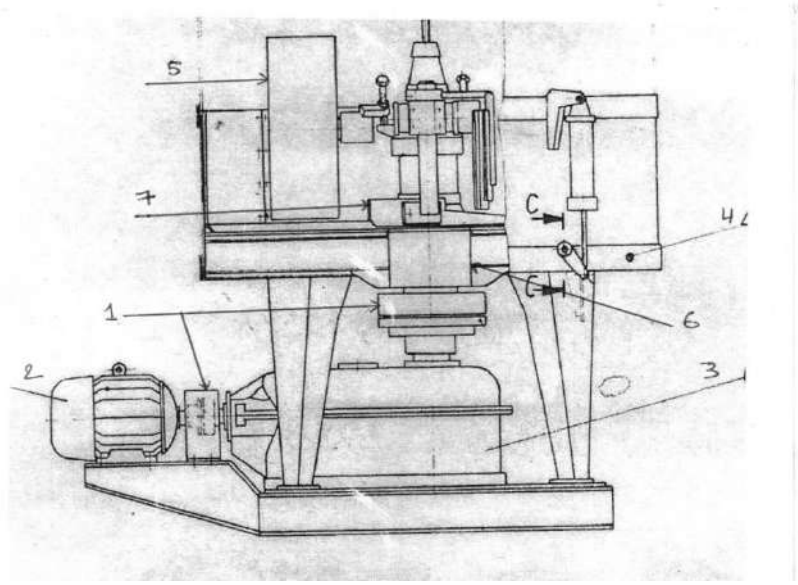


Figure IV.1. Le mélangeur de sable

N°	DÉSIGNATION
1	Moteur électrique
2	Accouplement (petite et grande vitesse)
3	Réducteur
4	bac
5	roue
6	cartouche
7	Recalât

Tableau IV.1: les pièces de mélangeur de sable

IV.2.1.2. Définition de la phase de fonctionnement

La phase de fonctionnement de la machine pour laquelle l'étude sera menée. pratiquement l'analyse AMDEC dans la phase de travail la plus pénalisante est les phases qui peuvent avoir de l'importance, qui ne doivent pas être négliges**.**

Dans notre cas la phase de fonctionnement est ' fonctionnement normal '**.**

(Marche normal)

IV.2.1.3. Définition des objectifs à atteindre

L'étude AMDEC que nous avons effectue est centrée sur des objectives qui sont :

- Disponibilité
- Sécurité
- Politique de maintenance

IV.2.1.4. Misse au point des supports de l'étude

La misse au point des supports de l'étude c'est la création des documents :

TABLEAU se saisie, feuille de synthèse qui constitue le dossier AMDEC,

Refléter l'état de connaissance sur le dysfonctionnement du système a un moment donne

