

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SIENTIFIQUE**

**UNIVERSITE DE CONSTANTINE  
FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIEUR**

**DEPARETEMENT DE GENIE MECANIQUE**

N d'ordre:

Série:

MEMOIRE  
PRESENTEE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE MAGISTER  
EN GENIE MECANIQUE

OPTION  
MECANIQUE APPLIQUEE EN ENGENEERING

THEME

**CONTRIBUTION A L'AMELIORATION DES  
PERFORMANCES OPERATIONNELLES  
DES MACHINES INDUSTRIELLES**

Présenté

PAR  
BOUANAKA MOHAMED LARBI

**Devant le jury**

<b>Président</b>	<b>Dr. S. BENISSAAD</b>	<b>M.C</b>	<b>Université Mentouri Constantine</b>
<b>Rapporteur</b>	<b>Dr. A. BELLAOUAR</b>	<b>Professeur</b>	<b>Université Mentouri Constantine</b>
<b>Examineur</b>	<b>Dr. R. CHAIB</b>	<b>M.C</b>	<b>Université Mentouri Constantine</b>
<b>Examineur</b>	<b>Dr. A. CHERFIA</b>	<b>M.C</b>	<b>Université Mentouri Constantine</b>

Invités M. T. Laiche - Chef de service Production CMT - CONSTANTINE  
A. Guerfi - Chef de service Maintenance CMT - CONSTANTINE

Année universitaire : 2008/2009

# *Dédicaces*

*A mes parents, mes frères, mes soeurs et mon épouse*

*Je dédie ce modeste travail*

## *Remerciements*

*Je tiens à remercier en premier lieu M. **Ahmed BELLAOUAR** Professeur au département de génie mécanique université mentouri constantine et rapporteur de cette mémoire de magister pour son soutien morale et technique et pour ses critiques constructives durant tout ce travail.*

*Je remercie à titre spéciale M. **Rachid CHAIB** Maître de conférences au département de génie mécanique université Mentouri Constantine et membre de jury, Pour ses conseils et directives qui m'ont été précieux pour mener ce travail à son terme.*

*Mes remerciements s'adressent également au président de jury  
M. **S. BENISSAAD** Maître de conférences, chef de département de génie mécanique université mentouri constantine.*

*Et au membre de jury M. **A. CHERFIA** Maître de conférences au département de génie mécanique Université Mentouri Constantine.*

*Pour l'honneur qu'il m'ont fait d'avoir accepté d'examiner et juger ce travail.*

*Je remercie Ms. **T. Laiche et A. Guerfi***

*Tout deux Chef de service Production  
Chef de service Maintenance*

*Au complexe moteurs tracteurs de constantine pour m'avoir accueilli dans les différents sites et soutenu dans mes démarches, ainsi que l'ensemble du personnel du complexe.*

*Je tiens enfin, à exprimer ma profonde gratitude pour tous ceux qui m'ont aidé de loin ou de près pour l'accomplissement de ce travail.*

## Préface

Le fait de pouvoir mener à bien ce projet, a été pour moi, une très grande satisfaction et l'occasion de pouvoir exprimer toutes mes facultés d'adaptation et de conscience professionnelle, en me rendant disponible humainement et techniquement.

De plus, il faut souligner l'importance de ma formation en Génie Mécanique dans ce stage. En effet, j'ai pu utiliser mes connaissances en mécanique, pour le suivi de ce projet et ma permis de saisir certaines réalités du monde industriel, et de développer mes facultés d'analyse des problèmes.

Ce stage m'a donné l'opportunité d'être autonome dans la gestion de projet et m'a permis d'exercer mes capacités à travailler en équipe, à préparer et à animer des réunions. De plus, son avancement a énormément reposé sur ma capacité à faire passer des informations aux contremaîtres des différents secteurs. J'ai travaillé avec des personnes de niveaux et d'horizons différents qui avaient tous une expérience, une vision des choses et un parcours différent, ce qui a été particulièrement enrichissant.

Cette période chez l'entreprise m'a donnée l'occasion de voir le fonctionnement managérial et organisationnel d'une grande entreprise et a tout à fait répondu à mes attentes et m'a beaucoup apporté sur le plan technologique et humain. Elle m'a permis de découvrir l'un des métiers de Maintenance ce qui a enrichi et diversifié mon parcours professionnel.

A la fin de mon stage je ferai un bilan chiffré (sous forme de tableau) qui va permettre de mesurer concrètement l'intérêt de l'étude.

## Sommaire

Préface.....	i
Sommaire.....	ii
<b>Introduction générale</b>	
1. Problématique.....	1
2. Critères de choix.....	2
3. Organisation de la mémoire.....	3
4. Méthode a suivre.....	4

## Partie 1. Etude Bibliographique

### Chapitre. I: Concepts de fiabilité et de maintenance

I.1.Introduction.....	6
I.2. définition de la maintenance.....	7
2.1. Mission de progrès de la maintenance.....	7
2.2. Les différents types de maintenance .....	9
2.3. Les coûts relatifs a la fonction maintenance.....	10
2.4. Elaborer un plan de maintenance .....	11
I.3. Analyse qualitative post défaillance.....	12
3.1.Systeme.....	12
3.1.1. Système de production.....	12
3.2. Définition d'une Panne et d'une Défaillance.....	14
3.2.1. Les six éléments de connaissance d'une défaillance.....	14
3.3. Typologie des défaillances.....	14
3.4. Causes ,Modes des défaillances.....	15
3.6. Classification des défaillances.....	16
I.4. Disponibilité.....	17
4.1. Amélioration de la disponibilité.....	18
4.2. Fiabilité.....	19
4.3. Identification et caractérisation des facteurs influençant la fiabilité.....	19
4.4. La maintenabilité et la maintenance.....	19
4.5. Définition de la maintenabilité .....	20
4.6. Sécurité.....	20
I.5. Les composants Pathologiques d'une machine.....	21
5.1. Concept de la courbe en Baignoire et Taux de déformation .....	21
5.2. Les principaux remèdes de maintenance associés aux différents modes de Défaillance.....	22
5.3.Taux de défaillance .....	23
I.6. Performance et Indicateurs de Performance .....	24
6.1. Introduction.....	24
6.2. Définitions.....	24

6.3 Analyse d'arrêt d'une machine .....	25
6.4. Composition des indicateurs de performance.....	26
6.5. Le Tableau de bord .....	28
I.7. Présentation d'un Système de Gestion de maintenance .....	28
7.1. Impact d'un Système de Gestion de maintenance.....	28
7.2. Les Conditions de réussite d'un programme de Gestion de maintenance..	30
7.3. Les 5 niveaux de maintenance.....	32

ii

I.8. Les Approches Contemporaines .....	32
8.1. La télémaintenance.....	32
8.2. La maintenance Basée sur la Fiabilité.....	35
8.3. La Maintenance Productive Totale .....	35
I.9. Conclusion .....	36

## **Chapitre. II: Méthodes de maintenance**

II.1. Optimisation de la maintenance par l'AMDEC .....	38
1.1. Les outils de la méthode.....	38
II.2. La maintenance Basé sur a Fiabilité .....	44
II.3. La Maintenance Productive Totale.....	46
3.1. Historique et Objectifs.....	46
3.3. Implantation et facteurs de succès.....	46
3.4. Définition du Taux de Rendement Synthétique .....	49
3.5. Les Approches de calcul du Taux de Rendement Synthétique.....	52
II.4. Conclusion.....	54

## **Partie 2. Applications**

### **Chapitre. III: Applications des Méthodes de maintenance**

III.1. Présentation de l'entreprise d'accueil.....	56
1.2. Centre de profit usinage.....	57
1.3. Organigramme fonctionnel.....	58
1.4. Service Technique.....	59
1.5. Les fonctions du département de maintenance.....	60
III.2. Calcul de Fiabilité.....	62
2.1. Base de calcul Technico-économique.....	62
2.2. Valeurs référentielles.....	63
2.3. Etude de cas d'un Tour mono-broche.....	64
III.3. Optimisation de la maintenance par l'AMDEC.....	67
3.1. Localisation des machines critiques .....	67
3.2. L'analyse structurelle et fonctionnelle de la machine.....	69
3.3. L'analyse de la Fraiseseuse "TOS" par l'AMDEC.....	70
3.4. Diagramme Causes-Effet.....	71
3.5. Organigramme de dépannage .....	73
3.6 Indicateurs de la maintenance.....	77
3.7. Discussion.....	77
III.4. Utilisation de la Maintenance Basée sur la Fiabilité pour développer et Optimiser les politiques de maintenance de l'entreprise.....	78
Application de la MBF.....	78

Détermination des équipements critiques.....	79
Analyses des défaillances des matériels critiques .....	80
Elaboration du plan de maintenance.....	84
4.5. Estimation des coûts de la maintenance.....	87
4.6. Discussion.....	90

iii

III.5. Application de la TPM et la mise en pratique du TRS pour déterminer l'efficacité d'un moyen de production .....	91
5.1. Implantation du sixième pilier de la TPM.....	92
5.2. Classification des équipements .....	94
5.3. Aspects Quantifiables de la TPM .....	97
5.4. Discussion.....	104

#### **Chapitre. IV: Résultats et Recommandations**

IV.1. Synthèse finale de l'analyse.....	105
1.2. Recommandations.....	105
IV.2. L'Optimisation de la maintenance par l'AMDEC.....	106
2.2. Recommandations.....	107
IV.3. Maintenance Basée sur la Fiabilité.....	108
3.1. Plan d'action et Optimisation des coûts de maintenance .....	109
3.2. Recommandations.....	111
IV.4. Tableau de Recommandations sur l'application de la TPM.....	112
IV.5. Retour d'expérience et capitalisation.....	114
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>116</b>
<b>Références Bibliographiques.....</b>	<b>119-123</b>
<b>Annexe.....</b>	<b>124-136</b>
<b>Glossaire.....</b>	<b>137-138</b>

## INTRODUCTION GENERALE

Le monde de l'industrie dispose de machines et d'installations de plus en plus performantes et complexes. Les exigences de haute sécurité, la réduction des coûts d'exploitation et la maîtrise de la disponibilité des équipements donnent à la maintenance des systèmes un rôle prépondérant. Elle doit permettre de n'intervenir qu'en présence d'éléments défectueux, de minimiser le temps de réparation, et de fournir un diagnostic fiable et facilement interprétable malgré la complexité des équipements.

La performance industrielle est ainsi devenue une préoccupation majeure des entreprises. De ce fait, les responsables se posent les questions : Comment réduire mes coûts de production? Comment mettre en place une dynamique d'amélioration continue? Comment réduire et fiabiliser l'ensemble des délais de production? Comment arbitrer entre maintenance et investissements? Comment mettre en places des tableaux de bord??

### 1. Problématique

La défaillance est l'un des facteurs de nuisance pour une meilleure organisation de la maintenance des équipements. Elle a des conséquences variables sur le fonctionnement du système.

L'absence d'outils efficaces de traitement des données a réduit la fonction maintenance à des tâches de dépannage, et par le fait même, à une fonction dont les coûts ne cessent d'augmenter et dont la contribution à la performance de l'entreprise n'est pas évidente.

Ces outils de mesure de sa performance ont connu un développement conséquent et se localisent suivant les trois principaux axes : le coût, la fiabilité & maintenabilité et la disponibilité.

– Une orientation coût:

Un coût ne peut être consenti que s'il donne lieu à l'obtention d'une certaine valeur, et la performance est bien souvent jugée sur le "ratio" valeur/coût (le terme ratio est ici une métaphore, puisque coût et valeur ne se mesurent pas dans les mêmes unités).

Les caractéristiques de la performance globale découlent d'un certain nombre de problème comme nous le montrons dans le tableau suivant:

<b>Caractéristiques de la performance globale</b>	<b>Problèmes à résoudre pour obtenir la performance globale</b>
Multi -niveaux (stratégique, tactique, opérationnel)	Agrégation et déploiement
Multi périodes (court -terme, moyen terme, long terme)	Prévision et actualisation
Multi -acteurs (concepteur, fabricant...)	Evaluation multicritère

**Tableau.1 : Problématique de la performance globale-(MAR01)**

Pour répondre à ces défis, un bon nombre de travaux a été réalisé, en vue de développée les méthodes de maintenance et repenser efficacement les opérations industrielles, à l'aide des différents outils. En effet, notre étude s'articule sur :

-Identification des décalages existants entre les organisations industrielles (production, logistique, achats, développements produit, maintenance,.....) et leurs environnements externe.

-Gestion de la complexité des projets d'amélioration de la performance industrielle et notamment leurs transversalité, leurs impacts humains et le pilotage de leurs retours sur investissements.

En effet, notre contribution se situera en l'application de la maintenance grâce aux objectifs qu'elle présente tout entreprise.

- assurer la production prévue.
- maintenir le niveau de qualité du produit fabriqué.
- respect des délais.
- respecter les objectifs humains : conditions de travail et de sécurité.

Nous allons clarifier les problèmes auxquels s'heurte une entreprise, en utilisant des outils qualités, et mettre en place des systèmes efficaces de gestion de la maintenance.

## **2. Critères de Choix**

A l'état actuel, il est à souligner d'une part qu'un bon nombre d'industries algériennes issues d'un transfert technique se trouvent dépassées vis-à-vis des avancées technologiques. D'autre part, pour palier à ce retard ces entreprises font recours de plus en plus à l'expérimentation qui revient très coûteuses et peu rentable en terme d'apport technique au produit industrialisé.

En revanche, la fonction de responsable de maintenance n'est pas valorisante dans les entreprises, malgré l'intérêt du poste. Elle est souvent, dans les grandes entreprises, un court passage obligé vers d'autres fonctions, ce qui n'encourage pas les initiatives.

L'ouverture à l'économie de marché, fait que le champ de compétition entre les entreprises ne va plus se limiter à une région ou à un pays, mais s'étendra à l'échelle mondiale. La plus grosse part du marché reviendra incontestablement à l'entreprise qui saura le mieux satisfaire les exigences du client : la qualité, le prix et le délai de livraison du produit, ainsi que l'image de marque. Cependant pour juger la qualité de tout produit, il faut disposer de références et des normes propres à chaque pays et leurs entreprises de production. En générale on distingue les normes (AFNOR, ISO, etc....).

Cet état de fait, contraint à la mise en place d'une méthodologie en vue d'améliorer les performances du système de production.

Lors de mon stage pratique au "C.M.T" Complexe moteur tracteur de Constantine. Notre choix fut essentiellement conditionné par 3 critères : une expérience de terrain, la possibilité de pouvoir mener à bien un projet et une prise de responsabilités.

Dans ce contexte et pour ces raisons, nous présentons ce travail qui est motivé par le besoin d'améliorer les performances opérationnelles de nos industries nationales et pour but de développer la fonction de maintenance et sa pratique, en utilisant les diverses techniques de ses opérations.

### **3. Organisation de la mémoire**

La mémoire est divisée en deux parties:

1/ Etude Théorique qui est une recherche bibliographique suivi d'une analyse des travaux et des recherches réalisés.

2/ Expérimentale sous forme d'applications des différents méthodes de la maintenance.

Il comporte une introduction générale qu'elle résume les éléments essentiels de la problématique et critères de choix.

Et clôturé par une conclusion dans laquelle nous avons dégagés les avantages apportés par ces solutions.

Exerçant la fonction de pilote de projet, j'ai mené de front l'intégralité du projet que je présenterai selon le fil directeur suivant :

Dans **le premier chapitre**, Nous rappellerons certains concepts de fiabilité et de maintenance, non seulement pour introduire certaines définitions, mais également pour mettre en évidence l'ampleur de l'effort nécessaire pour mettre en place un système de maintenance.

Nous introduirons les concepts de durée de vie, de défaillance, de taux de panne et de durée de vie moyenne, à démontrer que la durée de vie d'un équipement est une variable aléatoire et que les caractéristiques de ce dernier se dégradent avec l'usage.

**Le deuxième chapitre**, est consacré aux différentes méthodes de maintenance qu'on va appliquer.

Dans **le troisième chapitre**, on a procédé comme suivant:

- 1- Un calcul de Fiabilité pour une machine avant de lui réserver un type de maintenance.
- 2- Optimisation de la maintenance par l'AMDEC: application sur les machines de la chaîne d'usinage de boîte de vitesses.
- 3- La Maintenance Basée sur la Fiabilité : application sur l'ensemble des machines du bâtiment d'usinage.
- 4- Totale Productive Maintenance: application sur les machines de la chaîne de vilebrequin.

L'évolution de la maintenance doit être contrôlée par des indicateurs d'efficacité, de performance et de coûts. Ces derniers constituent des témoins de progrès ou de recul et feront partie du tableau de bord, c'est ce qui nous établirons à la fin de ce chapitre.

Enfin **le quatrième chapitre** qui présente les résultats et les recommandations lors des applications sur site.

#### **4. Méthodologie**

**\* La recherche documentaire**

**\* La rencontre des acteurs industriels**

Il faudra connaître l'état actuel du système de production, les ressources disponibles, la façon dont les pièces de rechange sont gérées, les processus de maintenance déjà implantés et les

priorités accordées aux machines de production et leur criticité. Pour y parvenir, nous procédons à la collecte d'informations sur le système de production et de maintenance.

### **\* La collecte d'informations**

Primo, Cette collecte touche plusieurs aspects de la production et de la maintenance. Dans un premier temps, il faut prendre connaissance de l'unité de production concernée. Il est important de connaître : les caractéristiques de fonctionnement (fonctionnement saisonnier ou continu) l'horaire de travail (nombre de plages de travail), la configuration de l'unité à maintenir (un ou plusieurs sites) et l'historique des interventions effectuées sur les équipements.

Secundo, nous prenons connaissance de la politique de production de l'entreprise ainsi que de la structure organisationnelle de la fonction maintenance. Il est question de l'organigramme de la fonction maintenance et des ressources humaines qui sont affectées.

Tercio, nous évaluons le coût associé à la maintenance. Le dernier point de cette collecte sert à établir l'impact de la maintenance sur l'unité de production.

Une telle contribution apporte à nos entreprises, un acquis pour l'organisation de telles fonctions dans le quotidien industrielle. Et apporte des solutions pour leur souci majeur, est l'obtention de produits conformes aux spécifications retenues et permettent à la maintenance d'être une source de productivité.

Chapitre I

**CONCEPTS**

De Fiabilité  
Et de **MAINTENANCE**

## I.1. Introduction

### 1.1. L'évolution du contexte industriel

- \_ Les trente glorieuses (1945 - 1975)
  - \_ Demande supérieure à l'offre
  - \_ Prix de revient, productivité
  - \_ Contrôle de gestion
- \_ L'équilibre (1975 - 1990)
  - \_ Demande équivalente à l'offre
  - \_ Prix de revient, qualité, assurance qualité,
  - \_ Prévisions, MRP
- \_ Le client roi, la mondialisation (1990 - )
  - \_ Demande inférieure à l'offre
  - \_ Exigences en terme de prix, délai, personnalisation
  - \_ Prix de vente, logistique, maîtrise des flux, agilité

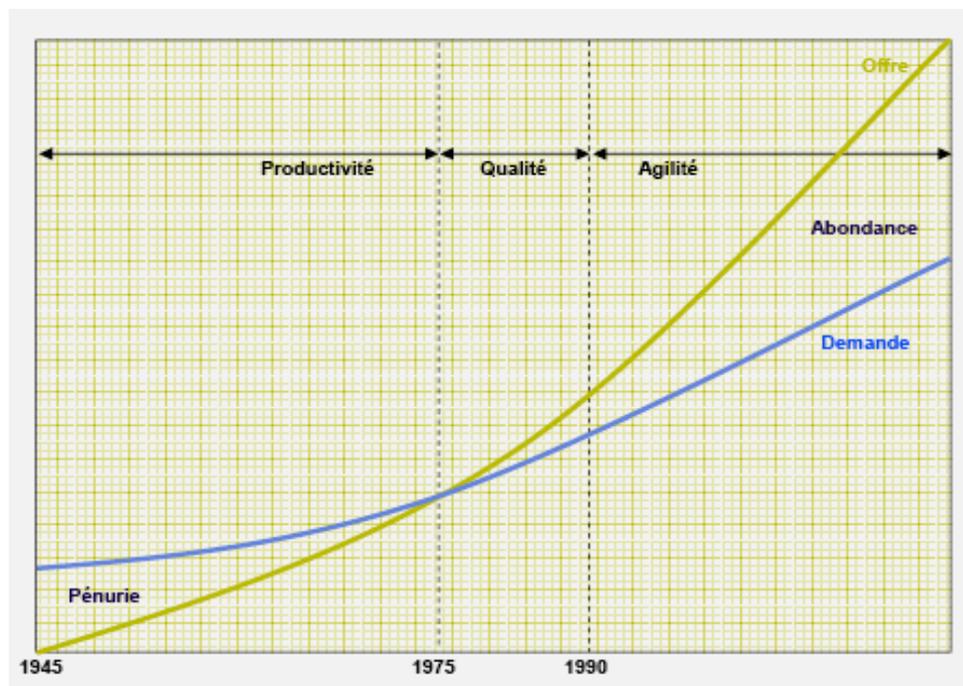


Figure I.1 : L'évolution du contexte industrielle-(Berrah [2])

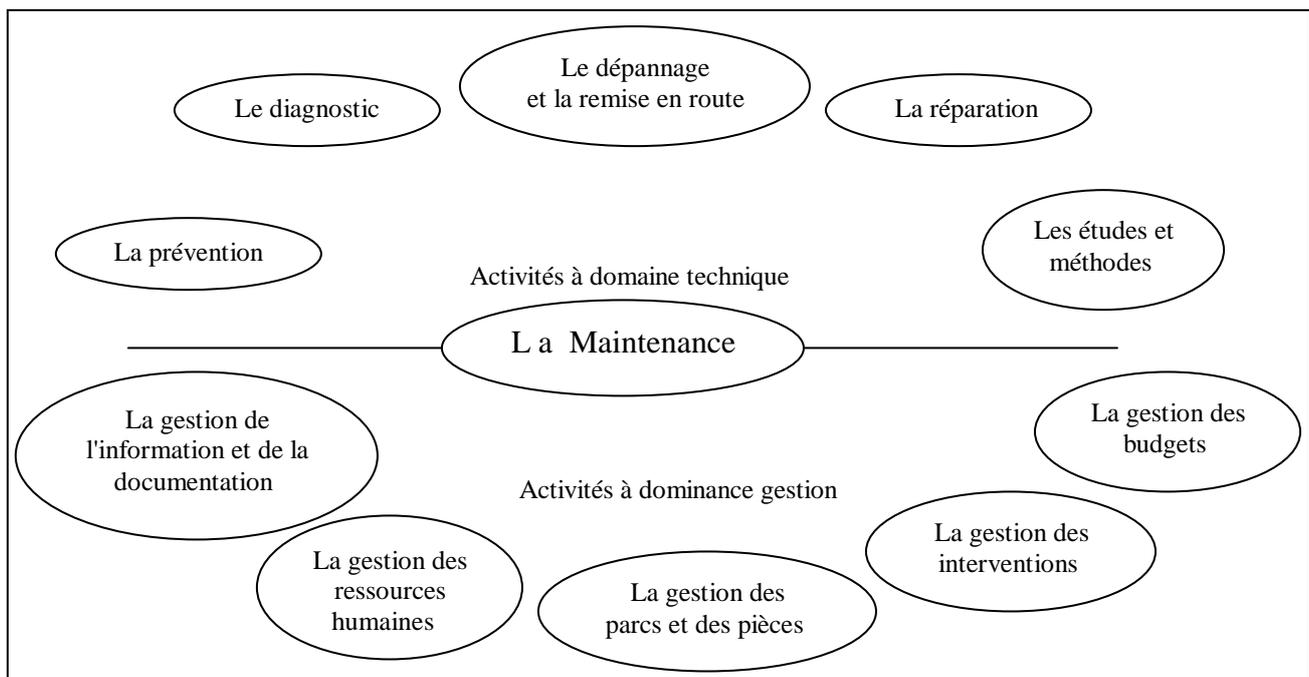
Les 2 dimensions de performance industrielle globale :

- \_ La vitesse à laquelle on génère la valeur ajoutée: c'est le temps écoulé entre la sortie du PF et l'entrée des MP incorporées (Le Lead Time ).
- \_ Le débit de valeur ajoutée : c'est la quantité de VAD générée par unité de temps (Le Throughput). (Berrah [3]).