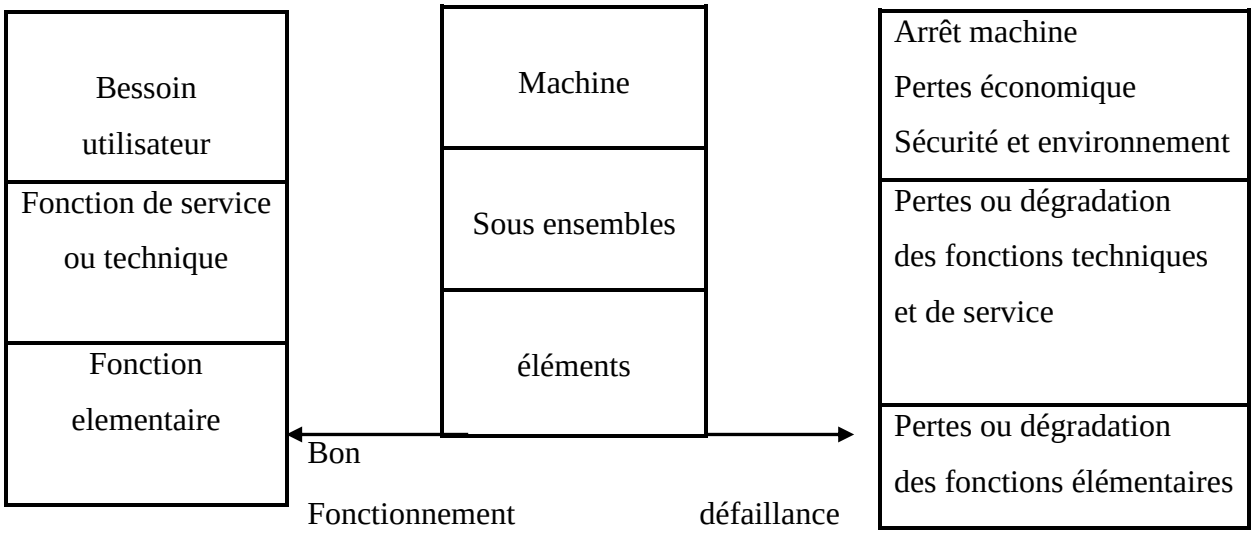
IV.2.2. Étape II

IV.2.2.1. Décomposition fonctionnelle du système

Il s'agit d'identifier clairement les éléments a étudier et les fonctions a assurer,

Ce qui nous permet d'expliquer clairement ''COMMENT CA MARCHE''**.**

Danc il faut bien approfondir la connaissance du système pour réaliser cette étape



on va découper le système a étudier en bloc fonctionnelle, sous forme arborescente selon autant de niveaux nécessaire ; en pratique pour chaque sous ensemble étudier , on applique l'analyse aux éléments dont on peut effectuer l'échange standard , en général les organes constitutifs et certains composants élémentaires pour lesquels on dispose suffisamment d'informations **.**

IV.2.2.2. Décomposition de la mélangeur en sous ensemble

Le mélangeur peut être décompose en trois ensembles

- Moteur électrique
- Réducteur de vitesse
- Accouplements

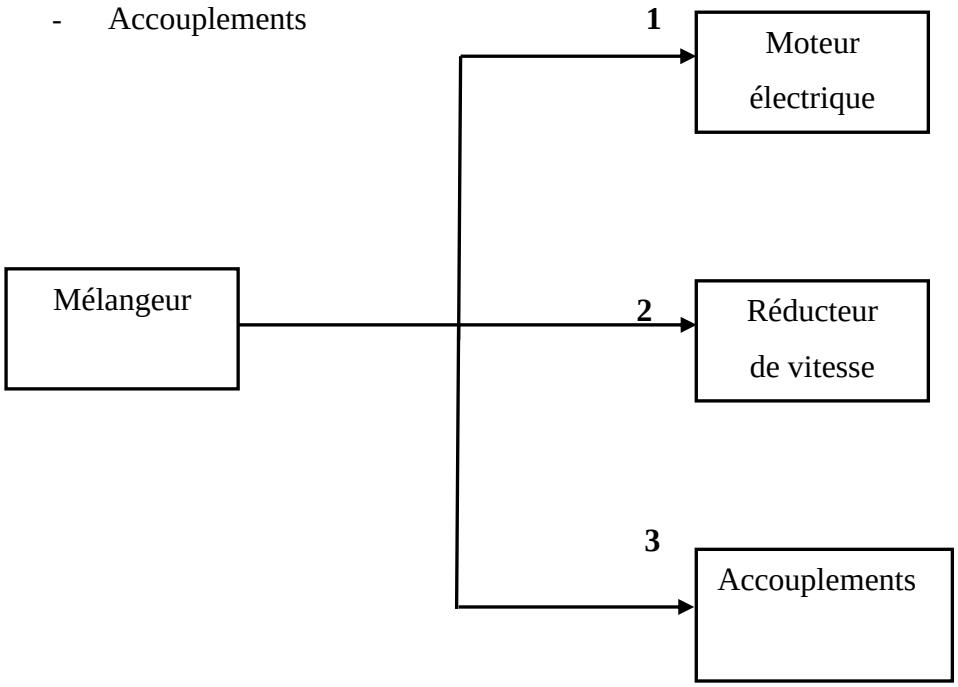


Figure IV.2. : Décomposition sous ensemble

Le moteur électrique est décompose comme suit :

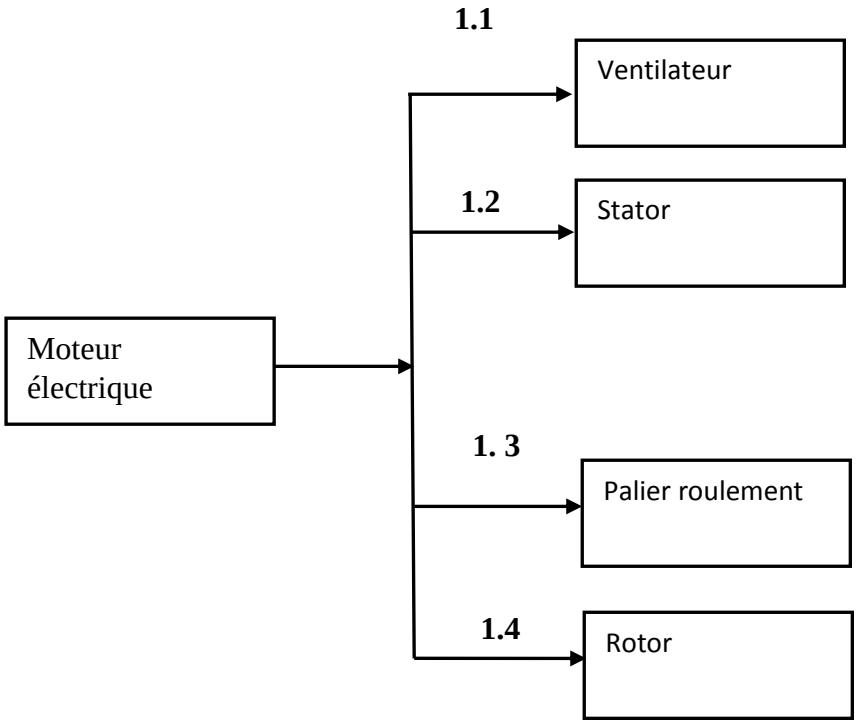


Figure IV.3. : Décomposition de Le moteur électrique

Le réducteur de vitesse est décompose comme suit :

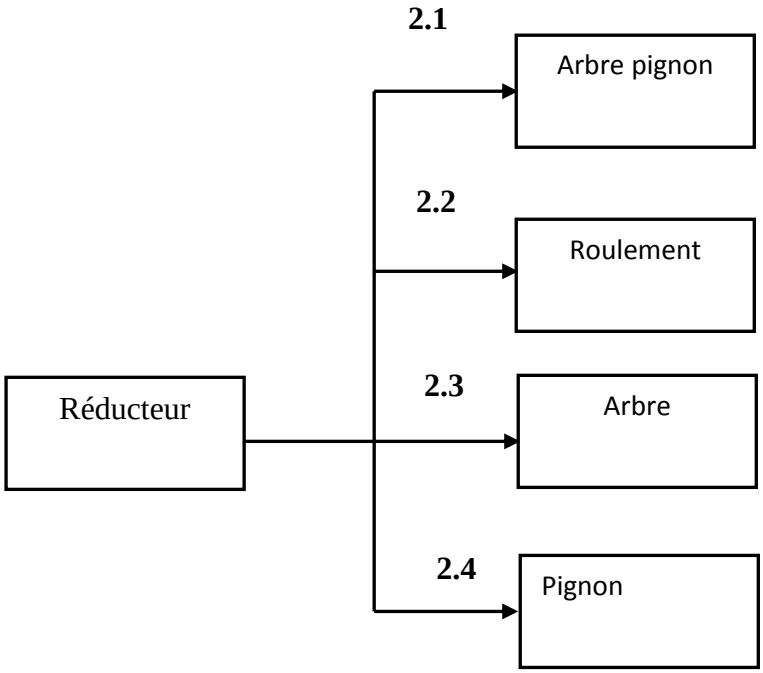


Figure IV.4. : Décomposition de Le réducteur de vitesse.

Les Accouplements est décompose comme suit :