## I.2. Définition 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.

Retour. [4] 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.2).



**Figure I.2 : le contenu de la fonction maintenance- (Retour [4])**

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.

### 2.1. Mission de progrès de la maintenance

Les missions qui doivent jaloner le processus de maintenance :

C'est d'abord les points suivants et les remettre en question en permanence.

A/documentations de base

- Documentation technique
- Equipements critiques
- Performances requises
- Disponibilités requises
- Schémas installations

#### B/politique

- Plan de maintenance
- Gammes, BOP, préparation
- Atelier
- Motivation
- GMAO
- Indicateurs
- Actions sécurité
- Fiches de fonctions

#### C/ordonnancement / préparation

- Planning –plan de charge prestataire
- Moyens internes; externes et matériels
- Localisation des pannes
- Préparation des travaux
- Programmation des arrêts

#### D/gestion matériel

- Achat
- Gestion stock
- Magasin outillage

#### E/travaux

- Lancement travaux
- Réalisation travaux curatifs
- Réalisation travaux préventifs
- Heures supplémentaires
- Astreintes

#### F/suivi du contrat

- Comptabilité /gestion
- Fiches d'expertises
- Rapports techniques

- Suivi des délais

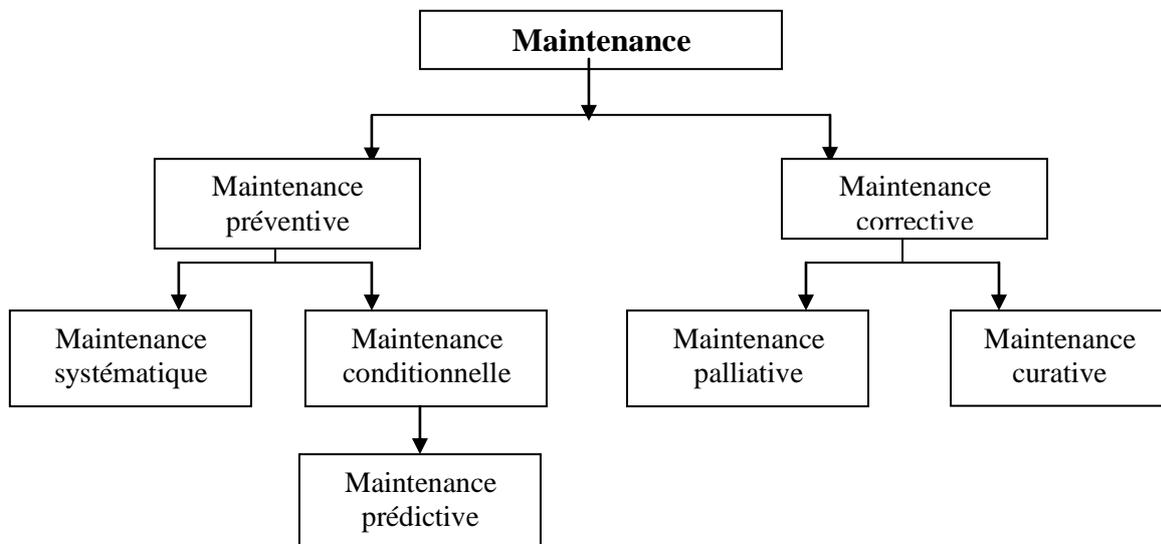
G/ retour d'expérience

- CRBT (compte rendu des bons d'intervention)
- Gestion des historiques
- Gestion coûts
- Préventif
- Indicateurs et tableaux de bords.

## 2.2. Les différents 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.3).



**Figure I. 3 : les différents types de maintenance**

La maintenance corrective est définie comme une maintenance effectuée après défaillance (AFNOR X 60-010 [2]).

Elle est caractérisée par son caractère aléatoire et requiert des ressources humaines compétentes et des ressources matérielles (pièces de rechange et outillage) disponibles sur place.

La maintenance corrective débouche sur deux types d'intervention :

Le premier type est à caractère provisoire, ce qui caractérise la maintenance palliative.

Le deuxième type est à caractère définitif, ce qui caractérise la maintenance curative.

C'est un choix politique de l'entreprise qui malgré tout, nécessite la mise en place d'un certain nombre de méthodes qui permettent d'en diminuer les conséquences :

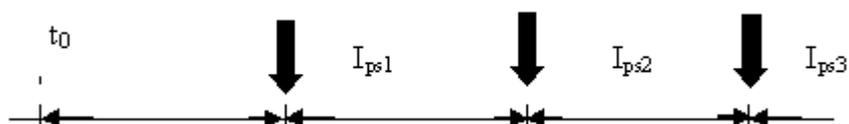
1. Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité (AMDEC), méthode permettant de mettre en évidence de façon prospective un certain nombre d'organes ou de machines critiques pour la sécurité ou la fiabilité d'un système après inventaire des défaillances élémentaires possibles.
2. Installation d'éléments de secours (redondance de matériels).
3. Utilisation de technologies plus fiables.
4. Recherche de méthodes de surveillance les mieux adaptées aux points névralgiques (capteurs intégrés...).
5. Utilisation de méthodes de diagnostics de pannes plus rapides (arbre des causes de défaillances, historique des pannes, systèmes experts...).

La maintenance préventive est définie quant à elle comme une maintenance effectuée dans l'intention de réduire la probabilité de défaillance d'un bien ou d'un service rendu. (AFNOR X60-010).

La maintenance préventive systématique est une maintenance effectuée selon un échéancier établi selon le temps ou le nombre d'unités d'usage (AFNOR [1]).

La périodicité des remplacements est déterminée selon deux méthodes :

La première est de type bloc et la seconde, de type âge. La politique de remplacement de type âge suggère de remplacer l'équipement à la panne ou après T unités de temps de bon fonctionnement. La politique de type bloc suggère de remplacer l'équipement après une période prédéterminée de temps T, 2T, etc. indépendamment de l'âge et de l'état du composant (voir figure I.4).



**Figure I. 4 : Maintenance Systématique**

La maintenance préventive conditionnelle est une maintenance subordonnée à un type d'événement prédéterminé (AFNOR [1]).

La maintenance prédictive (ou prévisionnelle) est une maintenance préventive subordonnée à l'analyse de l'évolution surveillée de paramètres significatifs de la dégradation du bien, permettant de retarder et de planifier les interventions. (Monchy [5]).

### **2.3. Les coûts relatifs a la fonction maintenance**

Comme la montre la figure I.5. 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 y remédier).

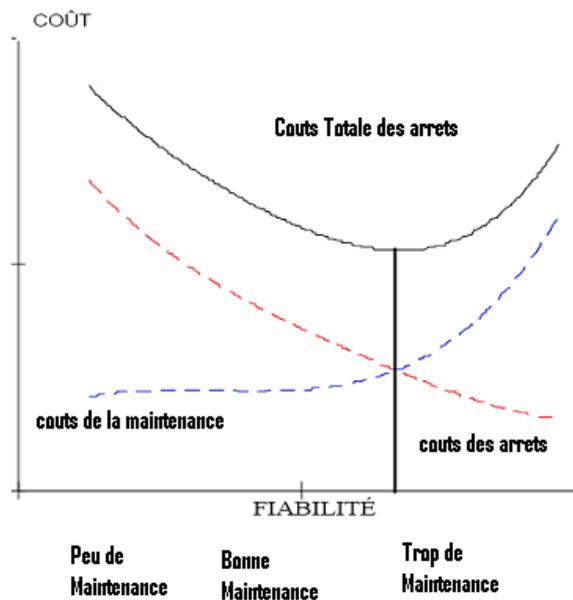


Figure I. 5 : Le rapport coûts- maintenance

**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... (Francastel [6])

#### 2.4. Elaborer 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 parts moines et leur destination.

Comme le mentionne Monchy [7], 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 (figure I.6) 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. Analyse qualitative post défaillance**

#### **3.1. 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. (Villemeur [8]).

##### **3.1.1. 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.
- Fonctionnant pour sa propre pérennité, le bien de ses membres de ses utilisateurs, de la société en générale.

- 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. [8]

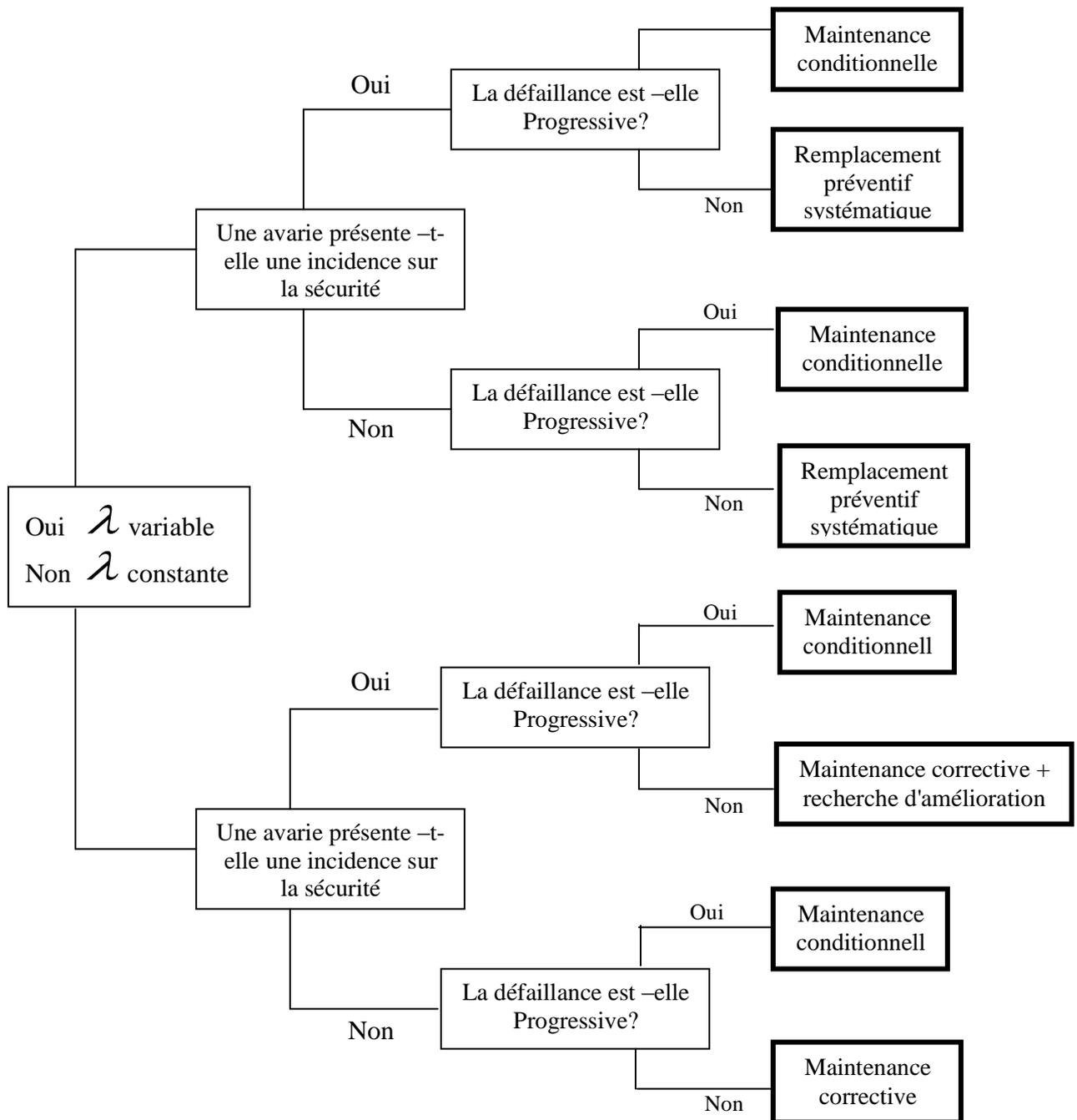


Figure I. 6: Arbre de décision

### 3.1.2. Natures 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. [8].

### 3.1.3. Système ET composants

(Pièce)  $\subset$  (Composant)  $\subset$  (Sous système)  $\subset$  (Système élémentaire)  $\subset$  (Système)

## 3.2. 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.

### 3.2.1. 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.7).

Cela afin d'apporter des remèdes durables et des mesures d'organisation pour éviter la réapparition de la défaillance, ou pour atténuer ses effets. (Chaib [9]).

## 3.3. Typologie des défaillances

Il existe deux types de défaillances :

La défaillance cataclysmique complète et soudaine qui est due à une rupture brusque et la défaillance par dérive qui est due à un phénomène d'usure [8].

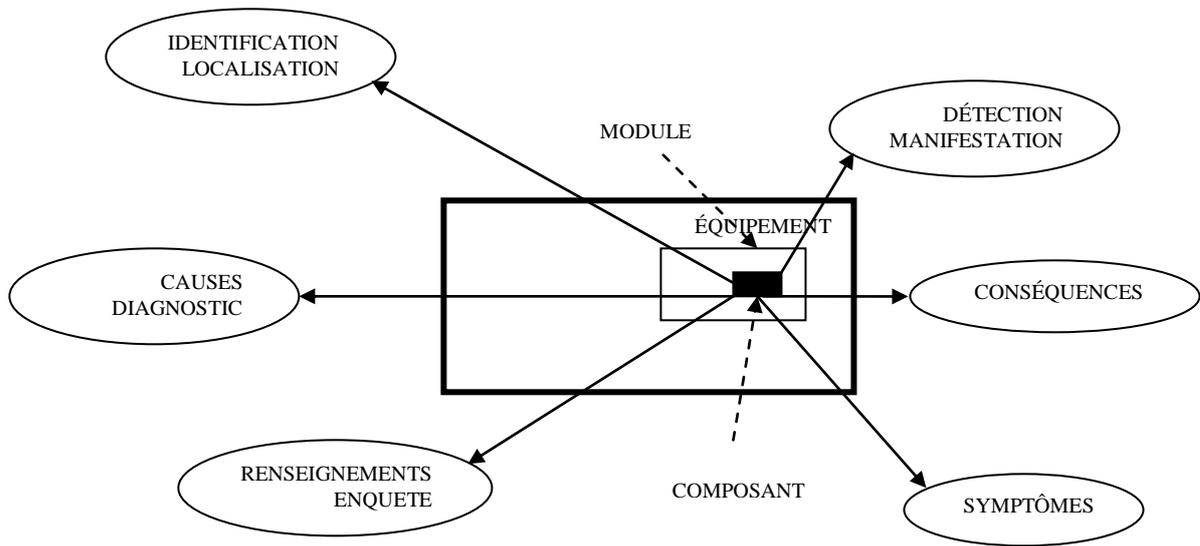


Figure I. 7 : Les critères permettant l'analyse post défaillance

### 3.4. Causes de défaillance

Ce sont des circonstances liées aux plusieurs facteurs [9] c'est ce que nous présentons à la figure I.8.

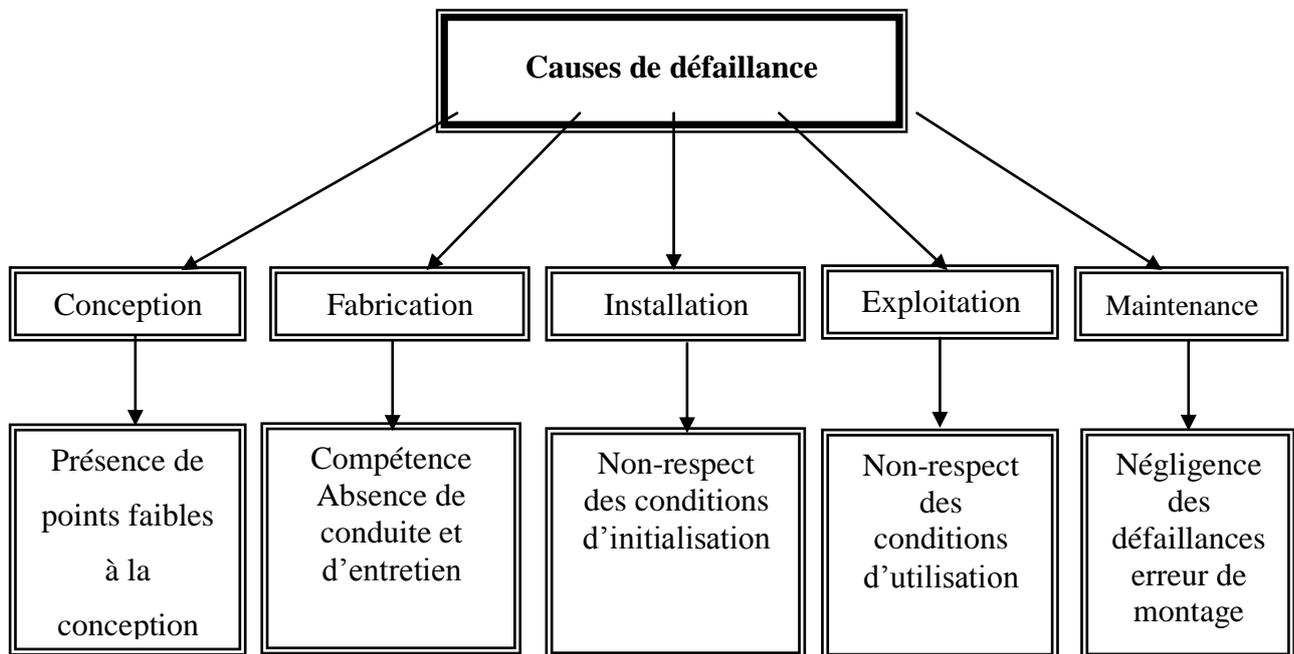


Figure I. 8 : les causes de défaillance

### 3.5. 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 :

**A.** 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;

**B.** Les modes de défaillances mécaniques:

1- Les modes de défaillances inhérents au fonctionnement :

Elles apparaissent suite à :

à l’Usure, à une surcharge, à une fatigues (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 œuvre, défaut de fabrication (défaut d'usinage, de traitements thermiques, de soudure...

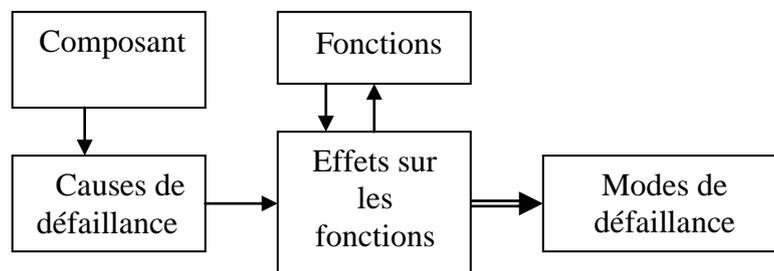
3- Les modes de défaillances inhérents à l’environnement :

Défaut de montage, abrasion, corrosion.

**C.** 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.

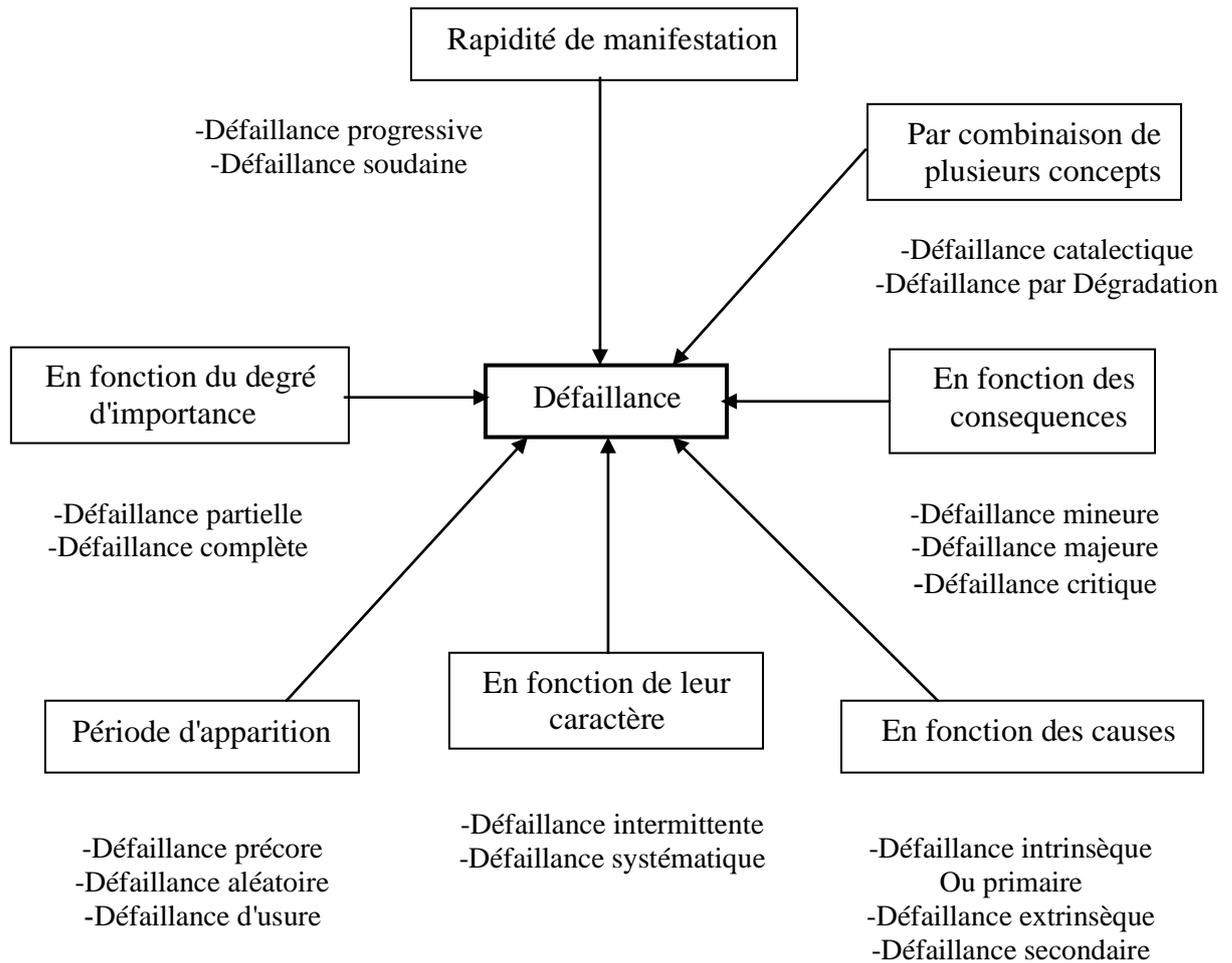
La figure I.9, illustre les liens étroits et les inter-relations qui existent entre ces divers concepts :



**Figure I. 9 :Causes, Effets et modes de défaillance**

### 3.6. Classification des défaillances

Le cadre de référence de la classification des défaillances que nous présentons à la figure I.10, est répartie en sept familles et 17 causes.



**Figure I.10 : Classification des défaillances**

## I.4. La disponibilité

C'est la probabilité de bon fonctionnement d'un dispositif à l'instant t dans des conditions données.

$$A(t) = \Pr(S \text{ non défaillant à l'instant } t) \quad (I.1)$$

Augmenter la disponibilité d'un matériel consiste à diminuer le nombre de ses arrêts

La figure (I.11) illustre les trois facteurs d'influence de la disponibilité intrinsèque  $D_i$ .

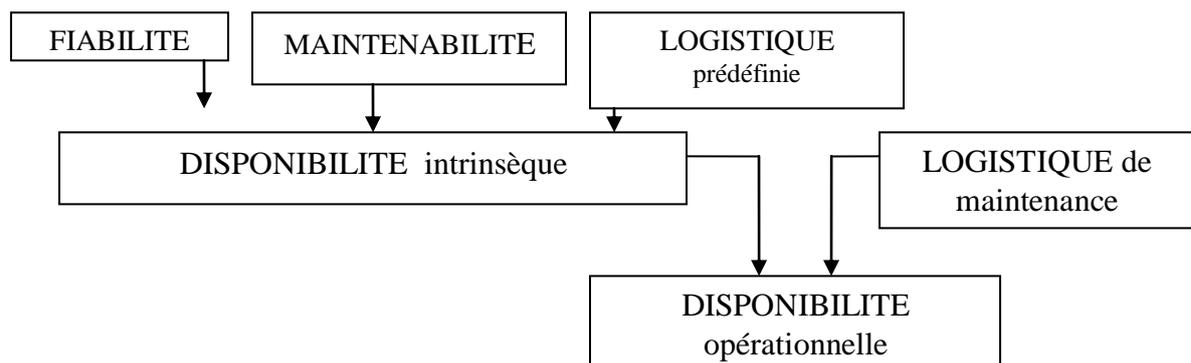


Figure I. 11 : Disponibilité intrinsèque et opérationnelle-(D.Ait-Kadi [10])

#### 4.1. Amélioration de la disponibilité

D'un point de vue pratique, la figure (I.12) , présente un schéma global de détermination des caractéristiques de la fiabilité opérationnelle d'un composant à partir d'une banque de données, de l'historique des pannes ou du retour des expériences. Ces données nous permettent de déterminer la durée de vie observée et de déduire les différentes caractéristiques telles que le taux de panne, la fiabilité, la défaillance, etc.

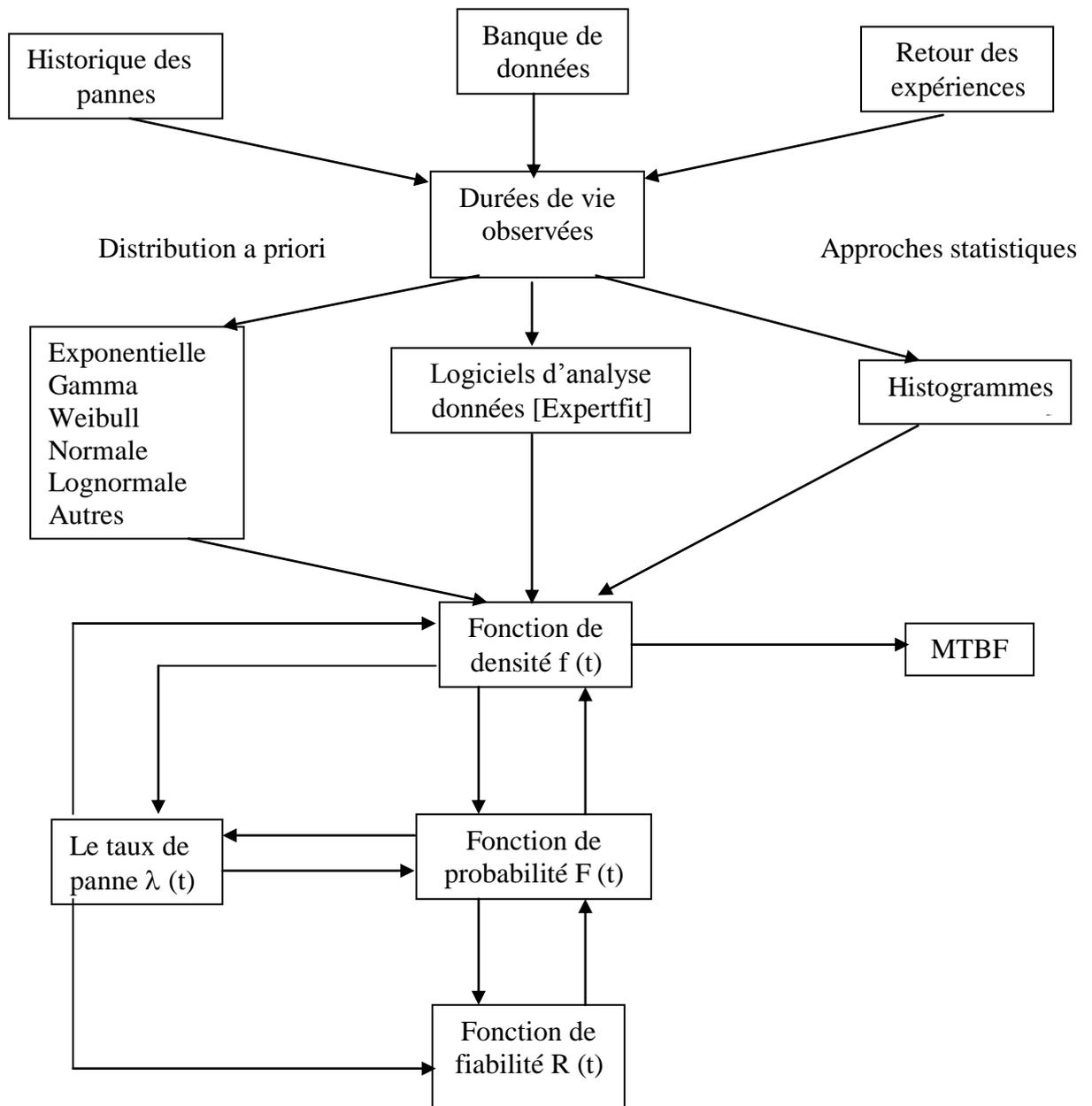


Figure I.12: La détermination expérimentale des différents caractéristiques d'un composant

## 4.2. La Fiabilité R

C'est l'aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise dans des conditions données, pendant une durée donnée ;

C'est donc une grandeur comprise entre 0 et 1. Nous la désignons, dans ce qui suit par  $R(t)$  où  $t$  désigne la durée de la mission (équation 1).

$$R(t) = \Pr(\text{durée de vie } T > t) \quad (I.2)$$

## 4.3. Identification et caractérisation des facteurs influençant la fiabilité

L'amélioration de la fiabilité s'exprime sur l'analyse de défaillance, (voir figure I.13).

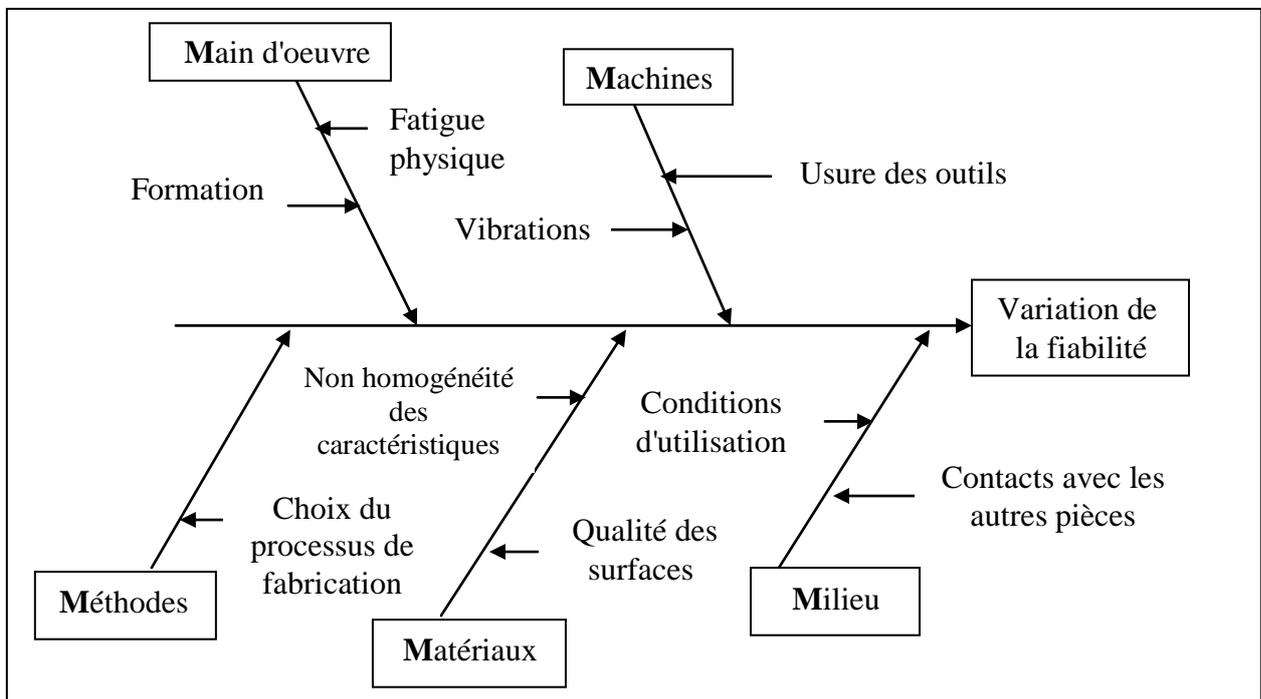


Figure I.13 : Diagramme causes effets (ou Ishikawa) - (Bouami. [11])

Cette analyse peut être conduite de façon beaucoup plus spécifique pour un mode de défaillance particulier. Dans ce cas, il suffit de remplacer l'effet générique « Variation de la fiabilité » (au sommet de l'arête d'Ishikawa), par le mode de défaillance à étudier.

## 4.4. La maintenabilité et la maintenance

L'acheteur et l'utilisateur sont intéressés par le temps qui s'écoule entre la détection d'une défaillance d'un système ou d'un équipement et la remise en parfait état de fonctionnement.

Ce délai comporte, outre le diagnostic de la défaillance et la réparation, le temps nécessaire pour obtenir les pièces de rechanges et la disponibilité de la main-d'oeuvre qualifiée.

#### **4.5. Définition de La maintenabilité**

C'est l'aptitude d'un système à être maintenue ou rétablie dans un état dans lequel elle peut accomplir une fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, avec des procédures et des moyens prescrits (AFNOR (1993), norme NF x 60- 010).

C'est la probabilité que la maintenance d'un système  $S$  accomplie dans des conditions données, soit effectuée sur l'intervalle  $(0, t)$  sachant qu'il est défaillant à l'instant  $t = 0$ .

$$M(t) = \text{Pr}(S \text{ est réparé sur l'intervalle } (0, t)) \quad (\text{I.3})$$

#### **4.6. La sécurité (Safety)**

C'est l'aptitude d'un produit à ne pas entraîner de dommages graves aux personnes, à l'environnement ou aux biens. Caractérisé par sa probabilité.

La sûreté de fonctionnement regroupe les activités d'évaluation de la Fiabilité, de la Disponibilité, de la Maintenabilité et de la Sécurité (FDMS) d'une organisation, d'un système, d'un produit ou d'un moyen. Ces propriétés sont différentes mais complémentaires.

Ainsi que la figure (I.14) résume l'évaluation des performances des produits sur tout leur cycle de vie en particulier pour la fiabilité et la maintenabilité auxquelles on s'intéresse.

Et cela en étape de conception d'un système qu'on le définit 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.

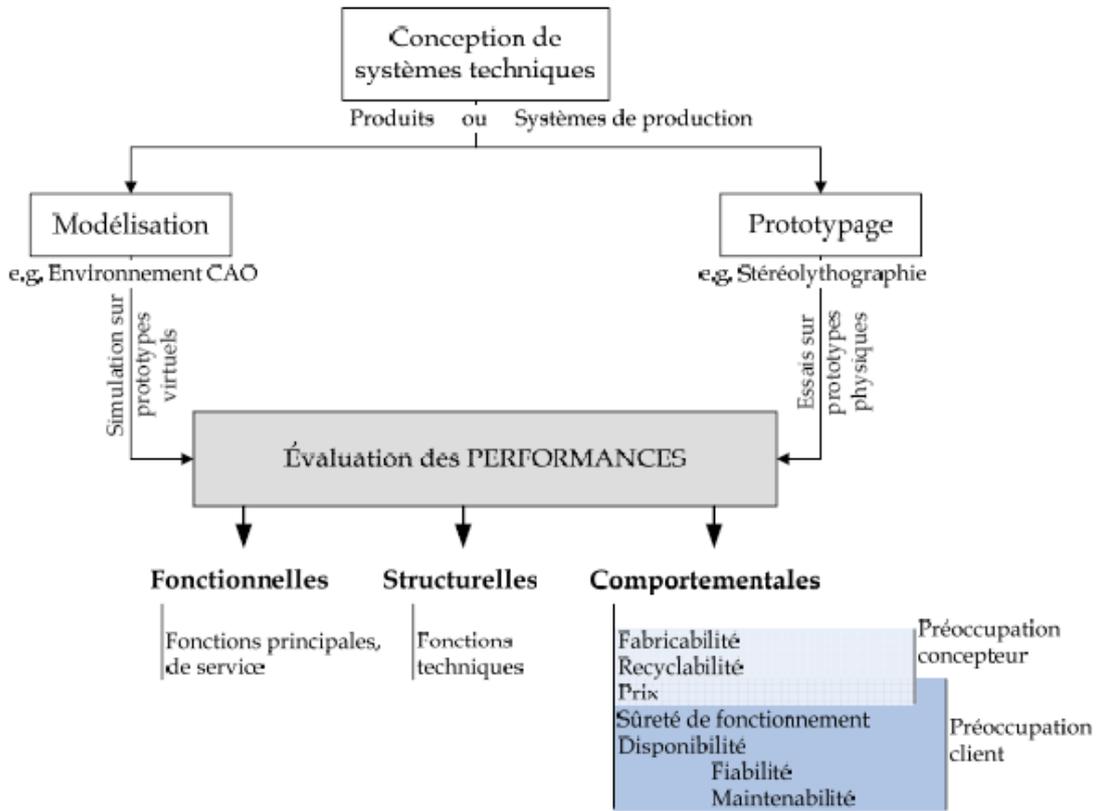


Figure I. 14 : Processus de conception

La sûreté de fonctionnement est définie comme la science des défaillances, elle inclut ainsi leur connaissance, leur évaluation, leur prévision, leur mesure, et leur maîtrise.

## I.5. Les comportements pathologiques d'une machine

### 5.1. Concept de la courbe en baignoire et taux de déformation

Si nous représentons le taux de panne en fonction du temps, (voir figure I.15) nous obtenons une courbe appelée « en baignoire » qui est divisée en 3 parties :

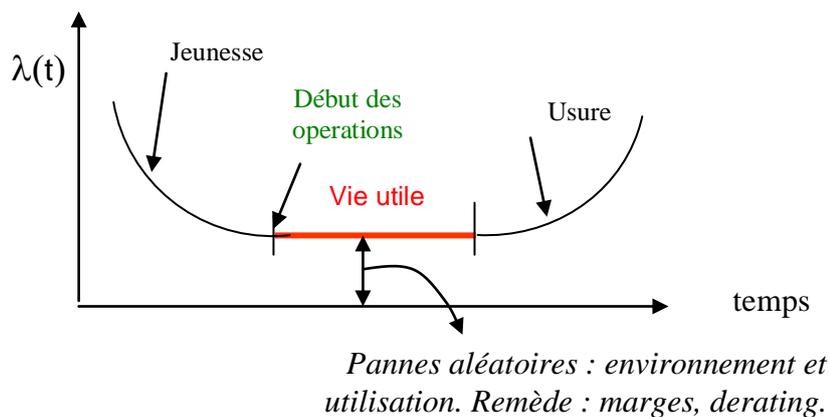


Figure I.15 : évolution du taux de panne en courbe "baignoire"

## A/ Période de jeunesse

A titre de prévention, on pratique un rodage : consiste a mettre en fonctionnement pendant un certain temps (168 h par exemple) les composants que l'on veut livrer au client (période de rodage).

## B/Période de vie utile (maturité)

- \_ le taux de défaillance  $\lambda(t)$  est constant (matériel électronique) ou légèrement croissant (matériel mécanique).
- \_ la loi de fiabilité  $R(t)$  est exponentielle décroissante.
- \_ Les défauts proviennent d'accidents (catalectiques) ou de charges excessives.
- \_ Le type de maintenance peut être préventif, systématique ou correctif.

## C/Période de vieillissement

Dégradation importante par dérives.

- \_ Le taux de défaillance augmente à cause du vieillissement (usure, fatigue)
- \_ Période où il faut surveiller le matériel, on applique la maintenance préventive conditionnelle.
- \_ La période de transition permet de déterminer les dates de remplacement des pièces et de maintenance.

Selon le type de produit (électronique, informatique ou mécanique), l'allure de la courbe peut changer.

Dans *Introduction to Reliability Engineering*, Lewis présente plusieurs types de courbes en baignoires (voir figure I.16).

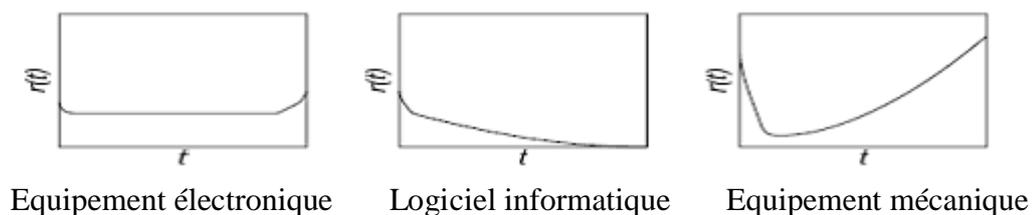


Figure I. 16 : Allure caractéristiques du taux de pannes – (Lewis [12])

## 5.2. Les principaux remèdes de maintenance associées aux différents modes de défaillance

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

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

**Tableau I.1: Causes et leurs remèdes des différents modes de défaillance**

### 5.3. Taux de défaillance

C'est la probabilité conditionnelle que l'équipement tombe en panne entre l'instant  $t$  et  $t + \Delta t$  sachant qu'il a survécu jusqu'à l'instant  $t$ , varie avec le temps comme indiqué sur la courbe de la figure I.16.

Il peut aussi être défini comme la proportion de composants ayant survécu jusqu'à l'instant  $t$  (équation I.4). Il représente également la vitesse d'arrivée de la panne (Monchy [7]).

$$\lambda(t) = \frac{N(t) - N(t + \Delta t)}{N(t)\Delta t} \quad (\text{I.4})$$

Avec :  $N(t)$  : Nombre de composants ayant survécu jusqu'à l'instant  $t$ .

$N(t + \Delta t)$  : Nombre de composants ayant survécu jusqu'à l'instant  $t + \Delta t$ .

La fiabilité est une fonction décroissante du temps, de telle manière que  $R(t_1) > R(t_2)$  si  $t_1 < t_2$ .

Elle est reliée au taux de panne  $\lambda(t)$  par la relation suivante :

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda dt} \quad (\text{I.5})$$

Où  $t$  est la durée de la mission considérée.

L'analyse de la défaillance est faite non seulement dans le but de réparer ou dépanner un système défaillant, mais également de chercher à éviter la réapparition du défaut.

## **I.6. Performance et Indicateurs de performance**

### **6.1. Introduction**

Dans le domaine de sciences pour l'ingénieur, la notion de performance est très rarement définie car considéré comme implicitement connu. Les travaux du domaine du contrôle assimilent le plus souvent la performance à un indicateur de performance: temps d'exécution, quantité d'opérations, quantités de ressources utilisées.....La plupart du temps, on considère qu'une proposition contribuant à l'amélioration de l'un de ces indicateurs, génère une réduction des coûts et implicitement une amélioration des performances.

La performance globale d'un système comme étant l'obtention conjointe de la pertinence, de l'efficacité, et de l'efficacités, appréciée en termes de coûts et de valeur, sur l'intégralité du cycle de vie du système.

La pertinence est l'adéquation des objectifs et des moyens. Son évaluation passe par la question : "Les moyens mis en œuvre correspondent-ils aux objectifs ?".

L'indicateur d'efficacité par excellence est le rendement d'un système.

L'efficacité est l'adéquation des résultats et des objectifs.

L'effectivité est l'adéquation des objectifs, des moyens et des résultats au regard de la finalité du système.

Comme le souligne [Hoc et Rogalsky 13] plus s'accroît la complexité des systèmes, plus se multiplient les interactions cachées qui peuvent transformer une petite dérive en catastrophe.

La structure du système d'indicateurs doit permettre de remonter le plus près possible de la cause initiale du problème.

### **6.2. Définitions**

Pour AFNOR, " un indicateur de performance est une donnée quantifiée, qui mesure l'efficacité de tout ou partie d'un processus ou d'un système, par rapport à une norme, un plan ou un objectif déterminé et accepté, dans le cadre d'une stratégie d'entreprise.

Ainsi, on peut dire qu'un ensemble cohérent d'indicateurs = des mesures + des objectifs + des VD + moyens d'action + des plans d'action actualisés. On a ainsi une dynamique de progrès généralisée et cohérente. (N.K. Mouss [14]).

Les objectifs, les indicateurs et les critères de performance interviennent le long de boucle d'évaluation par laquelle les objectifs sont définis, assignés puis, selon la performance effective atteinte, redéfinis (voir figure I.17).

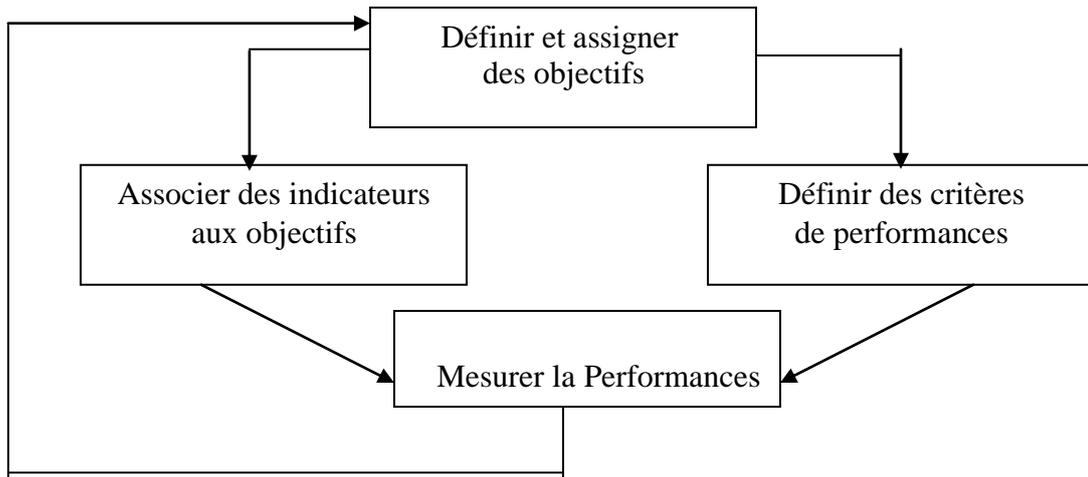


Figure I.17 : Evaluation de la performance-(Orgalea15)

### 6.3. Analyse d'arrêt d'une machine

Les trois niveaux de caractérisation FMD d'un équipement sont regroupés au tableau ci-dessous :

	Propriétés	Caractéristique FMD
Ensemble Module Composant	Toujours réparable Réparable ou consommable Consommable, parfois réparable	Disponibilité Maintenabilité et Fiabilité Fiabilité

Tableau I.2. Les trois niveaux de FMD d'un équipement

Pour nous attaquer aux arrêts et pannes qui réduisent le temps d'ouverture et dégradent le taux de Fonctionnement TF, nous allons analyser le Contenu d'un arrêt machine et chercher à connaître la fiabilité et la maintenabilité de chaque machine (voir figure I.18).