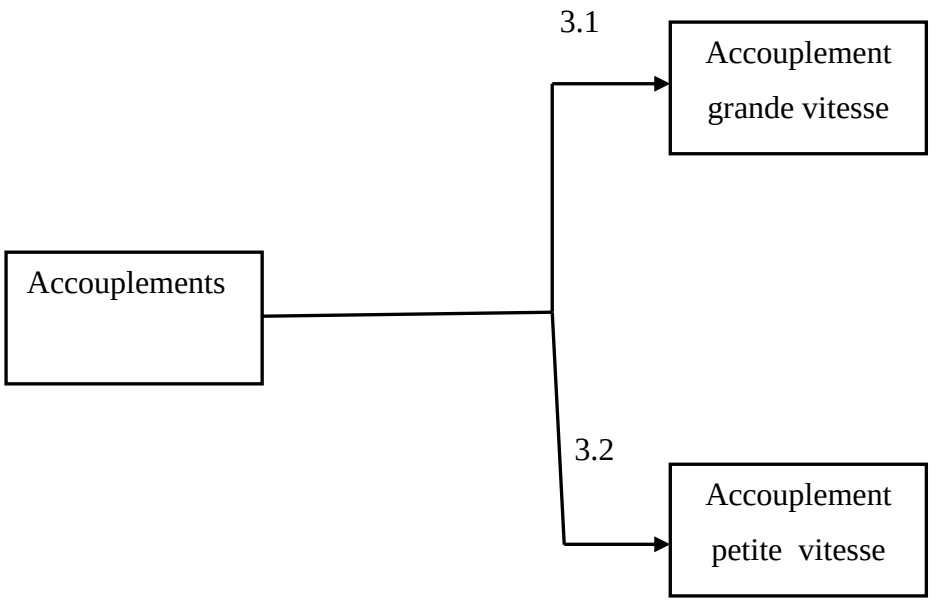


Figure IV.5. : Décomposition de Les Accouplements

L'évaluation de la criticité a été réalisé a partir des grilles de cotation suivantes :

Grille de cotation de la probabilité de non-détection sur 4 niveaux N :

niveau probabilité de non-détection		Définition
Détection évidente	**1**	Défaillance détectable a100 -Détection a coup sur la cause de défaillance -Signe avant coureur évidente d'une dégradation -Dispositif de détection automatique d'incident
Détection possible	**2**	Défaillance détectable -Signe avant coureur de la défaillance facilement décelable mais nécessitent une action particulière de l'operateur (visite, contrôle visuel)
Détection improbable	**3**	Défaillance difficilement détectable -Signe avant coureur de la défaillance facilement décelable, peut exploitable ou nécessitent une action ou moyenne complexe (démontage ou appareillage)
Détection impossible	**4**	Défaillance indétectable -Aucun signe avant coureur de la défaillance

Tableau IV.2 : Grille de cotation de la probabilité de non-détection N

Grille de cotation de la gravite sur 5 niveaux G

niveau de gravite		**Définition**
Gravite mineure	**1**	Gravite mineure - Arrêt de fonction inferieur a 2 minutes - Aucun dégradation notable du matériel
Gravite significative	**2**	Gravite significative -Arrêt de production de 2 a 20 minutes au rapport possible d'intervention Remise en état de courte durée ou réparation sur place nécessaire
Gravite moyenne	**3**	Gravite moyenne -Arrêt de production de 20 a 60 minutes -Changement de matériel défectueux nécessaire
Gravite majeure	**4**	Gravite majeure Arrêt de production de 1a 2 heures Intervention important sur sous-ensemble
Gravite catastrophique	**5**	Gravite catastrophique Arrêt de production supérieur 2 heures Intervention lourde nécessitent des moyens couteux Problème de sécurité ou d'environnement

Tableau IV. 3 : Grille de cotation de la gravite G

Grille de cotation pour fréquence F

Niveau de fréquence		**Définition**
Fréquence faible	**1**	Défaillance rare : moins d'une défaillance
Fréquence faible	**2**	Défaillance possible : moins d'une défaillance par trimestre
Fréquence moyenne	**3**	Défaillance fréquente : moins d'une défaillance par semaine
Fréquence forte	**4**	Défaillance très fréquente : moins d'une défaillance par semaine

Tableau IV. 4: Grille de cotation de la fréquence F

- Recherche des actions correctives : pour chaque combinaison cause-mode-effet les actions correctives sont des moyens , dispositifs , procédures ou décruments permettant la diminution de la valeur d'un ou plusieurs niveaux (fréquence, gravite, probabilité de non-détection et par la suite la réduction de la criticité
- Elles sont en trois types :
  - ✓ Action de prévention de la défaillance
  - ✓ Action de détection préventive des défaillances
  - ✓ Action de réduction des effets

Plusieurs possibilités existantes dans la recherche des actions selon les objectifs de l'étude :