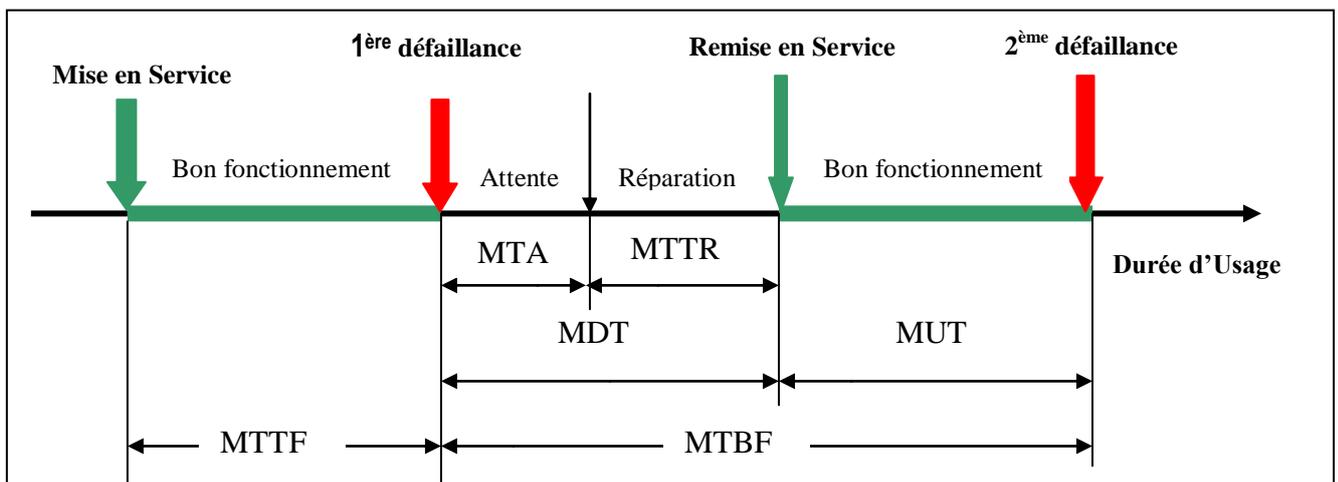


Figure I. 18 : Les indicateurs technique FMD en fonction du temps

Un équipement est modélisé par des modules, Il est ainsi constitué de plusieurs modules.

On a  $MTBF(\text{module}) = MTBF(\text{composant le plus fragile})$

L'abréviation FMD désigne le triptyque:

$$\text{Fiabilité} = 1/MTBF$$

$$\text{Maintenabilité} = 1/MTTR \quad \text{C'est le taux de réparation}$$

$$\text{Disponibilité} = MTBF / (MTTR + MTBF)$$

$$\lambda: \text{taux de défaillance} = 1/MTBF$$

La moyenne des temps au cours d'un cycle de vie = Temps total /Nombre d'arrêt.

#### 6.4. Composition des indicateurs de performance

Lors de la composition des ratios l'expérience a prouvé qu'il convient de respecter les principes suivants :

- Limiter le nombre de ratios que l'on veut suivre dans un tableau de bord.
- Baser les ratios sur des données facilement disponibles dans les unités.
- mettre à jour d'une façon continue les données reprises dans les ratios.
- Interpréter les ratios obtenus afin de les rendre comparables aux résultats précédents.

Ce qui fait que les résultats de la fonction maintenance s'examinent à trois niveaux :

- les coûts 'aspect économique'
- Les performances 'aspect technique'
- L'efficacité

##### 1- Les indicateurs de coûts

- Taux de main d'œuvre :

$$\frac{\text{Montant total des dépenses de main- d'œuvre}}{\text{Montant total des dépenses de maintenance}} \quad (\text{I.8})$$

- Taux de matière :

$$\frac{\text{Montant total des sorties magasin et achats directs}}{\text{Montant total des dépenses de maintenance}} \quad (\text{I.9})$$

- L'impact de la maintenance permet de connaître la part de la maintenance dans le prix de revient :

$$\frac{\text{Coût de la maintenance}}{\text{Prix de revient des produits fabriqués}} \quad (\text{I.10})$$

## 2- Les indices de performance

- Le taux de rendement synthétiques (TRS):

$$\text{TRS} = \frac{\text{Temps utile}}{\text{Temps d'ouverture}} \quad (\text{I.11})$$

- Le taux de disponibilité :

$$\text{TD} = \frac{\text{MUT}}{\text{MTBF}} = \frac{\text{MUT}}{\text{MUT} + \text{MDT}} \quad (\text{I.12})$$

## 3- Les critères d'efficacité

L'efficacité se traduit par l'aptitude du dispositif de maintenance à produire un service, au juste prix, dans les meilleures délais et conditions de sécurité tout en respectant les exigences préfixées.

- La productivité du personnel de maintenance :

$$\frac{\text{Temps réel de travail}}{\text{Temps de présence}} \quad (\text{I.13})$$

- La part du dépannage dans l'activité maintenance :

$$\frac{\text{Temps d'intervention de dépannage}}{\text{Temps d'intervention de la maintenance}} \quad (\text{I.14})$$

- Le délai de réponse : c'est le temps que met le service maintenance à agir, à partir du moment où il a été prévenu de l'arrêt :

$$\frac{\text{Temps globale d'arrêt} - \text{temps de traitement effectif}}{\text{Temps global d'arrêt}} \quad (\text{I.15})$$

Temps de traitement effectif : le temps globale d'arrêt moins le temps que met le service production à prévenir le service maintenance, (Norme cromo RENAULT E 4150505[16]).

## **6.5. Le tableau de bord**

Pour décrire l'état de l'activité maintenance, nous résumons ces indicateurs qui sont les plus adéquates dans un tableau qui est le tableau de bord, c'est un outil de mesure des situations et comportements humains, économiques et matériels a pour fonction de donner une information pertinente, rapide et synthétique sur un fonctionnement, un état, un objectif, une performance, par l'intermédiaire des indicateurs de performance

## **I.7. Présentation d'un système de gestion de la maintenance**

Le système de gestion de la maintenance que nous présentons à la figure (I.19), comporte quatre étapes :( Y. Kerboua Ziari [17]).

- La première concerne la réception du matériel et la documentation.
- La deuxième est relative au choix du type de maintenance à effectuer en fonction des paramètres choisis.
- La troisième étape en laquelle nous précisons les étapes du processus de maintenance telles que la planification des interventions, les procédures de détection des défaillances, l'exécution et le suivi de l'intervention.
- La dernière étape concerne la réalisation et le suivi de l'opération de maintenance.

## **7.1. Impact d'un système de gestion de la maintenance**

Un système de gestion de la maintenance implanté adéquatement a un impact à différents niveaux : l'infrastructure, les ressources (humaines et matérielles), la gestion (pièces de rechange, inventaire, etc.) et la sécurité (figure I.20).

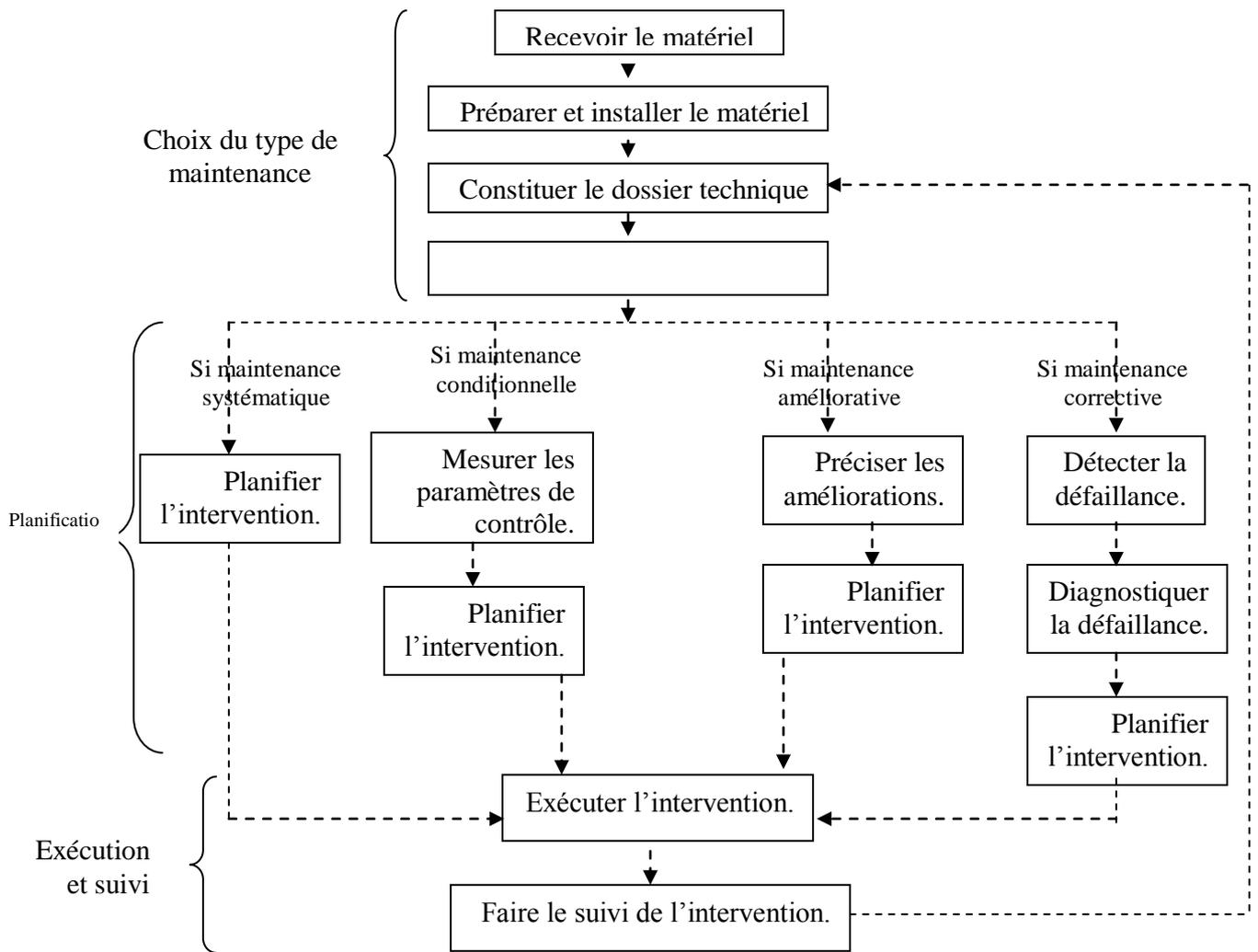
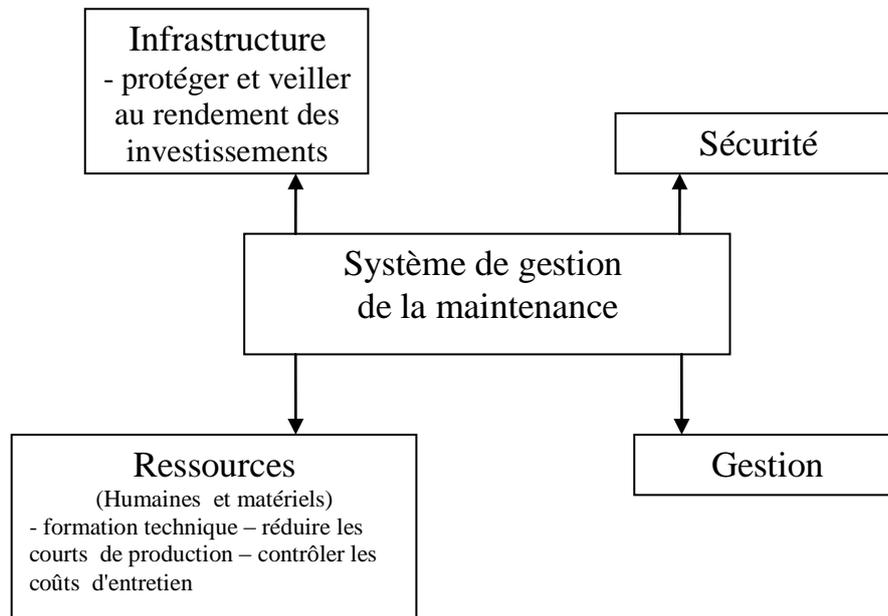


Figure I. 19 : Le système de gestion de maintenance



**Figure I. 20 : L'impact du système de gestion de la maintenance**

Enfin, le système de gestion de la maintenance influence aussi les critères de compétitivité de l'entreprise, à savoir la qualité, le prix, le temps, la flexibilité, le service et la notoriété. (Tsang et *al.* [18], Vernier [19]).

## 7.2. Les conditions de réussite d'un programme de gestion de la maintenance

Un programme de gestion de la maintenance ne peut atteindre les résultats voulus sans la préparation du terrain et sans l'implication du personnel. Ces deux conditions sont importantes pour la réussite d'un système de gestion de la maintenance. Il faudra également ajouter d'autres conditions pour la réussite de l'implantation. Ben-Daya et Alghamdi [20] :

- \* se définir un objectif fixe: cet objectif va permettre de tracer les lignes directrices de la politique de maintenance. Il dépend énormément de la mission de l'entreprise.

Prenons, par exemple, une entreprise hôtelière qui cherche le confort de son client.

Celle-ci ne peut pas avoir le même département de maintenance qu'une entreprise minière qui cherche à diminuer le prix de revient par kilogramme de minerai.

- \* favoriser une direction et un personnel motivés pour l'instauration de la maintenance.

- \* se prévaloir de procédures rigoureuses de collecte, de traitement et d'archivage de données pertinentes. Ces données seront utilisées dans le système de gestion de la maintenance.

\* assurer la communication entre les différents membres de l'équipe.

\* se doter de procédures de suivi, d'évaluation de la performance et d'affichage des indicateurs de performance.

Nous citons dans ce qui suit quelques objectifs que doivent se fixer les entreprises. Il faut cependant rappeler que ces objectifs sont étroitement liés à la mission de l'entreprise Jardine et *al.* [21] et Kumar [22]) :

\* la limitation du nombre d'interruptions de service et la réduction des durées de pannes accidentelles.

\* le maintien des équipements en bon état pour opérer en toute sécurité.

\* la maximisation de l'efficacité de l'équipement.

\* la minimisation des coûts d'opération.

\* le maintien d'un niveau de qualité élevé du travail effectué par le service de maintenance pour, entre autres, améliorer la qualité des produits et allonger la durée de vie des équipements.

L'objectif visé est de réduire l'inventaire de pièces de rechange, d'accroître la capacité de production, ainsi que le profit global de l'entreprise.

Une autre condition pour réussir un système de maintenance serait de spécifier les niveaux de maintenance dans l'entreprise. Présentent cinq niveaux. Ceux-ci font référence à la complexité des tâches à effectuer et aux ressources humaines et matériels nécessaires à la réalisation de chacune des tâches.

Niveaux	Personnel d'intervention	Moyens
<b>1</b>	Exploitant sur place	Outillage léger défini dans les instructions d'utilisation.
<b>2</b>	Technicien habilité sur place	Outillage léger défini dans instructions d'utilisation, plus pièces de rechanges trouvées à proximité, sans délai.
<b>3</b>	Technicien spécialisé, sur place ou en local de maintenance	Outillage prévu plus appareils de mesure, banc d'essai, de contrôle, etc.
<b>4</b>	Equipe encadrée par un technicien spécialisé, en atelier central	Outillage général plus spécialisé, matériel d'essai, de contrôle, etc.
<b>5</b>	Equipe complète, polyvalente en atelier centrale	Moyens proches de la fabrication par la constructeur.

**Tableau I.3 : Les ressources nécessaires pour chaque niveau de maintenance**

### **7.3. Les 5 niveaux de maintenance**

Les interventions de maintenance peuvent être classées par ordre croissant de complexités (selon norme x60-015) :

1. Réglage matériel ou échange éléments accessibles simplement.
2. Dépannage par échange de matériel ou petite intervention préventive
3. Identification et diagnostic de panne. Réparation par échange de composant fonctionnels. Réparation simple.
4. Travaux important de maintenance corrective ou préventive. Révisions.
5. Rénovation, reconstitution, réparation importante.

Monchy [7], Nakajima [23, 24] Lyonnais [25]

### **I.8. Les approches contemporaines**

Les approches contemporaines de gestion de la maintenance militent en faveur du découplage des fonctions et de la participation de tous les intervenants à divers niveaux, à un effort collectif d'élimination du gaspillage sous toutes ses formes. Elles prônent également l'amélioration continue et suggèrent des façons de faire pour maintenir le cap et réagir efficacement aux perturbations pouvant affecter la performance globale de l'entreprise [MOU 26, ZWI 27].

Dans ce contexte, De nouvelles approches ont vu le jour on peut citer :

la maintenance intégrée à la conception, le coût global de cycle de vie, la maintenance productive, la maintenance basée sur la fiabilité, la maintenance assistée par ordinateur (télé-maintenance), les systèmes experts d'aide au diagnostic, ou encore l'audit de la maintenance [Fra 28].

#### **8.1 La télémaintenance**

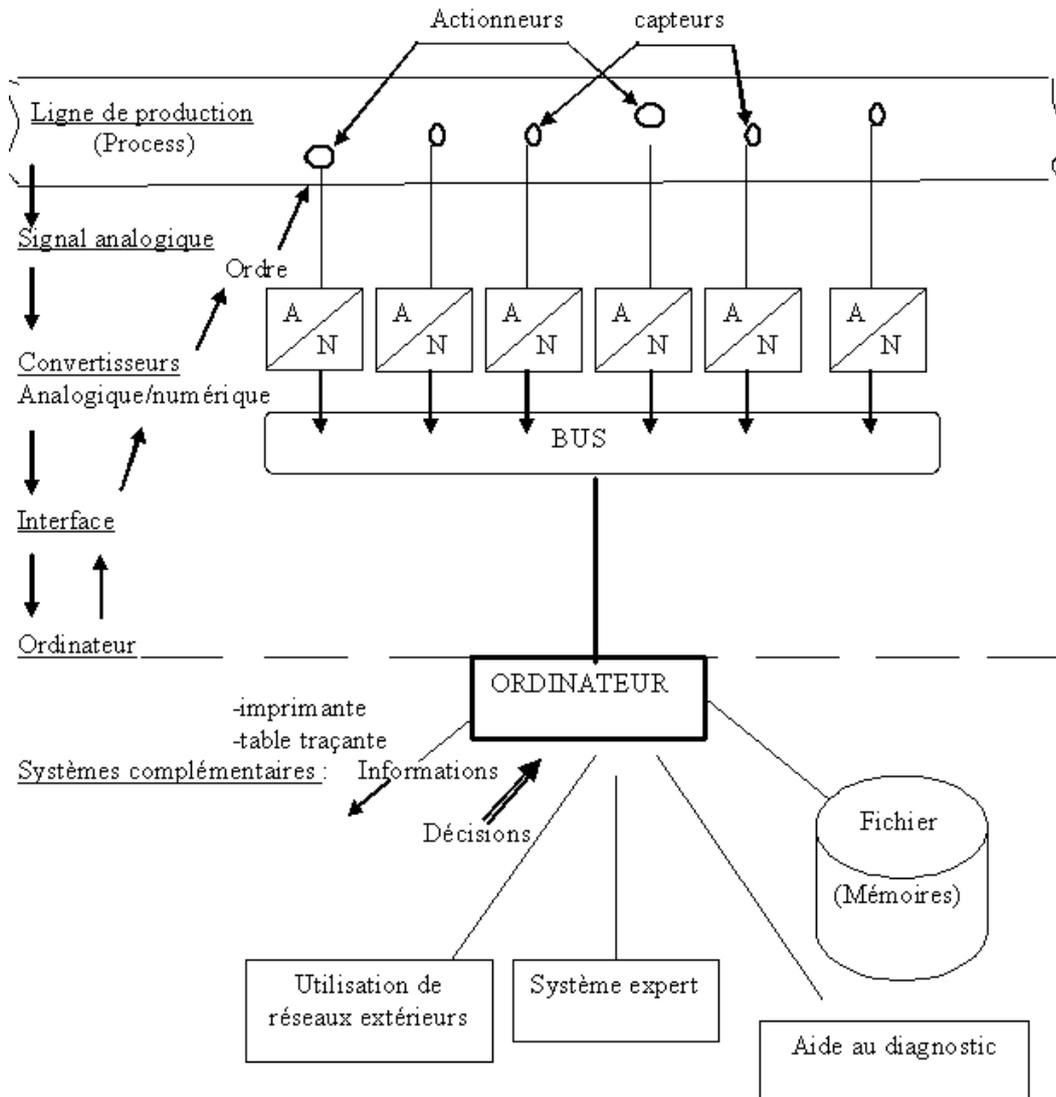
La télémaintenance est une forme évoluée de maintenance. Elle est basée sur le principe suivant : les capteurs, mesurant des grandeurs intimement liées à l'état de la machine, sont reliés à une centrale de surveillance qui enregistre toutes les alarmes et les .Des tableaux synoptiques visualisent la localisation de l'information. Cette technique permet d'une part, le suivi et l'enregistrement des données sur chaque machine pour des fins de comparaison et d'autre part, la détection d'aléas de fonctionnement. L'agent de surveillance qui constate une évolution d'une dégradation ou l'apparition d'un défaut, a la responsabilité de mettre hors

service, de consigner la partie lésée de l'installation et d'alerter les agents d'intervention. Cette technique voit son application dans les chaînes de production automatisées ou auto programmables. Al- Najjar et Alsyouf [29].

Le développement des automates industriels et de l'informatique en réseau permet aujourd'hui de superviser un site industriel à distance, avec des écrans d'aide au diagnostic en « local ». Des synoptiques permettent la surveillance en temps réel des différents états d'un automatisme, donc le pilotage de la production. Mais aussi la détection des dérives pathologiques qui l'affectent (perte de normalité), donc le pilotage de la maintenance. (Malcolm [30]).

## A. Illustration du principe de la télésurveillance

L'instrumentation requise schématisée par la figure (I.22). Permet une surveillance en temps réelle de la succession des états " normaux " du système. [5], Elle permet aussi la détection des phénomènes pathologiques dont les symptômes sont transmis par réseau au superviseur. Celui-ci doit alors appliquer la procédure prévue : agir par arrêt général, par neutralisation locale ou par reconfiguration du système.



## B. Les limites et les risques de la télésurveillance [5]

\* Défaillance du système de supervision

Cette défaillance isolera le superviseur de la réalité du terrain. Situation grave pouvant amener des mauvaises décisions, ou pas de décision, ou l'application de procédures inappropriées. L'ensemble du système doit donc être fiable à l'origine, testé périodiquement puis "maintenu" en bon état.

#### \* Défaillance du superviseur

Travaillant souvent sous forme de performance en 3\*8 avec astreintes, les superviseurs ne sont pas des surhommes : ils peuvent être victimes de défaut de vigilance, d'erreurs d'interprétation ou de problème physiologiques. Parois d'une formation insuffisante ou d'une ergonomie insuffisamment pensée de leur poste de travail (Entre factage d'images numériques ou confusion de signaux, par exemple).

#### \* défaillances non attendues

Nous ne pouvons détecter que les seules défaillances attendues, donc <<instrumentées>>et surveillées. Un exemple caractéristique est la fuite d'un gaz odorant, elle est plus facile à détecter par un technicien présent que par une instrumentation, même sophistiquée, les exemples d'accidents en raffinerie nous prouvent la nécessité de trouver un juste équilibre entre la télésurveillance centralisée et le maintien de rondes *in situ*. Afin de garantir la sécurité et la disponibilité des équipements, la présence humaine reste le complément indispensable de tout télésurveillance centralisée.

## **8.2. La maintenance basée sur la fiabilité (MBF)**

La RCM (Reliability Centred Maintenance) a vu le jour dans l'industrie aéronautique au cours des années 60, Un groupe de travail des forces armées américaines a pris en charge l'étude de nouvelles alternatives de l'entretien préventif (Wheaton [31]).

Le processus contient une partie formation et une partie mise en place. Cette dernière se compose de plusieurs étapes ([26]) :

1. présenter l'approche aux décideurs dans l'organisation.
2. choisir le matériel approprié pour l'analyse initiale et estimer les avantages potentiels de cette analyse.
3. choisir l'équipe appropriée pour conduire l'analyse.
4. mener le processus d'apprentissage pour les membres d'équipe.
5. former l'équipe et conduire l'analyse;
6. conduire l'audit technique et managérial de l'analyse;

7. développer les programmes de maintenance révisés;
8. mettre en application les programmes de maintenance révisés;
9. évaluer les avantages obtenus;
10. répéter les étapes 2 à 9.

### **8.3. La Maintenance Productive Totale (TPM)**

Nakajima [23, 24] définit la T.P.M comme une approche où tous les employés participent à la maintenance préventive par des activités d'équipe.