On se s'intéresse qu'aux défaillances critiques

On s'intéresse a toutes les défaillances systématiquement

On oriente l'action a engager selon le niveau de criticité obtenu (voir tableaux ce dessous)

Niveau de criticité	Action corrective a engager
1=< C< 12 Criticité négligeable	Aucune modification de conception **Maintenance corrective**
12=< C< 16 Criticité moyenne	Amélioration des performances de l'élément **Maintenance préventive systématiques**,
16=< C< 20 Criticité élève	Révision de la conception de sous-ensemble et de chois des éléments, surveillance particulière **Maintenance préventive conditionnelle**
20=< C< 80 Criticité interdit	Remise en couse complète de la conception

Tableau IV. 5: le niveau de criticité C

IV.2.3. Étape III :

1- Analyse des mécanismes de défaillance
- identification des modes de défaillance
- recherche les causes
- recherche les effets
- recensement des détections

2- Evaluation de la criticité

3- Action corrective

Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leurs Criticité												
A-M-D-E-C MELENGEUR		SYSTEME : MELENGEUR SOUSYTEME : MOTEUR ELECTRIQUE (voir l'annexe)					PHASE DE FONCTIONNEMENT : NORMALE					page : 65
N°	ELEMENT	FONCTION	MODE DE DEFFAILLANCE	CAUSE DE DEFFAILLANCE	EFFET DE DEFFAILLANCE		DETECTION	CRITICITE				ACTION CORRECTIVE
					LOCAL	GENERAL		F	G	N	C	
1.1	Ventilateur (voir l'annexe)	Prés nettoyage admission de l'air	Rotation inverse	Erreur de câblage	Mauvais fonction ement	arrêt le moteur électrique	visuel	1 1	2 2	4 2	8 4	**D** Consigne à l'operateur
			Détérioration des roulements	vibration	Mauvais fonction ement	arrêt le moteur électrique	visuel	1 1	2 2	4 2	8 4	**MPC** changement des roulements
			Echauffement excessive	surcharge	Arrêt de moteur	arrêt le moteur électrique		1 1	4 3	2 2	8 6	**MC** réparation

Tableau IV.6 : AMDEC d'un ventilateur.

<table>
<tr><th colspan="12">Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leurs Criticité</th></tr>
<tr><td colspan="2">A-M-D-E-C
MELENGEUR</td><td colspan="5">SYSTEME : MELENGEUR
SOUSYTEME : MOTEUR ELECTRIQUE</td><td colspan="4">PHASE DE FONCTIONNEMENT :
NORMALE</td><td>page : 66</td></tr>
<tr><td>N°</td><td>ELEMENT</td><td>FONCTION</td><td>MODE DE DEFFAILLANCE</td><td>CAUSE DE DEFFAILLANCE</td><td colspan="2">EFFET DE DEFFAILLANCE</td><td>DETECTION</td><td colspan="4">CRITICITE</td><td>ACTION CORRECTIVE</td></tr>
<tr><td rowspan="2">1.2</td><td rowspan="2">stator
(voir l’annexe)</td><td rowspan="2">Créer un champs tournant</td><td rowspan="2">Grillage d’enroulement
Défaillance de phase
Défaillance d’isolement</td><td rowspan="2">Surcharge fatigue</td><td>LOCAL</td><td>GENERAL</td><td rowspan="2">visuel</td><td>F</td><td>G</td><td>N</td><td>C</td><td rowspan="2">MC
bobinage de l’enroulement</td></tr>
<tr><td>Mauvais fonction</td><td>arrêt le moteur électrique</td><td>1</td><td>2</td><td>4</td><td>8</td></tr>
</table>