C'est la définition qui est adoptée d'emblée dans la littérature sur la T.P.M. Il ajoute que le terme "Total" de TPM a trois significations : le rendement global des installations, un système global de réalisation et une participation de tout le personnel. La TPM vise à modifier la manière de penser des employés vis-à-vis de la maintenance et à améliorer leur niveau de connaissance

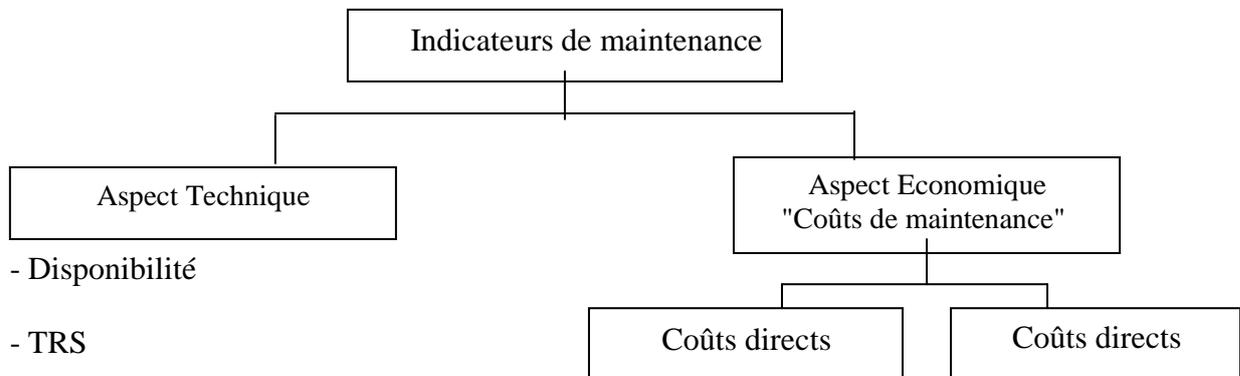
Il la résume en cinq points clés :

1. le fonctionnement optimal des installations;
2. un système exhaustif de maintenance préventive, incluant la maintenance autonome et la détection des micro-dégradations par un programme de propreté;
3. une approche multidisciplinaire (design + production + maintenance);
4. l'implication de tous les employés et à tous les niveaux;
5. la réalisation des activités de maintenance préventive par petits groupes autonomes.

## **I.9. Conclusion**

Au cours de ce chapitre, nous avons défini le système de gestion de la maintenance avec ses différents aspects préventifs et correctifs, Puis, nous avons défini la fiabilité et la défaillance d'un système. Il est important de connaître les grandeurs et les mécanismes qui en résultent pour pouvoir implanter un système de maintenance efficace et rentable.

Les indicateurs doivent permettre l'établissement des diagrammes et l'exploitation des historiques propres à chaque machine, afin de valider et d'optimiser les actions préventives préétablie.



Les approches proposées permettront donc, au gestionnaire de la fonction maintenance de bien penser le système en lui offrant des outils qui l'aideront à prendre des décisions éclairées quant à la gestion des processus de maintenance et des processus (Ressources humaines, matériels et pièces de rechange).

La télémaintenance n'est pas une forme de Maintenance à part entière : c'est de la maintenance conditionnelle et prédictive associées à des systèmes d'aide au diagnostic.

Les études MBF peuvent être réalisées :

- 1- Pour réviser un programme de maintenance existant
- 2- Pour rédiger le plan de maintenance préventive d'une installation nouvelle
- 3- Pour prendre en compte les critères de maintenance lors de la conception des installations

Par contre la TPM est en fait un ensemble structuré de méthodes de maintenance traité dans d'autres rubriques comme les maintenance systématique, conditionnelle, prédictive et améliorative.

Chapitre II

Méthodes  
de

Maintenance

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 (les 5M) tout en cherchant le M ou les M qui présentent des pertes financières dans le budget. Puis de chercher les composantes de M identifié au départ les plus défaillantes. Par la suite elle consiste à identifier les organes élémentaires de ces composantes qui portent préjudice au fonctionnement normale de processus.

Dans ce contexte l'optimisation de la maintenance est traitée de plusieurs manières, la théorie de décision par les statistiques bayesiens (H.Procaccia [32]), par la simulation et la politique d'approvisionnement (Ruhul Sarker [33]) Cette optimisation exige la maîtrise et l'optimisation des processus et des activités de production et de maintenance.

On cite ici encore la Démarche d'optimisation du plan d'action maintenance (B. Herrou [34])

Cette méthode s'articule autour d'une approche qui descend via une cascade les processus, les activités, le matériel, et les défaillances critiques en utilisant la méthode de Pareto et/ou celle de la matrice multicritères. La détermination des causes de défaillance est alors faite grâce au diagramme d'Ishikawa qui peut être couplé avec la méthode de la cascade des pourquoi qui a pour objectif de remonter à la cause d'origine (la source de la défaillance).La méthode PDCA a pour rôle de vérifier, standardiser et généraliser les résultats à l'intérieur de l'usine ce qui constitue un retour d'expérience parfait.

La méthode proposée c'est une **Optimisation de la maintenance par l'AMDEC** 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 le diagramme de Pareto,on identifie les anomalies et les dysfonctionnements du processus ,puis on remonte jusqu'à leurs causes d'origine pour suggéré des actions correctives appropriées,a l'aide d'une fiche d'analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leurs Criticité.

Le diagramme de Pareto qui est une méthode graphique, permet d'avoir une vision rapide de la contribution d'une catégorie d'éléments par rapport à d'autres. En maintenance, on pourrait par exemple l'utiliser pour visualiser l'importance relative des éléments suivants:

- Nombre de défaillances par équipement.
- Nombre de types de défaillances par équipement.

- Quantités cumulées d'indisponibilité par équipement.
- Quantités cumulées d'indisponibilité par type de défaillance.

## **II.1. Optimisation de la maintenance par l'AMDEC**

### **1.1. 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 éléments peuvent être : des matériels, des causes de pannes, 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 étudié, d'autres critères peuvent être retenus 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.

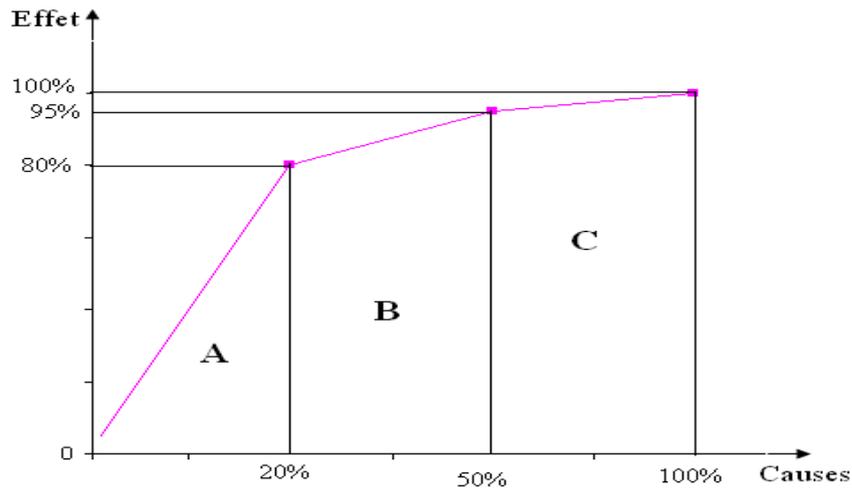
3. Tracer la courbe pourcentage des valeurs cumulées du critère en fonction du pourcentage des éléments cumulés qui en sont responsables (figure II.1).

#### 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 (B. Herrou et M. Elghorba [35]), 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.

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. (A.Mokhlis [36]).

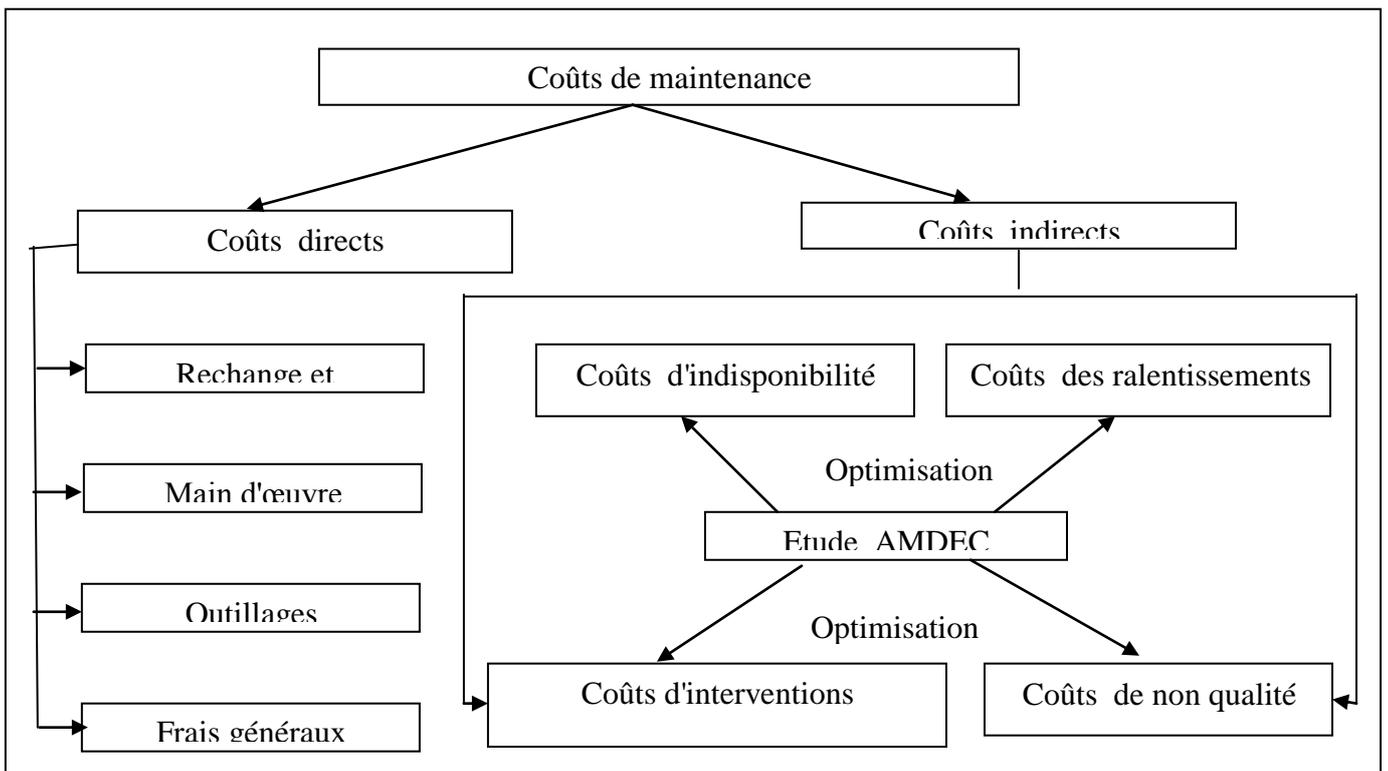


Figure II.2: Optimisation de la maintenance par l'AMDEC

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. (S. Efezazi [37]).

### **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 :
  - o la probabilité d'occurrence F,
  - o la gravité des conséquences G,
  - o 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 [21]

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	$\lambda$	Fonctionnement résultat et effets sur L'équipement Sous système Le système	Symptôme observables	Méthode de prévention	Criticité	Recommandations 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 :  $P < 10^{-9}$

- \* B : : événement très improbable :  $10^{-9} < P < 10^{-6}$
- \* C : événement improbable :  $10^{-6} < P < 10^{-3}$
- \* D : événement possible :  $P > 10^{-3}$

- 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 influence

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.

En fin et pour prouver l'importance de la méthode étudiée il s'est avéré nécessaire de la mettre en oeuvre pour l'intérêt d'une entreprise nationale (chapitre III).

- 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.2. La Maintenance Basée sur la Fiabilité**

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. (Gabriel.M [38]). Cette technique apporte une connaissance approfondie du fonctionnement et des interactions d'un système, par l'analyse systématique des relations causes-effets [11]. 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. (I. Verzea [39]).

La MBF a pour objectifs [39] :

- 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.

(Procaccia [40]- Robert [41]- Suhner. Marie-Christine [42]).

Le travail de (Efaga. Eu. [43]) montre comment l'exploitation des données du retour

d'expérience recueillies 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.

(N. Cotaina [44]), 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 méthode ([43]- [44]), 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.3. La Maintenance Productive Totale (TPM)**

### **3.1 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.

### **3.2 Objectif**

L'objectif des travaux concernant la TPM et son application dans les entreprises traite de nombreux aspects (direction + ingénierie + production + maintenance + qualité). [23-24]

### **3.3 Implantation de la TPM**

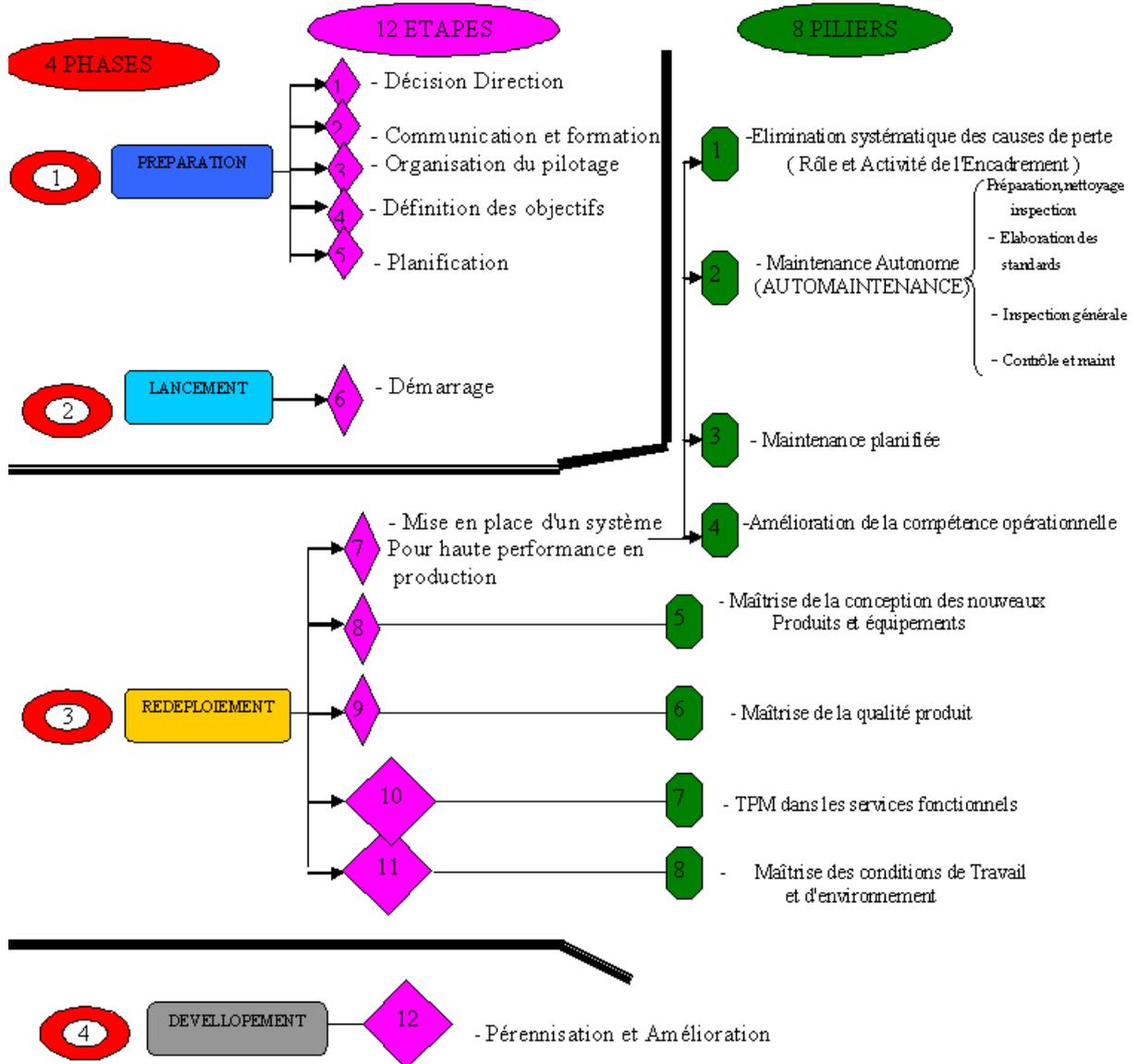
C'est JIPM qui recommande l'application de cette méthode.

Pour le bon déploiement de sa démarche elle est décrite d'une manière synthétique

(Voir figure II.3) et se compose de 4 phases, 12étapes 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.



Le projet (Laachir.m [45]), S'inscrit dans une démarche globale d'excellence industrielle développée avec succès, depuis 1994, sur le site de Desvres.

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. (Kunio. Sh [46]).

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).

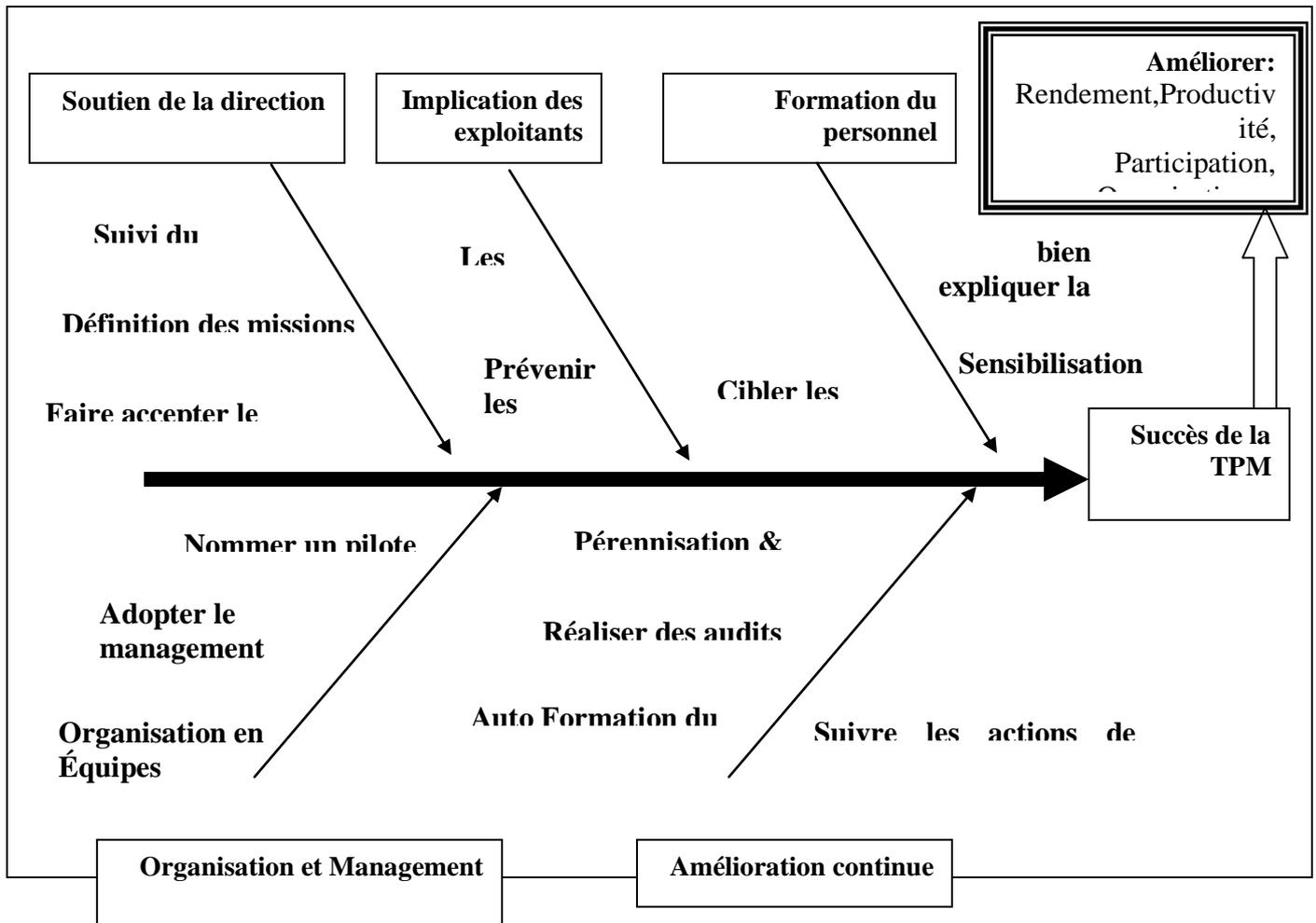


Figure II. 4: les cinq principaux facteurs de succès de la démarche TPM [45]

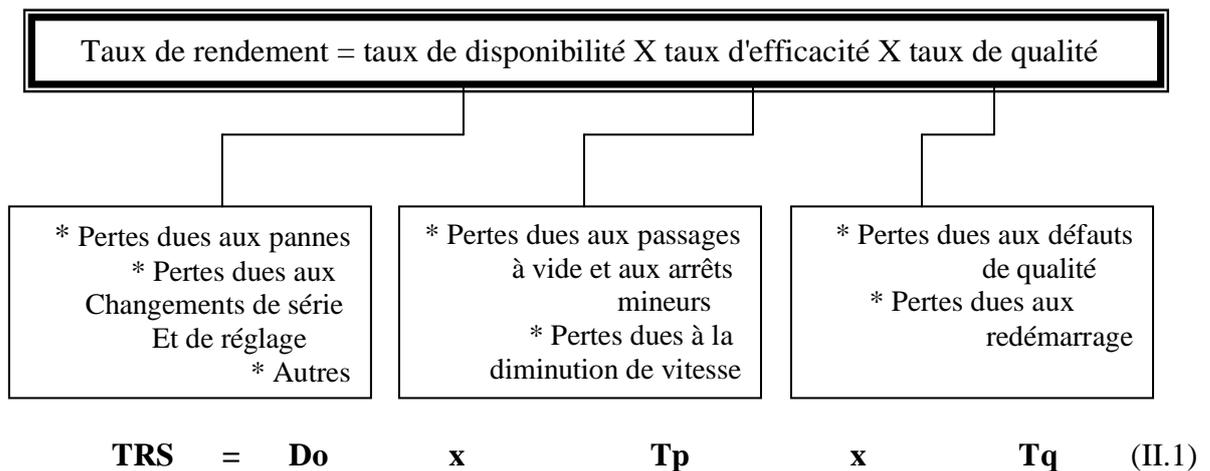
L'exploitation du TRS dans une démarche TPM constitue un moyen majeur d'amélioration de la performance industrielle. (A. Tahan [47]).

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

### 3.4. 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 œuvre d'un outil de pilotage de la production.

Il se définit par le produit : ([47]- C. Barbier [48]).



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.

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

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

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

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

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

C'est un super "Ratio"

$$\mathbf{TRS} = (TF / TR) \times (TN / TF) \times (TU / TN) = \frac{TU}{TR} \quad (\text{II.5})$$

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.

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

$$= NPB \times \frac{Tcr}{Tr} \quad (\text{II.7})$$

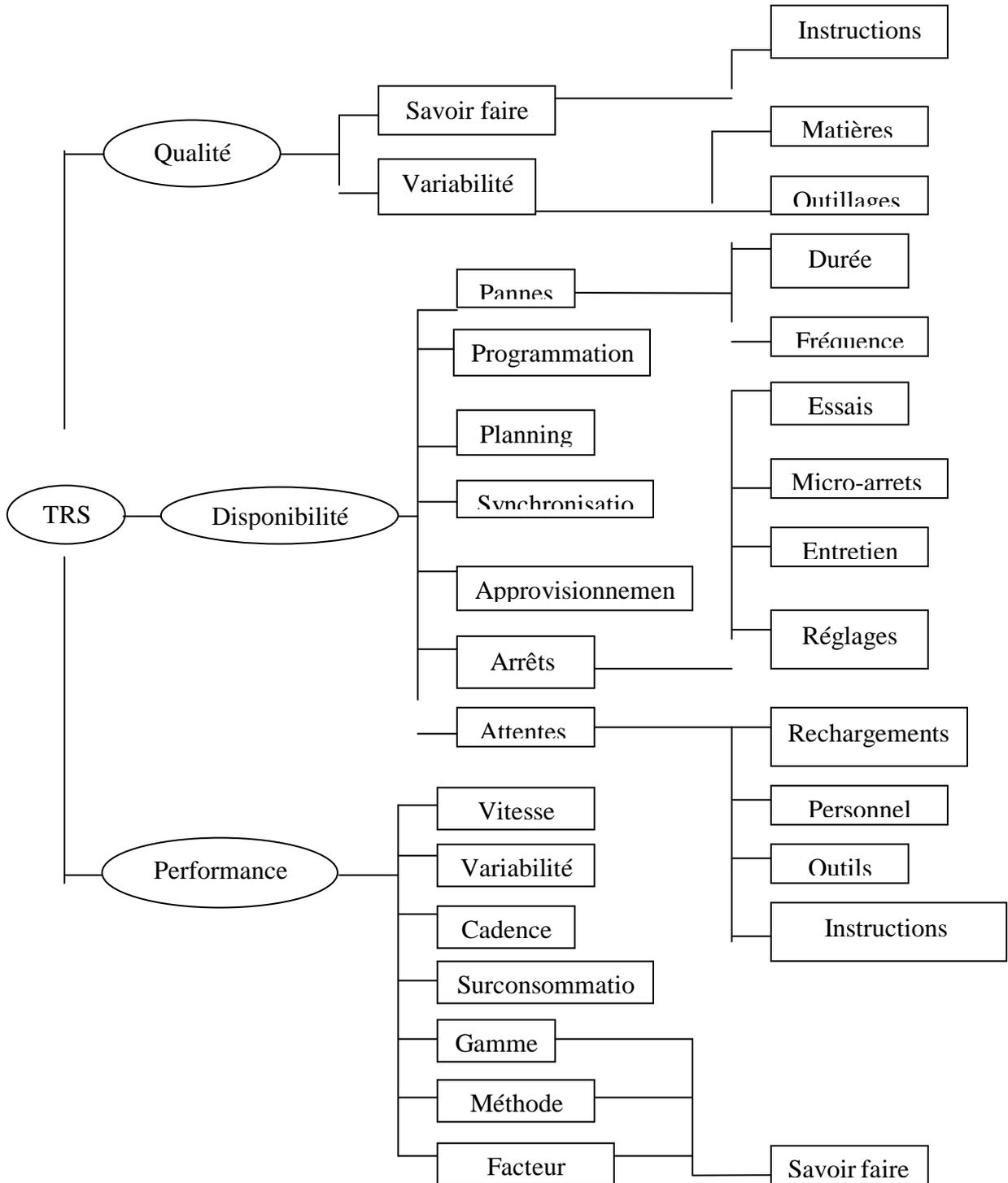
Avec Tcr : Temps de cycle de référence  
Tr : Temps requis

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.



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

### 3.5. Les approches de calcul de TRS

En se basant sur des recherches bibliographiques, il nous paraît légitime que le TRS est le meilleur indicateur pour cibler les actions prioritaires permettant de faire face aux points faibles de la productivité. (Pimor .Y [49]).

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 : (Pierrein Eric [50]).

- accroissement de la productivité (davantage de produits fabriqués en moins de temps)
- amélioration de la qualité (moins de dérèglages)
- 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

Temps Utile

$$\text{TRS} = \frac{\text{Temps Utile}}{\text{Temps Requis}} \quad (\text{II.8})$$

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.

Toutes les approches insistent que :

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.4. Conclusion**

Cette revue bibliographique montre bien la pertinence des problèmes d'optimisation et de gestion de la maintenance par les différentes méthodes, parmi 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 ,la ou l'AMDEC nous permet d'améliorer la fiabilité des équipements , voire réduire les coûts indirects de la maintenance.

La Maintenance Basée sur la Fiabilité (MBF) est une méthode qui a pour but non seulement de déterminer les causes d'origine mais aussi de chercher les solutions et engager les actions correctives appropriées pour les éliminer et enfin généraliser et standardiser les résultats a toutes les composantes similaires de processus. Ceci a pour seul souci, optimiser les coûts de maintenance.

La Maintenance Productive Total (TPM), C'est une approche d'amélioration de la productivité globale de l'appareil de production par une meilleure implication de tous les personnels de l'entreprise dans la fonction maintenance. Elle est donc indépendante de la taille de l'entreprise. Seul compte le déroulement de sa mise en œuvre et son management de mise en œuvre et de support. Le principal indicateur de la TPM est le TRS (taux de rendement synthétique) qui intègre plusieurs facteurs indiquant le fonctionnement global d'un équipement. Cet indicateur est très utile car il permet de déterminer l'efficacité d'un moyen de production.

Échaudée par les échecs dus à des décisions précipitées dans le passé, on a désiré implanter un système de gestion de la maintenance, et pour qu'il soit efficace il ne peut se faire sans une collecte et une analyse des données de défaillance, de modes de défaillances et des activités

de maintenance (Moub [26]). D'ou l'intérêt de disposer d'une normalisation de collecte, d'échange d'information de maintenance.

La spécification des données collectées permettra d'effectuer les analyses suivantes:

- Sécurité, fiabilité, disponibilité et maintenabilité des systèmes.
- Planification, optimisation et réalisation des tâches de maintenance.
- Lors de la conception d'équipements industriels nouveaux ou pour remplacer des équipements existants et les configurer.
- Analyse du coût de cycle de vie.

L'entreprise a exigé un plan d'action indiquant la démarche à suivre et les outils à utiliser pour que le personnel de maintenance soit apte à participer activement au processus de mise en place du système. C'est ainsi qu'à chaque étape du processus, un ou plusieurs outils d'aide à la décision sont proposés.

Les démarches préconisée repose sur les concepts de la Maintenance Productive Totale (TPM) et sur l'approche de la Maintenance Basée sur la Fiabilité (RCM). Elle exploite les outils de modélisation et d'analyse probabiliste des systèmes et se veut très simple à mettre en oeuvre.

## Chapitre III

# **APPLICATIONS DES METHODES DE MAINTENANCE**

La mise en application industrielle des trois méthodes a été faite dans une entreprise nationale qui est le complexe moteurs-tracteurs de Constantine, **certifiée ISO 9001 Version 2000** et possédant des équipements anciens ainsi que des installations modernes. réparties dans des ateliers dont le bâtiment N°5 d'usinage au totale de 435 machines industrielles se regroupant en Tours – fraiseuses - perceuses – tailleuses – rectifieuse et centre d'usinage.

Ces méthodes cherchent à améliorer la qualité du produit tout en augmentant le rendement de la démarche.

La collecte des données est basée sur les fichiers historiques des trois dernières années 2005/2006/2007.

L'exploitation de ces fichiers est devenue aujourd'hui une technique d'analyse rigoureuse consistant à exploiter le retour d'expérience, elle nous permet de connaître, évaluer, prévoir, mesurer, maîtriser les défaillances, ce sont des fichiers de suivi de l'état de la machine qui contient les types de défaillance et leurs chronologie ainsi que les opérations de maintenance enregistrées sous forme des coûts de maintenance, des durées de panes ,nature de défaillance, pièces de rechanges remplacées.

### **III.1. Présentation de l'entreprise d'accueil**

#### COMPLEXE MOTEURS TRACTEURS –CONSTANTINE

##### **A .Historique**

L'entreprise CMT est une EPE/SPA faisant partie du portefeuille de la SGP/EQUIPAG. Elle a été crée en 1997 suite à la restructuration de l'ENPMA.

Le Complexe a été réalisé en 1972 par le constructeur Allemand DIAG selon la forme contractuelle « produit en main », pour la fabrication de tracteurs agricoles et moteurs Diesel pour différents usagers.

##### **B .Identité de l'entreprise**

**Raison sociale** : EPE/CMT- Complexe Moteurs Tracteurs  
**Statut juridique** : EPE/SPA  
**Date de création** : 08 Juin 1997.  
**Adresse** : CMT – Oued Hamimime El –Khroub BP 396 Constantine  
ALGERIE  
**Adresse Email** : [commerciale@cmt.dz](mailto:commerciale@cmt.dz) - [marketing@cmt.dz](mailto:marketing@cmt.dz).

**Site Web** : [www.cmt.dz](http://www.cmt.dz)

**Capital social** : Le capital social est de 5 300 000 000 DA

**Activité principale** : Fabrication de Tracteurs agricoles de 68 à 100 CV avec 02 et 04 Roues motrices sous licence du constructeur Allemand DEUTZ.

Fabrication de moteurs Diesel à refroidissement par air de 60 à 110 CV destinés à l'agriculture et à différentes entreprises de mécanique Algérienne.

**Effectif actuel** : 1136

### **C. Organisation**

CMT est une entreprise intégrant toutes les activités de production et de soutien sur un seul site de 60HA.

La production s'articule autour de quatre (04) centres de profit industriels.

- Atelier fonderie
- Atelier usinage
- Atelier tôlerie et forge
- Atelier montage tracteur et moteur

## **1.2. Centre de profit usinage**

Le CP usinage de CMT produit des pièces mécanique destinées au moteur et tracteur, ainsi que des prestation de service pour d'autres clients, il se compose de quatre ateliers pour différents technologies de fabrication (tournage, fraisage, traitement thermique, taillage engrenage, rectification dentures et la rectification intérieur et extérieur, perçage) d'une surface de 17500 m<sup>2</sup>

- Atelier moteur
- Atelier tournage
- Atelier traitement thermique
- Atelier usinage mixte

Et deux salles de mesure une pour les instruments de contrôle et l'autre pour le contrôle des engrenages

Le CP usinage comporte 435 machines dont :

- ✓ 11 Tours a commande numérique (CNC)
- ✓ 01 Centre d'usinage
- ✓ 95 Machines pour les Moteur
- ✓ 336 Machines pour le Tracteur

1. La capacité théorique de production est de 3000 tracteurs

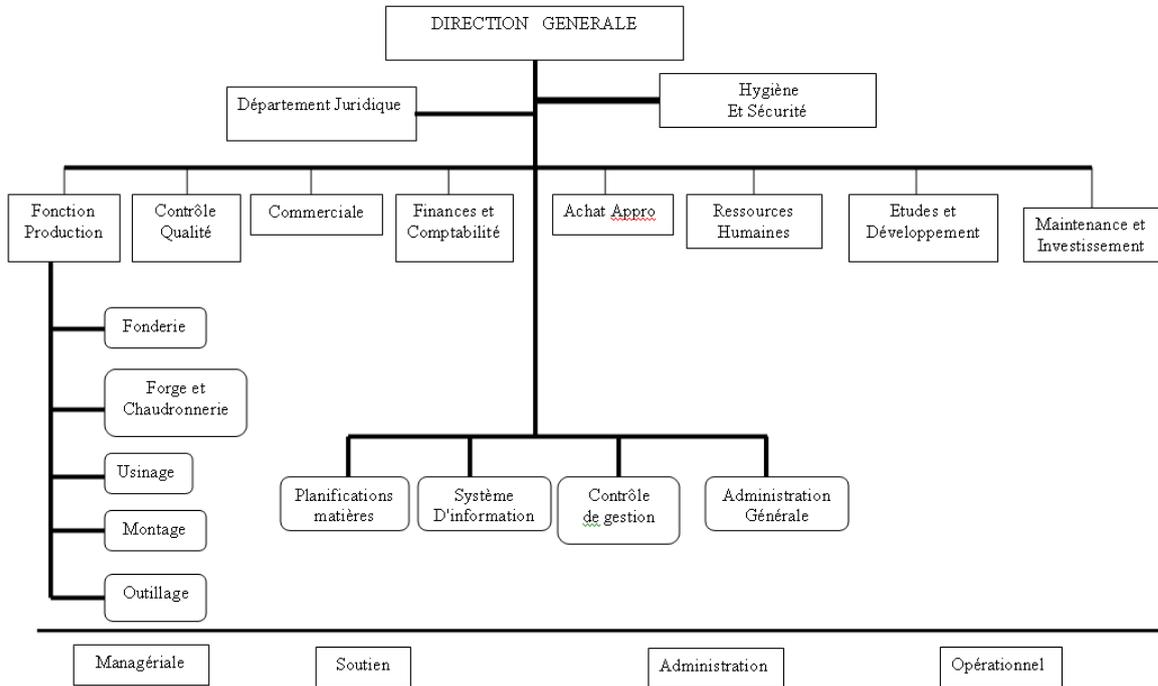


Figure III.1 : Organigramme Fonctionnel CMT

## 1.4. Service Techniques

On distingue plusieurs services qui constituent le complexe:

### A. bureau d'étude

Il assure dans la limite de ses capacités toute conception ou choix d'un projet ou d'un système, comme il peut procéder à des études pour l'amélioration d'un produit existant.

### B. bureau de méthode

La fonction méthode est responsable de la préparation du travail c.à.d qu'elle est chargée de prévoir les conditions optimales de réalisation d'un produit ou d'un service et par conséquent de définir les moyens nécessaires.

### C. fonction ordonnancement

Gère le temps et le rythme de la vie d'une usine, elle est responsable des délais de fabrication, prévoit et affecte les moyens nécessaires au respect du planning, assure en temps opportun les approvisionnements de la production.

**D. Contrôle** : le contrôle de la production dont le but est d'assurer la stabilité de la qualité à un niveau fixé par la politique de l'entreprise.

### E. Service entretien

Cet important service possède des moyens d'intervention, il est chargé de la réparation, du dépannage, de la rénovation des équipements de production.

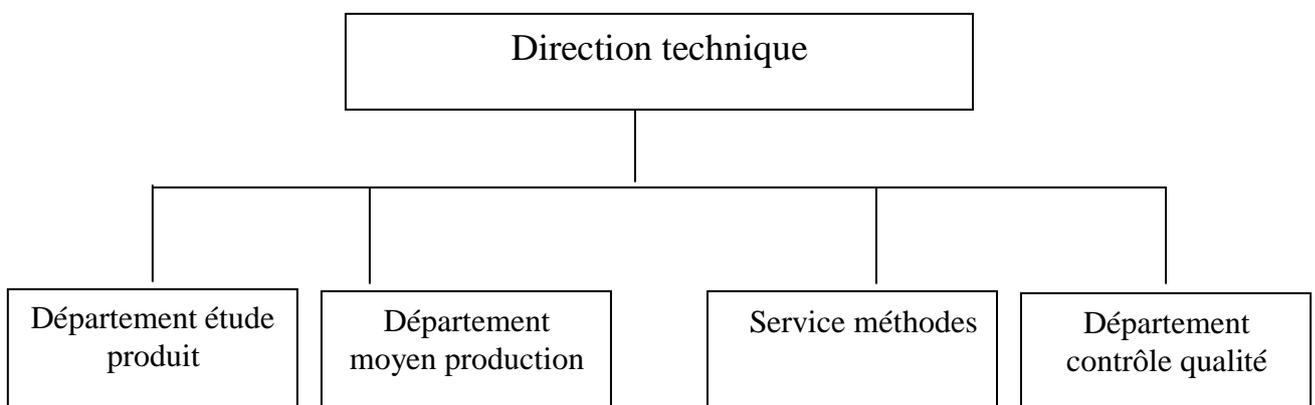


Figure III. 2 : Organigramme des services Techniques

### 1.5. Les fonctions du département maintenance

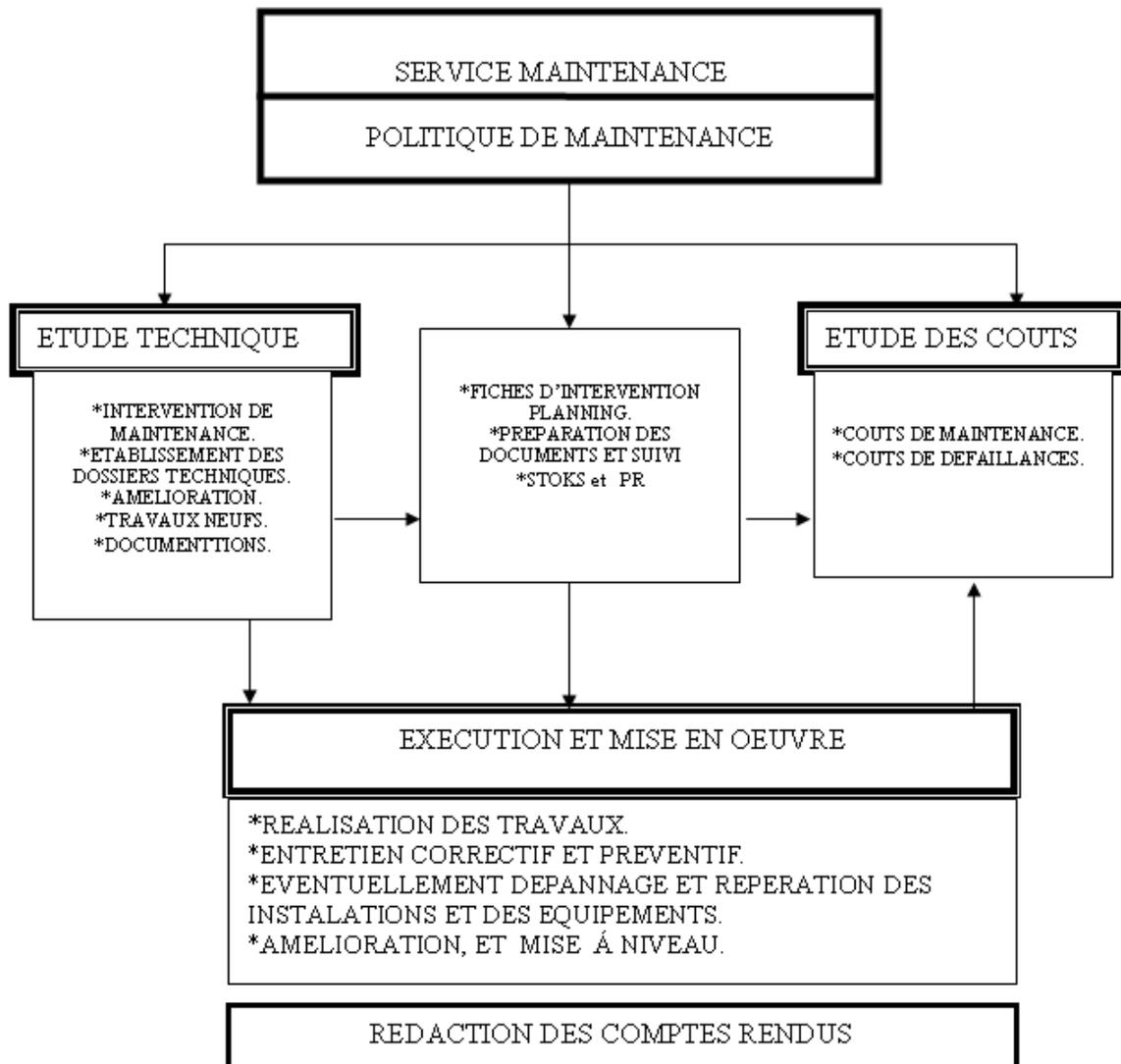


Figure III.3 : Les fonctions du département maintenance

### III.2. Calcul de Fiabilité

Les responsables industrielles doivent donc posséder une vision globale, à long terme de leur processus de production. Ceci se traduit par la nécessité de restructurer l'information, sur le

fonctionnement des équipements, de prédire son évolution et de mettre en œuvre des processus de décision précoces qui garantiront, le moment venu, la performance de l'entreprise.

En ce sens, une méthode de calcul technico-économique, qui expriment le comportement d'un équipement dans le temps, afin de lui appropriés un genre de maintenance

Les indicateurs de performance constituent des représentations privilégiées pour la prise de décision par anticipation, L'étude de leur évolution permet à la fois de connaître l'état actuel de l'équipement, mais aussi de prédire, dans une certaine mesure, les situations futur.

A partir de ces indicateurs (Marqueurs de fiabilité) on peut juger l'état de l'équipement est ce qu'elle est rentable dans un processus de fabrication ou non et cela par un suivi que se soit mensuel ou annuel qui sera enregistrer dans des fichiers d'historiques qui s'appelle un dossier technique de la machine, et qui après une période permet au décideur maintenanciers / producteurs qui jugent son efficacité.

Pour y parvenir, nous utilisons une méthodologie d'évaluation en deux étapes:

Technique et Economique

## 2.1. Base de calcul Technico-économique

### 2.1.1. Base de calcul Technique

$$* \text{ Taux de disponibilité opérationnelle} = \frac{\text{Potentiel} - \text{Temps d'arrêt}}{\text{Potentiel}} \times 100 \quad (\text{III.1})$$

$$\bullet \text{ Indisponibilité} = \text{Temps de mise en service (h)} + \text{Temps réglage (h)} + \text{Temps contrôle (h)} \\ + \text{Temps Rebut (h)} + \text{Temps arrêt Maintenance (h)} \quad (\text{III.2})$$

$$* \text{ RENDEMENT} = \frac{\text{Production réelle}}{\text{Production prévue}} \times 100 \quad (\text{III.3})$$

$$* \text{ M T B F} = \frac{\text{Potentiel}}{\text{Nombre de pannes}} \quad (\text{III.4})$$

$$* \lambda \text{ (Taux de défaillance)} = 1 / M T B F \text{ (Exprimé par un nombre de défaillance)} \quad (\text{III.5})$$

### 2.1.2. Base de calcul Economique

\* Taux moyen de rentabilité d'un Investissement

C'est un Ratio financier analytique qui mesure la rentabilité d'un investissement.