Tableau IV.7 : AMDEC d’un stator

<table>
<tr><th colspan="11">Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leurs Criticité</th></tr>
<tr><td colspan="2">A-M-D-E-C
MELENGEUR</td><td colspan="5">SYSTEME : MELENGEUR
SOUSYTEME : MOTEUR ELECTRIQUE</td><td colspan="3">PHASE DE FONCTIONNEMENT :
NORMALE</td><td>page : 67</td></tr>
<tr><td>N°</td><td>ELEMENT</td><td>FONCTION</td><td>MODE DE DEFFAILLANCE</td><td>CAUSE DE DEFFAILLANCE</td><td>EFFET DE DEFFAILLANCE</td><td>DETECTION</td><td colspan="4">CRITICITE</td><td>ACTION CORRECTIVE</td></tr>
<tr><td rowspan="2">1.3</td><td rowspan="2">Paliers roulement (voir l’annexe)</td><td rowspan="2">Guider et supporter le rotor</td><td rowspan="2">-usure
-cassure</td><td rowspan="2">-fatigue
-vibration</td><td rowspan="2">-Echauffement
-Blocage de rotor</td><td></td><td>F</td><td>G</td><td>N</td><td>C</td><td rowspan="2">MC
changement des roulements</td></tr>
<tr><td>Bruit et échauffement</td><td>2</td><td>3</td><td>2</td><td>12</td></tr>
</table>

Tableau IV.8 : AMDEC d’un Paliers roulement

Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leurs Criticité												
A-M-D-E-C MELENGEUR		SYSTEME : MELENGEUR SOUSYTEME : MOTEUR ELECTRIQUE					PHASE DE FONCTIONNEMENT : NORMALE					page : 68
N°	ELEMENT	FONCTION	MODE DE DEFFAILLANCE	CAUSE DE DEFFAILLANCE	EFFET DE DEFFAILLANCE		DETECTION	CRITICITE				ACTION CORRECTIVE
					LOCAL	GENERAL		F	G	N	C	
1.4	rotor (voir l'annexe)	Assurer le mouvement de rotation	Défaillance de la cage	Fatigue surcharge	Mauvais fonction ement	arrêt le moteur électrique	visuel	1	4	2	8	**MPC** Changement de la cage

Tableau IV.9: AMDEC d'un rotor

Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leurs Criticité												
A-M-D-E-C MELENGEUR		SYSTEME : MELENGEUR SOUSYTEME : REDUCTEUR (voir l'annexe)					PHASE DE FONCTIONNEMENT : NORMALE					page : 69
N°	ELEMENT	FONCTION	MODE DE DEFFAILLANCE	CAUSE DE DEFFAILLANCE	EFFET DE DEFFAILLANCE		DETECTION	CRITICITE				ACTION CORRECTIVE
					LOCAL	GENERAL		F	G	N	C	
2.1	Arbre (voir l'annexe)	Transmettre Le mouvement De rotation	Usure au niveau De portées des roulements	Manchon de roulement desserré	Mauvais transmission	arrêt le réducteur		1	3	3	9	**MC** réparation
			Cassure	Roulement uses ou défectueux	Pas de transmission	arrêt le réducteur		1	3	3	9	**MPC** changement

Tableau IV.10: AMDEC d'un Arbre

Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leurs Criticité												
A-M-D-E-C MELENGEUR		SYSTEME : MELENGEUR SOUSYTEME : REDUCTEUR					PHASE DE FONCTIONNEMENT : NORMALE					page : 70
N°	ELEMENT	FONCTION	MODE DE DEFFAILLANCE	CAUSE DE DEFFAILLANCE	EFFET DE DEFFAILLANCE		DETECTION	CRITICITE				ACTION CORRECTIVE
					LOCAL	GENERAL		F	G	N	C	
2.2	Roulement (voir l'annexe)	Guider en rotation	Usure Cassure	Manque d'étanchéité Couple excessive Mauvais montage	Arbre bloque Usure des portées L'arbre bruit			1	3	2	6	**MPC** changement des roulements

Tableau IV.11: AMDEC d'un roulement

Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leurs Criticité												
A-M-D-E-C MELENGEUR		SYSTEME : MELENGEUR SOUSYTEME : REDUCTEUR					PHASE DE FONCTIONNEMENT : NORMALE					page : 71
N°	ELEMENT	FONCTION	MODE DE DEFFAILLANCE	CAUSE DE DEFFAILLANCE	EFFET DE DEFFAILLANCE		DETECTION	CRITICITE				ACTION CORRECTIVE
					LOCAL	GENERAL		F	G	N	C	
2.3	Pignon (voir l'annexe)	Transmettre le coupe PV a la couronne	Usure/cassure des dents	-Mauvais graissage -Mauvais montage Fatigue	Mauvais engrènement avec couronne ; choc	arrêt le moteur électrique	visuel	1	3	2	6	**MPC** changement des pignons