Dans notre cas on se limite aux déperditions de production annuelles, le taux de rentabilité par rapport au coût d'Investissement est :

$$\text{Taux Rent.} = \frac{\text{Total de surcoût + prix de cession}}{\text{Coût investissement}} \times 100 \quad (\text{III.6})$$

$$* \text{Théoriquement taux Rent.} = \frac{\text{Gain}}{\text{Capital d'investissement}} \times 100 \quad (\text{III.7})$$

\* Retour d'Investissement : C'est le délai de remboursement d'un capital d'Investissement

$$\text{R.Invest.} = \frac{1}{\text{Taux Rent}} \quad (\text{III.8})$$

### 2.2. Valeurs référentielles

La D M I s'est fixé un objectif de mettre les équipements de production à hauteur de 92% en état de marche donc, un taux d'arrêt toléré jusqu'à 8% ce qui donnera les valeurs référentielles suivantes :

Année de référence 2007

Le taux d'arrêts acceptable est de 8%  
 Temps d'arrêt référentiel = Potentiel × 8% = 3304 × 0.8 = 264.32h

**Temps d'arrêt référentiel = 264.32h**

Temps de bon fonctionnement référentiel = Potentiel – Temps d'arrêt référentiel  
 Temps de bon fonctionnement référentiel = 3039,68 h

#### 2.2.1. Approche probabilitaire:

**Tableau récapitulatif Voir annexe. (Tableau A.1, A.2, A.3 et A.4).**

Si on estime à ce temps de bon fonctionnement une fréquence de pannes de trois (03) fois par an (3Pannes /an).

$$\begin{aligned} \text{Temps d'Arrêt} &= \sum \text{MDT} = T_m + T_{(m+1)} + T_{(m+2)} \\ &= 88,10 + 88,10 + 88,10 = 264,2 \text{ heures} \end{aligned} \quad (\text{III.9})$$

$$\begin{aligned} \text{Temps de bon fonctionnement} &= \sum \text{MUT} = T_n + T_{(n+1)} + T_{(n+2)} \\ &= 1013,22 + 1013,22 + 1013,22 = 3039,68 \text{ heures} \end{aligned} \quad (\text{III.10})$$

### 2.3. Etude de cas d'un : Tour mono broche

TOUR PITTLER(\*)  
 N° INV. 1610  
 TYPE : PIMAT 80/315  
 N° FAB. : 4364-3  
 ANNEE DE FAB : 1971

#### 2.3.1. Calcul du MTBF

$$\text{MTBF} = \text{MDT} + \text{MUT} = 88,10 + 1013,22 = 1101,33 \text{ heures} \quad (\text{III.11})$$

$$\text{MTBF} = \frac{\text{Potentiel}}{\text{Nbre pannes}} = \frac{3304}{3} = 1101,33 \text{ heures} \quad (\text{III.12})$$

<b>MTBF = 1101,33 heures</b> <b>Référentiel</b>
--

#### 2.3.2. Calcul de $\lambda$

$$\text{Le taux de défaillance référentiel } \lambda \text{ (objectif DMI)} = \frac{1}{\text{MTBF}} \quad (\text{III.13})$$

$$\lambda_{\text{Référentiel}} = \frac{1}{1101,33} = 9,08 \times 10^{-4} \quad (\text{III.14})$$

$\lambda_{\text{Référentiel}} = 9,08 \times 10^{-4}$
--

#### 2.3.3. Analyse de fiabilité :

##### A. Calcul des Taux de défaillances :

$$\bar{\lambda}_{94-98} = \frac{1}{\text{Tranche de vie}} = 35 \times 10^{-4} \text{ (Tranche de vie 1994-1998)} \quad (\text{III.15})$$

285,09

$$\bar{\lambda}_{99-2003} = \frac{1}{241,23} = 41 \times 10^{-4} \text{ (tranche de vie 1999-2003)} \quad (\text{III.16})$$

$$\bar{\lambda}_{2004-2007} = \frac{1}{112,82} = 88 \times 10^{-4} \text{ (tranche de vie 2004-2007)} \quad (\text{III.17})$$

### B. Courbe de fiabilité

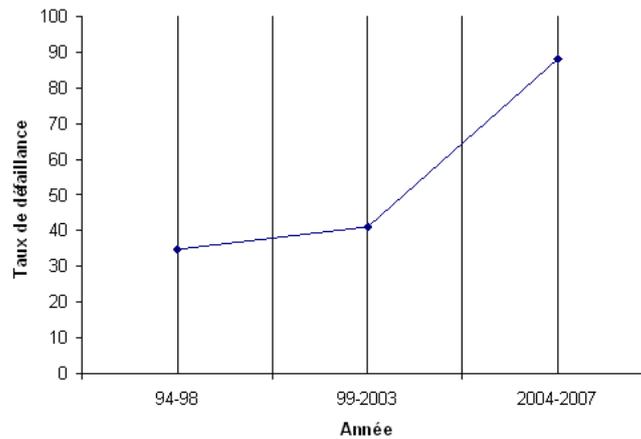


Figure III. 4: évolution de la fiabilité

### C. Courbe d'indisponibilité

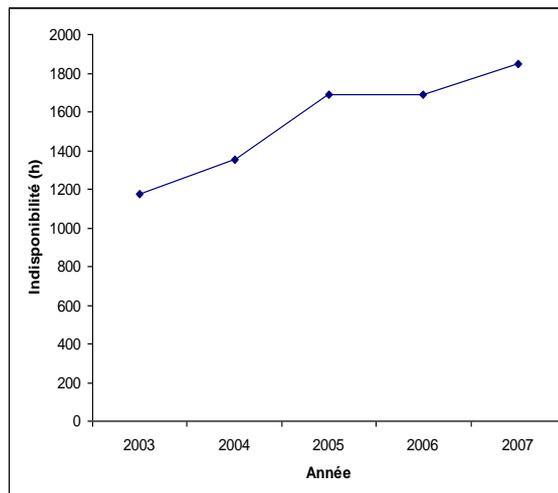


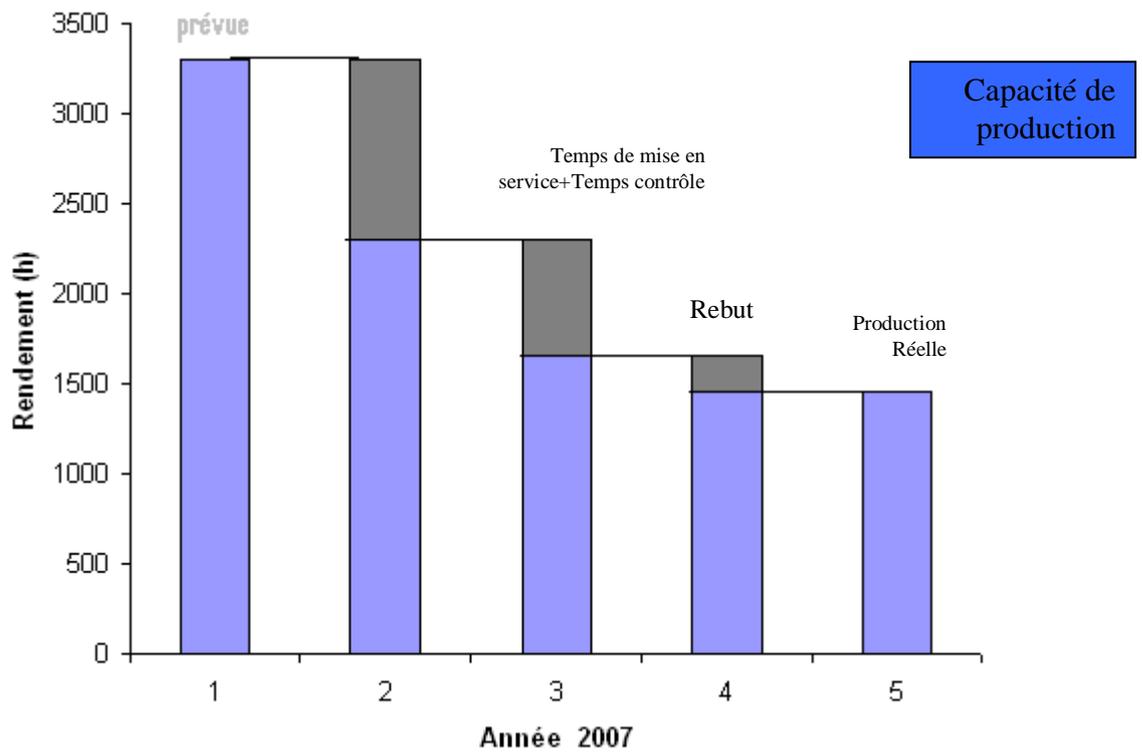
Figure III. 5 : évolution de l'indisponibilité au cours des 5 années

#### 2.3.4. Diagramme de rendement Année 2007 (figure III.6)

Production  
prévue

Arrêt machine

Pertes



### 2.3.5. Courbe des surcoûts

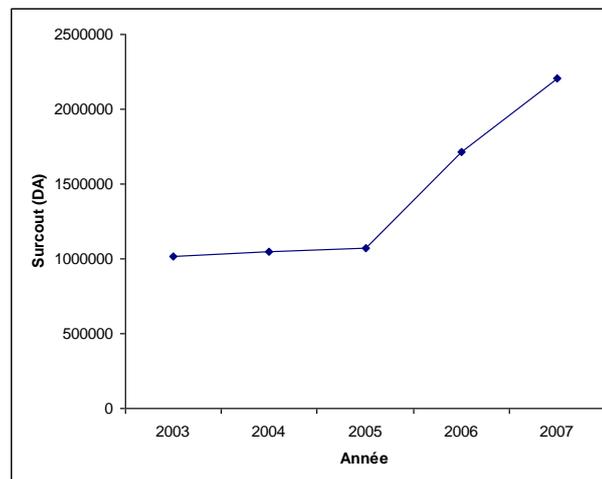


Figure III.7: évolution des surcoûts au cours des 5 années

Et pour mener à bien un programme de maintenance, il est consistant de l'optimiser afin d'aller directement à l'essentiel. Et comme l'outil de production comporte plusieurs processus

et activités, on ne peut pas leur réserver toute la même attention. Il convient donc d'identifier ceux qui sont critiques sur lesquels il faut agir en priorité.

Son objectif est de montrer l'importance de la méthode proposée, dans le terrain et de la concrétiser réellement dans l'industrie.

### **III. 3. Optimisation de la maintenance par L'AMDEC**

L'application de notre approche est faite sur les machines de la chaîne d'usinage de boîte de vitesses et a pour but de:

- choisir le type de maintenance approprié pour le groupe machine ou la machine critique.
- Réserver les stocks des pièces de rechanges pour éviter les pertes du temps de la production pour toute la chaîne.
- Définir les priorités sur les améliorations à apporter.

Elle se présente sous cette forme :

#### **3.1. Localisation des machines critiques**

##### **A. Description de la chaîne d'usinage de boîte de vitesses**

Les opérations faites sur les machines (Voir annexe Tableaux A.5) de cette chaîne, CFI: 337, sont:

Le Fraisage- L'Alésage et le Perçage.

##### **B. Procédés d'usinage**

##### **L'entrée de la chaîne :**

- 1/ Centre d'usinage qui contient plusieurs stations, fraisage+alésage+perçage+ Taraudage pour la mise en longueur de la pièce
- 2/ Fraiseuse "TOS" pour la phase A de la pièce.
- 3/ Fraiseuse "TOS" pour la phase B.
- 4/ Perceuse multibroche pour l'opération de perçage.
- 5/ Aléseuse pour l'ébauche.
- 6/ Aléseuse pour la finition.

##### **C. Classification des équipements**

A partir des données qui ont été collectées, en se basant sur celles des trois années 2005/2006/2007.

On totalise les heures et les nombres de pannes pour chaque machine  
(Voir annexe Tableaux A.6).

Après avoir définir les éléments et choisir les critères de classement et pour construire la courbe A-B-C on doit:

- Classer le critère choisi par ordre décroissant
- Calculer le cumule
- Calculer les pourcentages cumulés des éléments et des critères
- Etablir la courbe A-B-C

On déduit le tableau d'analyse des pannes comme suit:

N° de MACHINE	Classement Coût (en h)	Cumul des coûts (en h)	% des coûts cumulés	Nombre de pannes	Cumul du nombre de pannes	% de pannes cumulées
2	1040	1040	71,23 %	17	17	23,94 %
6	110	1150	78,76 %	12	29	40,84 %
3	100	1250	85,61 %	10	39	54,92 %
4	90	1340	91,78 %	16	55	77,46 %
1	75	1415	96,91 %	9	64	90,14 %
5	45	1460	100 %	7	71	100 %

Tableau III. 3 : Analyse ABC des pannes

En analysant le tableau, on peut facilement observer que 80% des coûts proviennent des pannes de la machine 02. Le diagramme de Pareto obtenu montre ce phénomène.

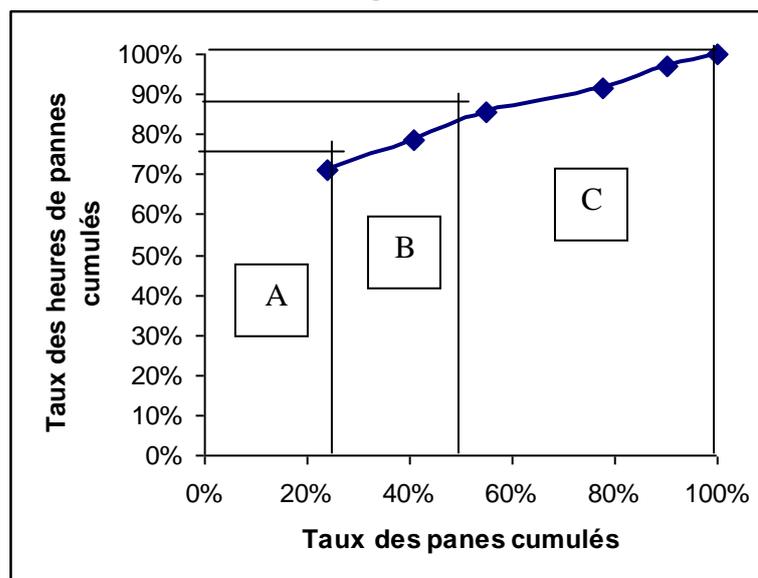


Figure III.8 : Courbe ABC des machines de la chaîne d'usinage de Boite de vitesses

#### D. Type de maintenance approprié pour chaque groupe de machine

**Zone A** représente 25 % de temps d'indisponibilité machines : Il faut agir en priorité

[Maintenance préventive accentuée, réhabilitation, rénovation etc..].

**Zone B** représente 25% de temps d'indisponibilité machines : Maintenance préventive normale.

**Zone C** représente 50 % de temps d'indisponibilité machines : Maintenance corrective normale.

La zone A comporte la machine №2, c'est la Fraiseuse "TOS", c'est une machine Automatique qui comporte 2 têtes.

### **3.2 L'analyse structurelle et fonctionnelle de la machine:**

Le dispositif porte pièce de La Fraiseuse "TOS" est fixé sur une table qui est placé sur le bâti de la machine ,au milieu de la table se trouve les deux stations de fraisage qui sont montés sur un ensemble sous la forme U fixé au sol.

Le mouvement de chaque station est assuré par deux moteurs, un pour le déplacement et le deuxième pour la rotation de la broche, un troisième pour le mouvement de translation de la table.

Une fois la pièce placé sur la dispositif son serrage s'effectue par un système hydraulique, la table se déplace afin de positionner la pièce entre les deux stations de fraisage qui se déplacent verticalement sur les glissières grâce a un système vis sans fin afin de fraiser les deux parties de la pièce, la broche"porte fraise" est mise a la cote grâce a un système hydraulique, l'avance et la rotation de la fraise s'effectuent par l'intermédiaire d'une boîte des avances qui est entraîné par un moteur électrique.

Les étapes de l'analyse des modes de défaillance, leurs effets et leurs criticités (AMDEC). Pour chacun des biens jugés prioritaires, une AMDEC doit être élaborée ainsi qu'un organigramme de dépannage.

### 3.3. L'analyse de la Fraiseuse "TOS" par l' AMDEC

Modèle de table n 1: Le modèle concerne le système Fraiseuse [TOS] à deux stations (1 et2) donnée sous la forme suivante:

(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)
					La station ne fonctionne pas.	Arrêt de la fraiseuse à deux stations	Contrôler	
			Surcharge				le niveau d'huile suivant les conditions	
(1)	Station 1et 2			C	Arrêt total du Système. Réduction des vitesses.	1- Circuit hydraulique:Manque d'huile Pompe en panne 2- Circuit électrique: Court circuit Pas d'alimentation 3- Circuit de commande: mauvais contact	données par le concepteur  contrôle visuel des différents éléments du système	2
(2)	Boite des avances		Corrosion	C	Défaillance des ressorts Détérioration des foreux Détérioration des outils se [TOS]	Pression insuffisante Absence de graissage		2

**Tableau III.4: analyse AMDEC de la Fraiseuse**

### **3.4. Diagramme Causes-Effet**

Dès lors que les défaillances critiques ont été identifiées, il s'agit d'en déterminer les causes. Pour cela le diagramme causes-effet (Ishikawa) est d'une grande utilité. (Figure III.9) Il consiste à chercher les causes dans les 5 M :

- Main-d'oeuvre : tout le personnel de toute activité.
- Matière : matière de production, rechanges....
- Méthodes : procédures, documents, décisions, organisation...
- Moyens : machine, outillages...
- Milieu : locaux, environnement...

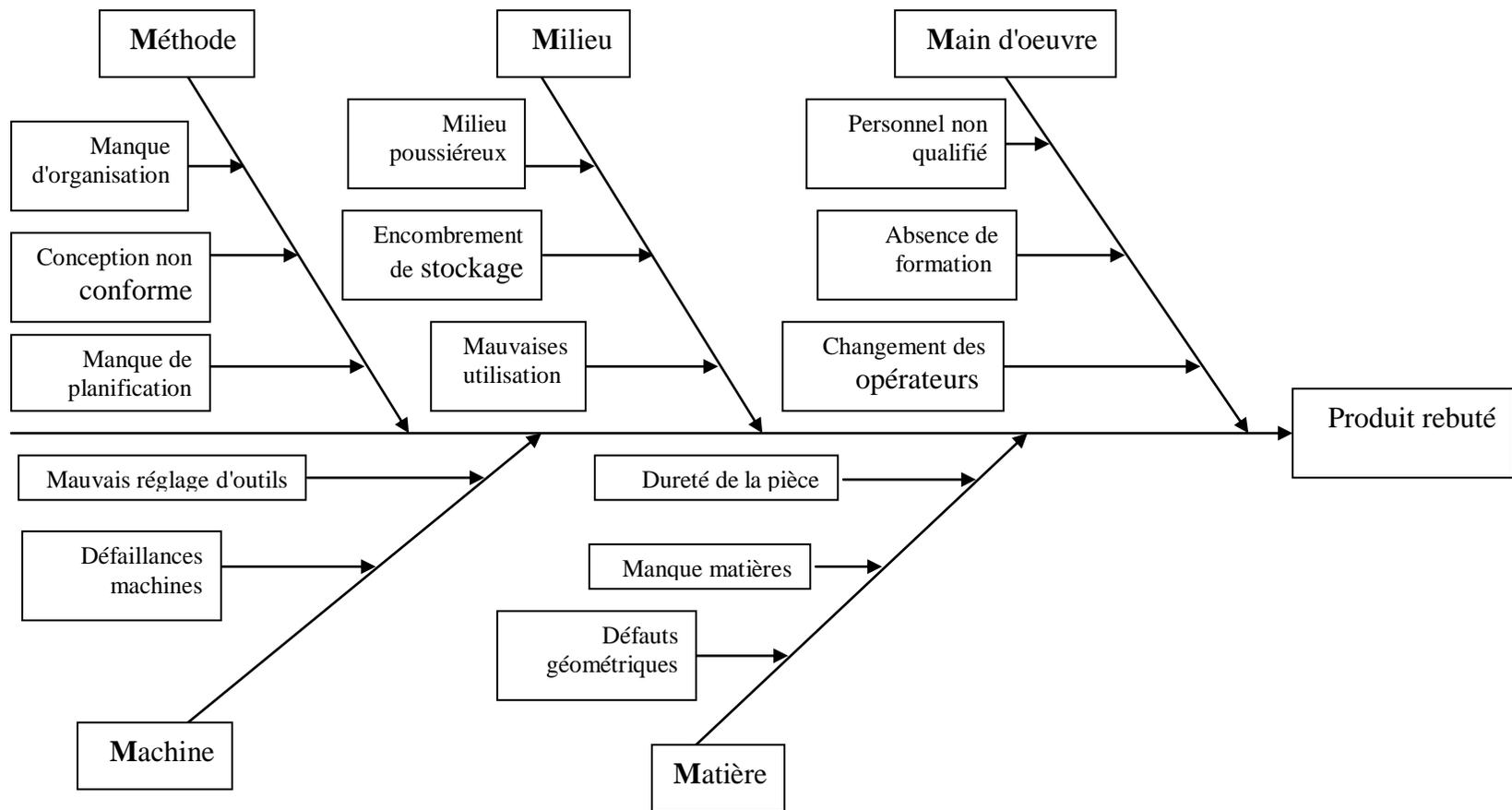


Figure III.9. Diagramme causes-effet



### **3.5. Organigramme de dépannage**

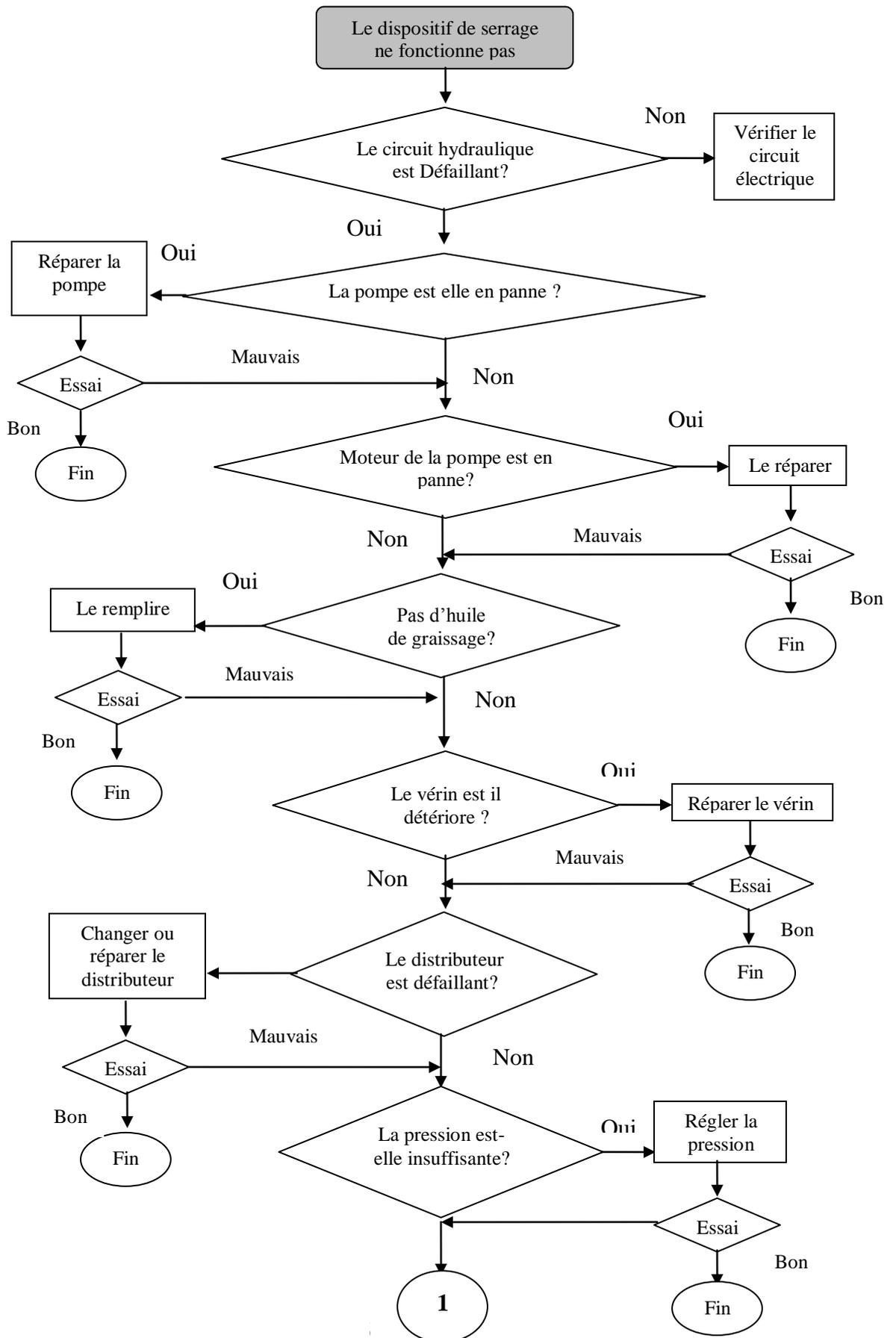
Durant les travaux de dépannage, le paramètre déterminant est le facteur temps, pour être efficace, l'action de Maintenance, devra être précise et rapide.