Tableau IV.12: AMDEC d'un Pignon

Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leurs Criticité												
A-M-D-E-C MELENGEUR		SYSTEME : MELENGEUR SOUSYTEME : REDUCTEUR					PHASE DE FONCTIONNEMENT : NORMALE					page : 72
N°	ELEMENT	FONCTION	MODE DE DEFFAILLANCE	CAUSE DE DEFFAILLANCE	EFFET DE DEFFAILLANCE		DETECTION	CRITICITE				ACTION CORRECTIVE
					LOCAL	GENERAL		F	G	N	C	
2.4	Arbre pignon (voir l'annexe)	Transmettre le coupe PV a la couronne Transmettre Le mouvement De rotation	Usure/cassure des dents Usure au niveau De portées des roulements Cassure	Mauvais graissage Mauvais montage Fatigue Manchon de roulement desserré Roulement uses ou défectueux	Mauvais engrènement avec couronne ; choc -Mauvais transmission Pas de transmission	arrêt le moteur électrique arrêt le réducteur arrêt le réducteur	visuel	1 1 1	3 3 3	2 3 3	6 9 9	**MPC** changement des roulements **MC** réparation **MPC** changement

Tableau IV.13: AMDEC d'un Arbre pignon

Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leurs Criticité												
A-M-D-E-C MELENGEUR		SYSTEME : MELENGEUR SOUSYTEME : ACCOUPLEMENTS (voir l'annexe)					PHASE DE FONCTIONNEMENT : NORMALE					page : 73
N°	ELEMENT	FONCTION	MODE DE DEFFAILLANCE	CAUSE DE DEFFAILLANCE	EFFET DE DEFFAILLANCE		DETECTION	CRITICITE				ACTION CORRECTIVE
					LOCAL	GENERAL		F	G	N	C	
3.1	Accouplement grande vitesse (voir l'annexe)	Transmettre la puissance au réducteur	Défaillance de système d'accouplement	-Desserrage des vis d'assemblage -Surcharge -fatigue -désalignement	-Mauvaise transmission -usure des paliers -usure des dents d'engrenages -dégradation de fonctionnement de compresseur	arrêt le moteur électrique arrêt le moteur électrique arrêt le moteur électrique	visuel	3	2	1	6	-réalignement -serrage de système de fixation -changement d'accouplement **MPC** changement des roulements **MC** réparation

Tableau IV.14: AMDEC d'un Accouplement grande vitesse

Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leurs Criticité												
A-M-D-E-C MELENGEUR		SYSTEME : MELENGEUR SOUSYTEME : Accouplements					PHASE DE FONCTIONNEMENT : NORMALE					page : 74
N°	ELEMENT	FONCTION	MODE DE DEFFAILLANCE	CAUSE DE DEFFAILLANCE	EFFET DE DEFFAILLANCE		DETECTION	CRITICITE				ACTION CORRECTIVE
					LOCAL	GENERAL		F	G	N	C	
3.2	Accouplement petite vitesse (voir l'annexe)	Transmettre la puissance au compresseur	Défaillance de système d'accouplement	-Desserrage des vis d'assemblage -Surcharge -fatigue -désalignement	-Mauvaise transmission -usure des paliers -usure des dents d'engrenages -dégradation de fonctionnement de compresseur		visuel	3	2	1	6	-réalignement -serrage de système de fixation -changement d'accouplement **MPC** changement des roulements **MC** réparation

Tableau IV.15: AMDEC d'un Accouplement petite vitesse

IV.3. CONCLUSION

L’analyse de mode de défaillance effet et leur criticité AMDEC nous a permis de détecter les défaillances qui peuvent survenir au niveau du mélangeur

Cette analyse nous a permis aussi d’évaluer le niveau de la criticité de chaque défaillance et orienter le choix du type de maintenance a adopter , aussi durant cette étude nous avons constate que la fréquence des pannes que sollicite les différents élément de notre équipement est faible dans l’ensemble , ceci nous conduite a conclure qu’il faut agir sur la gravite , en appliquent une maintenance préventive systématique ou conditionnelle , et diminuant le coefficient de non détection en plaçant des dispositifs de surveillance

L’exploitation de ces mesures et leur résultats nous permet de déceler les signes d’anomalies, de mieux comprendre le comportement de l’Equipment et donc sa meilleur exploitation

Conclusion générale

CONCLUSION GENERALE

le sujet comme il a été défini dans l'introduction , s'inscrit dans le cadre l'adaptation d'une politique de maintenance , ceci pour résoudre les problèmes qui peuvent surgir lors de l'exploitation de mélangeur de sable 1250, objet de notre étude.

Durant notre visite au POVAL Berouaghia ; nous avons constate un manque énorme de l'information , support de toute étude , comme l'historiques des machines , les rapports d'induction , les fiches d'interventions , les calcules des temps d'interventions et la détermination des cout d'exploitations .

La nouveauté de la méthode AMDEC au niveau de son utilisation dans les domaines industriels, nous a amène à approfondir par rapport aux autres méthodes.

Nous somme convaincus que peut être un moyen très efficace pour bien cerner toutes les défaillances d'un équipement, et aussi de recenser les plus critiques, grâce a cette méthodologie nous pouvons trouver des solutions aux problèmes qui peuvent surgir au cours de l'exploitation de l'équipement.

Annexe



Roulement



Arbre pignon



Pignon



Arbre



Accouplement grande vitesse



Accouplement petite vitesse



Réducteur de vitesse



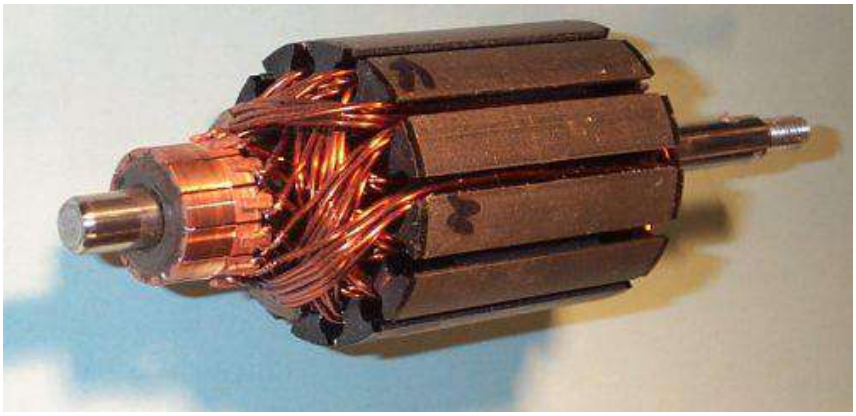
Moteur électrique



Ventilateur



Stator



Rotor



Paliers roulement

BIBLIOGRAPHIE

[1] R. Sarker, A. Haque, Optimisation de l'entretien et de la politique de provisionnement de rechange en utilisant la simulation, Modélisation mathématique appliquée

[2] Mr. Nabti Mohamed Tahar , Etude de l'évolution des indicateurs spectraux et cestreaux dans la détection des défauts mécaniques , 14 Déc. 2011

[3] L. Benali, « *Maintenance industrielle* », office des publications universitaires.1, place centrale de ben aknoun, Alger, (9/2006).

[4] François Monchy, « *Maintenance (méthodes et organisation)* », Dundo, paris, 2002.

[5] NEGADI Ali , la maintenance des équipements de forage , juin 2014

[6] D.Bouami, B.Herrou, Optimisation de la démarche d'optimisation de la Maintenance, CPI'2004, casablanca-Maroc.

[7] bouanaka mohamed larbi, contribution a l'amélioration des performances opérationnelles des machines industrielles ; /2009

[8] N.K. Mouss, A. Baci, A. Koull, H.L Mouss, Elaboration d'un Système d'Indicateur de Performance pour le Pilotage d'un Système de production, Laboratoire d'Automatique et Productique (LAP) Université de Batna.

[9] michel demers , développement d'une méthodologie d'optimisation de la maintenance par la fiabilité pour les systèmes complexes: application à un groupe électrogène diesel de secours

[10] annexes : management, qualité projet, exemples de méthodes

[11] hubert siegfreidt , la pratique de amdec par jean faucherl

[12] mustafa nourelfethhubert , étude amdec d'une presse a chaud contreplaque et élaboration d'un plans de maintenance préventive , 2011

[13] Michel RIDOUX , Consultant Division Qualité - Organisation - Maintenance

[14] lakermi anis , management de risques géotechniques dans un projet routier par la méthode AMDEC et MADS-MOSAR : cas se la bretelle principale (A) de l`échangeur de la RN02