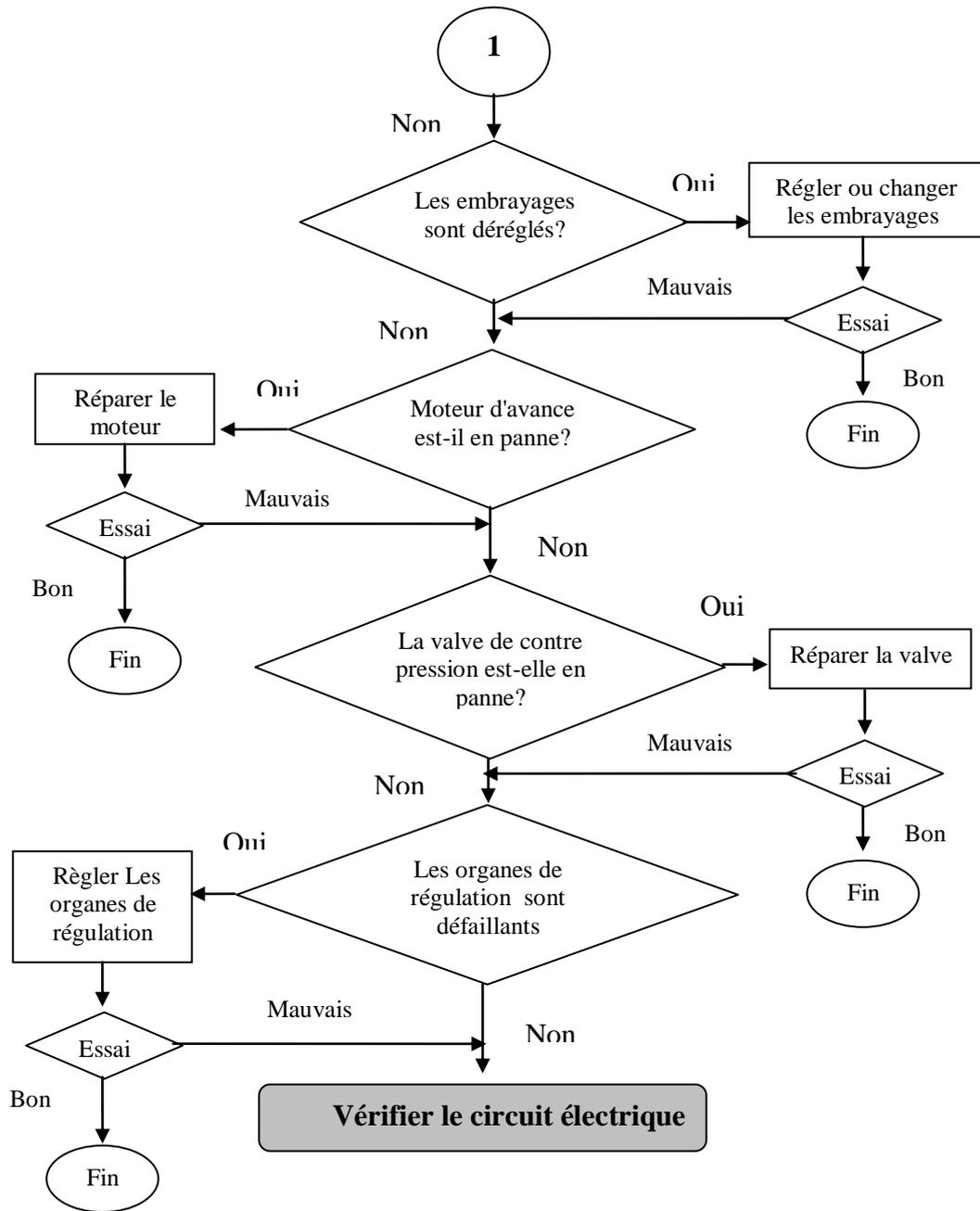
La documentation du dépanneur sera limitée aux deux éléments suivants :

Le dossier machine qui comprend en plus du dossier technique, la fiche historique de l'équipement en question.

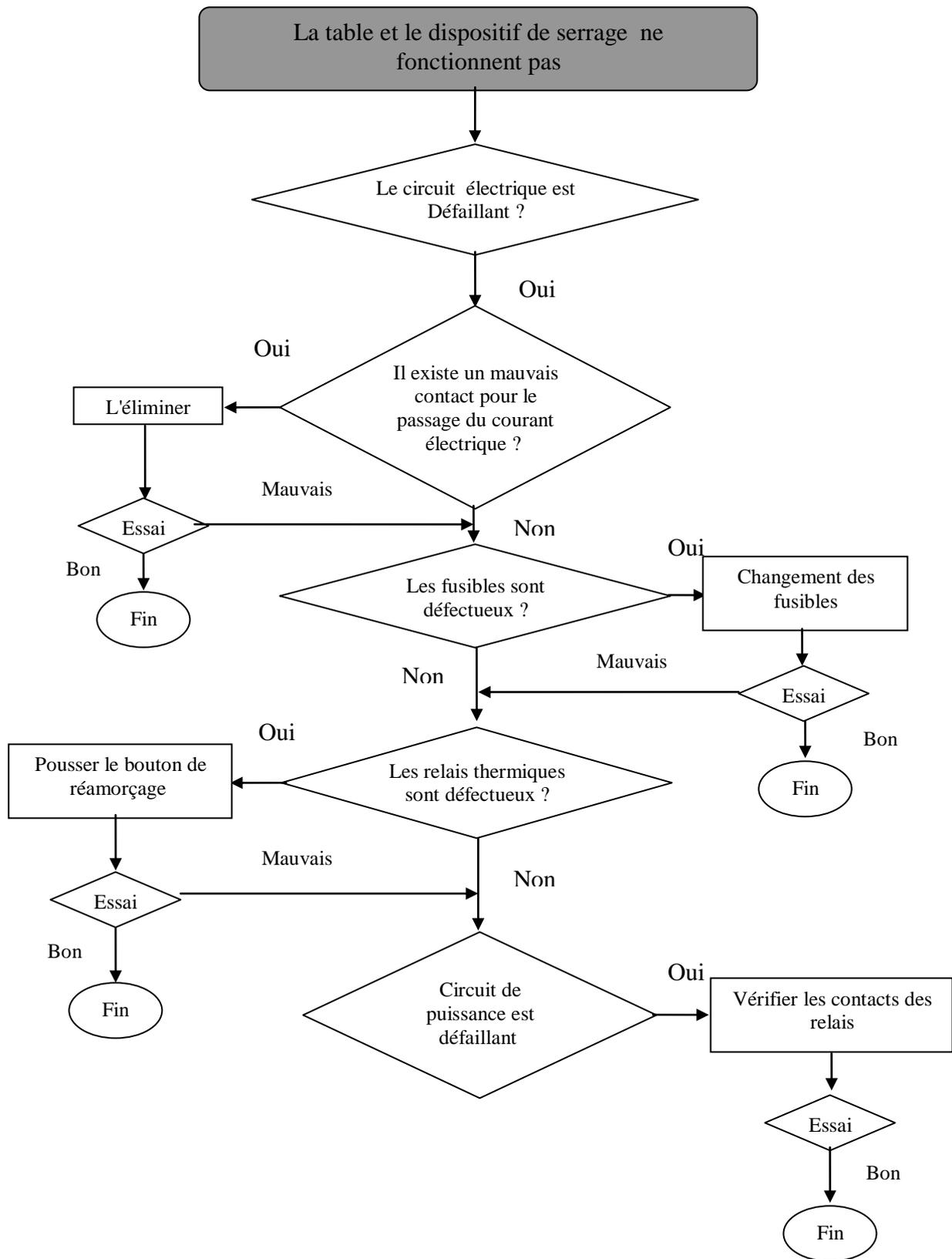
Le tableau de diagnostique qui est présenté sous forme une A.M.D.E.C, suivie d'un organigramme de dépannage.

### A. Organigramme de dépannage du dispositif de serrage :





**B. Organigramme de dépannage pour le déplacement de la table avec le dispositif de serrage:**



### **3.6. Indicateurs de la maintenance**

Pour analyser l'état de fonctionnement enregistrés sur la machine on a fait un suivie des temps (en heures) de maintenance au courant d'une période de six mois allongeant du 01 février jusqu'au 31 juillet et a partir de la, on a calculés les indicateurs MTBF et MTTR, MDT, MUT avec évaluation de la disponibilité de ces machines. (Voir annexe Tableaux A.7).

Le Suivi des coûts de maintenance des machines de la Chaîne d'usinage de Boite de Vitesse en tenant compte des coûts directs : les frais généraux du service (mains d'ouvre, pièces de rechanges et matières consommables), Et des coûts indirects (indispoibilités, iterventions, ralentissements et la non qualité). (Voir annexe Tableaux A.8).

### **3.7. Discussion**

#### **A. Décomposons un arrêt :**

- Ta = moment de l'arrêt,
- Attente (l'opérateur réagit, vient)
- Diagnostic
- Préparation (chercher pièces, outils...)
- Réparation
- Réglages, essais
- Remontée en cadence
- Tf = fin d'arrêt

Ce schéma se répète à chaque arrêt, quel qu'en soit la cause, avec des durées variables.

#### **B. Analyse des données**

Globalement, la machine n'est disponible que pour la création de valeur que 80 % du temps. Le complément (20 %) est perdu en arrêts et interventions. Elle ne peut guère rester sans surveillance, les interventions sont longues : complexité, inaccessibilité, manque d'organisation, manque de compétences.

Le changement de série étant planifié, assimilé à un temps de fonctionnement normal, il n'intervient pas dans les calculs.

Et que 80% du coût du produit est reconnu comme de la responsabilité des participants à la définition du produit. Le domaine habituel de travail sur la réduction des coûts (la production et son organisation) ne concerne que 20% de ce coût; la productivité la qualité, le délai,

attachés à la phase de fabrication du produit deviennent des repères pour toutes les activités du processus d'évaluation de ce produit .

### III.4. Utilisation de la maintenance basée sur la fiabilité (M B F) pour développer et optimiser les politiques de maintenance de l'entreprise

La méthode MBF propose sa propre hiérarchisation des machines, à l'aide d'un classement des machines successivement par rapport à la sécurité, la disponibilité, la qualité et enfin par rapport à leur maintenabilité.([44]).

Cette classification s'oriente donc en priorité vers les machines les plus dangereuses, celles qui pénalisent fortement la disponibilité et enfin celles qui détériorent la qualité des produits.

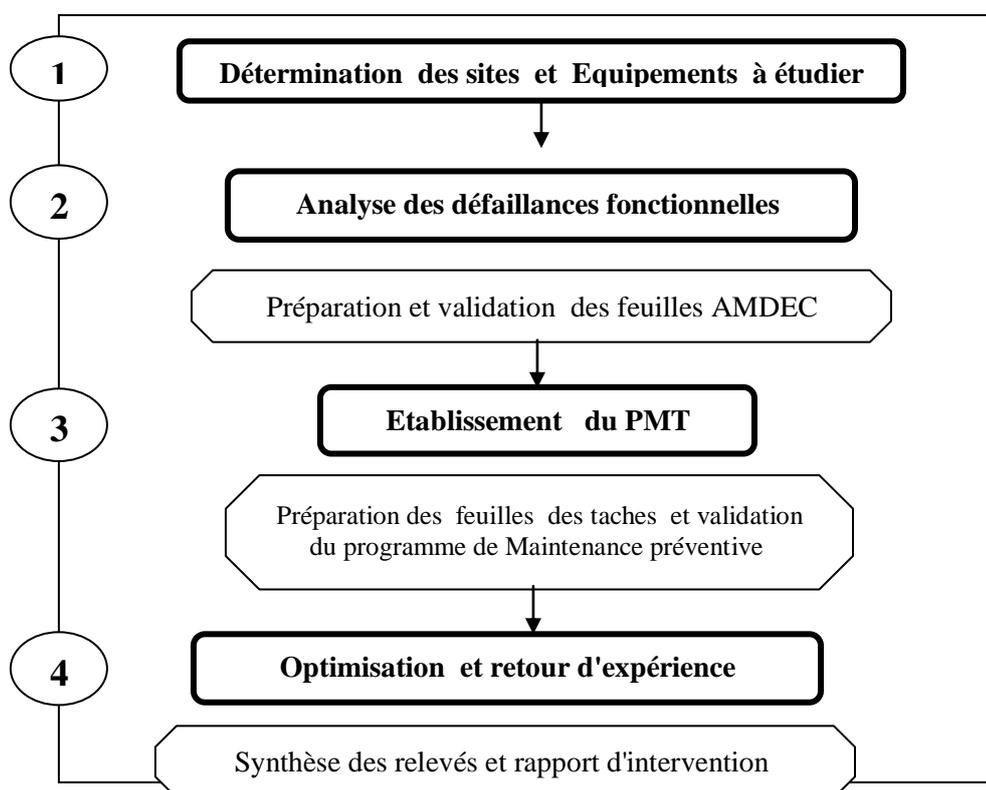


Figure III.10 : Modélisation de la démarche

#### 4.1. Application de la MBF

Chaque étape de la méthode, 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.

Une décomposition du Bâtiment en trois zones (Un Pareto est déjà fait ), la zone A des machines distinguée très critiques, la zone B des machines dite critiques, et la zone C des

machines peu critiques .pour l'application de la MBF, nous nous intéressons qu'au machines de la zone A .

Une fois la classification établie, les biens jugés prioritaires font l'objet d'une analyse approfondie pour mieux cerner les modes de défaillance de chacun d'eux. La troisième section reprend les étapes de l'analyse des modes de défaillance, leurs effets et leurs criticités.

#### 4.2. Détermination des équipements critiques

L'analyse est limitée à l'observation de la criticité qui permet de mesurer les conséquences de chaque équipement sur la sécurité, la disponibilité et la maintenabilité.

La criticité Cr va se déterminer en multipliant entre elles les valeurs de chaque critère.

##### Criticité des équipements

##### SECURITE

Pas de risque	1
Risques d'accident	2

##### DISPONIBILITE

Pas d'incidence	1
Fonctionnement dégradé	2
Arrêt de la machine	3
Arrêt de la production	4

##### MAINTENABILITE

Ne nécessite presque pas de maintenance	1
* Temps (de remise en état) faible * Présence des pièces de rechanges principales	2
* Demande un temps moyen * connaissance sommaire de la machine * Parfois manque d'outillage * Parfois manque pièce rechange	3
* Demande beaucoup de temps * Pas de connaissance de la machine * Pas de pièce de rechange	4

##### Equipements critiques

CFI	Atelier de production	S	D	M	Cr	Equipements
335	Usinage en Chaîne	2	4	4	32	Rectifieuse
334	"	2	4	4	32	C U Culbuteurs
334	"	2	4	4	32	C U Culasses
349	Grand Perçage	2	4	4	32	C U Couvercles
335	Usinage en Chaîne	2	4	4	32	Tour Parallèle
335	Usinage en Chaîne	2	4	3	24	Tour a recopier
331	Chaîne cinématique	2	4	3	24	Perceuse M Horizontal
346	"	2	3	4	24	Perceuse M Verticale
344	Tournage	2	3	4	24	Tour Verticale
338	Taillage	2	3	4	24	Tailleuse des dents
331	Usinage .en Chaîne	2	3	3	18	Aléuseuse
341	Tournage	2	3	3	18	Tour Automatique
340	Tournage	2	3	3	18	Tour semi- Automatique
345	Fraisage	2	3	2	12	Fraiseuse Verticale

345	Fraisage	2	3	2	12	Fraiseuse Horizontale
332	Usinage en Chaîne	2	2	2	8	Perceuse radiale
C U : Centre Usinage.		M : multibroche				

**Tableau III.5: classement des machines critiques par l'analyse MBF**

**Interprétation:**

On distingue du tableau trois grandes parties : la première (en haut du tableau) les machines très critiques, la ou on trouve en plus de la Rectifieuse du CFI 335, les trois centres d'usinage du bâtiment (05) plus le Tour Parallèle du CFI 344.

Et cela due a :

Se sont des machines très spécifiques et compliquées (machine qui usine une seul pièce) et sont unique en leurs genre.

La partie milieu du tableau qui contient les machines dite critique et enfin au bas du tableau les machines peu critiques.

**4.3. Analyses des défaillances des matériels critiques**

L'analyse a commencé par la définition précise des fonctions de la machine et l'identification de tous les modes de défaillances qui s'expriment par la manière dont un équipement vient à ne plus remplir sa fonction.

Puis on effectue une décomposition organique des fonctions pour distinguer les éléments impliqués dans les défaillances fonctionnelles. L'élaboration de la liste des causes est réalisée par une AMDEC simplifiée (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité).

Les modes de défaillances et les causes sont hiérarchisés en utilisant une nouvelle grille de criticité (Criticité = Gravité x Fréquence).

Criticité des défaillances et des causes

<u>GRAVITE</u>		<u>FREQUENCE</u>
Pas d'incidence	1	
Fonctionnement dégradé	2	

Arrêt de la machine	3
Arrêt de la production	4

Jamais arrivée	1
1 fois par 2 mois	2
1 fois par 1 mois	3
Arrive souvent	4

### 4.3.1. L'analyse structurelle et fonctionnelle des machines

#### a- Rectifieuse "ZoCCA"

La machine se compose de deux parties :

Une qui est fixe se constitue d'un bâti sur lequel est placé la table qui a un mouvement de translation (vérin) et deux tête fixé sur cette dernière, sur chaque tête on trouve un mandrin, le premier a le mouvement de rotation a l'aide d'un moteur électrique le deuxième mandrin est libre.

La partie mobile se constitue d'une tête porte meule qui a un mouvement de coupe (d'avance) qui est assuré par un vérin.

Le mouvement de rotation des deux mandrins donc de la pièce est assurée par un moteur électrique par l'intermédiaire d'une boîte a vitesse, quand a la meule son mouvement d'avance est assuré par un vérin.

#### b- Centre d'usinage du Support Culbuteur

Le centre d'usinage du support culbuteur est composé d'un plateau rotatif qui contient tout le dispositif autour de ce plateau on trouve les quatre stations d'usinage plus un manipulateur de pièce.

Le manipulateur de pièce est responsable du chargement et déchargement de la pièce (brute et usinées) sur le dispositif, il fonctionne grâce à un système pneumatique, une fois la pièce chargé sur les dispositifs, le plateau tourne a l'aide d'un moteur hydraulique, afin de permettre l'usinage de la pièce d'une station à une autre.

Les stations ayant deux mouvement le premier qui est un mouvement d'avance est assuré par le système hydraulique et le second qui est un mouvement de coupe est assuré par un moteur électrique.

### c- Tour parallèle "DORRIES"

Cette machine est constituée d'un mandrin et d'une poupée mobile, qui ont tout les deux une pointe pour fixée la pièce en assurant sa rotation .et un chariot mobile qui est constitué d'un vérin et d'une tourelle, cette dernière porte les deux outils (ébauche, finition). Le copiage est assuré par un palper relié au chariot et qui se fait suivant le gabarit.

L'opération effectuée sur cette machine est le dégrossissage des diamètres des paliers ainsi que des manetons.

C'est à l'aide de plusieurs outils (au même nombre que les paliers et les manetons), Qui sont montés en parallèle sur des portes outils, ces derniers qui sont montées a leurs tour sur un maester qui est entraîné par le même axe qui transmet le mouvement de rotation au deux mandrin porte pièce.

L'ensemble maester, porte outil sont monter sur un bâtis, son mouvement d'avance est assurée à l'aide d'un vis sans fin reliée a un moteur électrique.

#### 4.3.2. Analyse des modes de défaillance fonctionnelle

Fonctions de l'équipement		Mode de défaillance	G	F	Cr	Détection
CFI	Rectification	- Mécanique	4	4	16	visuel
		- Electrique	4	3	12	Arrêt
335		-Hydraulique	4	2	8	visuel

Fonctions de l'équipement		Mode de défaillance	G	F	Cr	Détection
CFI	Usinage du Support Culbuteur	- Electrique	4	4	16	Arrêt
		- Mécanique	4	3	12	visuel
334		- Hydraulique	4	2	8	visuel

Fonctions de l'équipement		Mode de défaillance	G	F	Cr	Détection
CFI		- Mécanique	4	4	16	visuel

344	Tournage	- Electrique - Hydraulique	3 2	3 2	9 8	Arrêt visuel
-----	----------	-------------------------------	--------	--------	--------	-----------------

### 4.3.3. Décomposition organique des équipements

#### Rectifieuse:

Sous ensemble	Fonction	Eléments maintenables	Spécialités
-Broche porte meule	- Permet la rotation de la meule	-Roulement de la broche	maintenance
Système de contrôle des diamètres lors de l'usinage	- Mesurer les diamètres lors de l'usinage	- MARPOSS	"
- Système de lubrification	- Lubrifier la pièce lors de l'usinage	- Pompe à ailette	maintenance

#### AMDEC

Eléments	Mode de défaillance	Causes de défaillance	Effets de la défaillance	Criticité		
				G	F	C
-Roulement de la broche	- Rupture	- Limite de durée de vie	- Mauvaise rotation de la meule - Pièces non conforme	3	3	9
- MARPOSS	- électrique	- Plaque de rappel de la touche	- Ralentissement	2	3	6
- Pompe de lubrification	- Hydraulique	- Usure des ailettes	- Arrêt de l'équipement	3	2	6

#### C U : Support culbuteur

Sous ensemble	Fonction	Eléments maintenables	Spécialités
Pince	- Prendre la pièce et la déplacer	- Bras manipulateur -Griffe pneumatique - Electrovane moteur pas à pas - Huile hydraulique	maintenance " " Production

## AMDEC

Eléments	Mode de défaillance	Causes de défaillance	Effets de la défaillance	Criticité		
				G	F	C
- Bras manipulateur - Electrovanne moteur pas à pas - Griffe pneumatique  - Flexible	Electrique	- Arrêt de détecteur de présence	Arrêt	3	4	12
	Electrique	- Blocage de l'électrovanne	"	3	3	9
	- Rupture d'un organe mécanique	- Usure des dents du Pignon	"	3	2	6
	-Hydraulique	- Fissuration	Ralentissement	2	2	4

### Tour Parallèle :

Sous ensemble	Fonction	Eléments maintenables	Spécialités
- Système de graissage	- Assure le graissage des embrayages	- Pignon d'entraînement de la pompe	maintenance
- Porte outil	- Transmis le mouvement d'avance et de rotation à l'outil	Couronne dentée	"
- Mandrin	-Serrage et rotation de la pièce	- Coussinet	Production

## AMDEC

Eléments	Mode de défaillance	Causes de défaillance	Effets de la défaillance	Criticité		
				G	F	C
- Pignon d'entraînement de la pompe	- Usure du pignon	- Usure des dents du pignon	- Arrêt	4	3	12
- Couronne dentée	- Usure de l'organe	- Usure des dents a cause du réglage répétitif	- Un jeu de fonctionnement entre la "Vis sans fin-couronne" -Pièces non conformes	4	2	8
- Coussinet	- Défaut de montage	- Grande pression de serrage	- Mauvais serrage	2	2	4

### 4.4. Elaboration du plan de maintenance

Cette étape conduit à déterminer les tâches de maintenance préventive. Il est à noter que le choix de la périodicité se fait de manière empirique (la plupart du temps aucune valeur de référence précise n'est connue).

Néanmoins, pour la sélection des tâches, trois critères sont pris en compte : le critère économique, l'efficacité et l'applicabilité. Pour chaque tâche, il est indiqué la fréquence, le temps alloué, la personne responsable.

D'autre part, les opérateurs prennent en charge des actions de maintenance de faible niveau sous formes des checklists, ce qui permet d'accroître la disponibilité de l'agent de maintenance, pour d'autres travaux. (Borla.L [51]).

#### 4.4.1. Élaboration des tâches

	Éléments	Symptômes observables	Prévention	Taches proposées
RECTIFIEUSE	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Roulement de la broche</li> <li>- MARPOSS</li> <li>- Pompe de lubrification</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bruit</li> <li>- Etat de la surface pièce non conforme</li> <li>- Arrêt du MARPOSS</li> <li>- Bruit</li> <li>- échauffement de la pompe</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-diminuer la fréquence de changement de la meule</li> <li>/</li> <li>- Contrôler si la pompe s'échauffe ou pas et s'il n'y aura pas de bruit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Changement du roulement</li> <li>- Changement de la plaque</li> <li>- Retouches des ailettes</li> </ul>
C.U CULBUTEURS	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bras manipulateur</li> <li>-Griffe pneumatique</li> <li>- Electrovalve moteur pas à pas</li> <li>- Flexible</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Arrêt du bras</li> <li>-Arrêt des griffes</li> <li>-Arrêt de la pièce</li> <li>- fuite d'huile</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>/</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Réparation</li> <li>- Réparation</li> <li>- Réparation</li> <li>- Changement</li> </ul>

Tour Parallèle	- Couronne dentée	- Variation des diamètres de la pièce	- Serrage de la vis sans fin et la couronne dentée	- Changement des couronnes
	- Pignon	- Lampe témoin s'allume	- Contrôler le niveau d'huile	- Confection
	- Coussinet	- Desserrage de la pièce	- Diminuer les vibrations au niveau du mandrin	- Serrage des coussinets

**Tableau III.6:Les Taches proposées pour les machines classées critiques**

#### 4.4.2. Totale du Préventif

On a fait un suivie des temps (en heures) de maintenance qui s'articule sur l'observation pendant une période de six mois allongeant du 01 février jusqu'au 31 juillet et a partir de la, on a calculés les indicateurs MTBF et MTTR avec évaluation de la disponibilité des machines classées très critiques. (Voir annexe Tableaux A.9).

C'est une sorte de modélisation de l'état de fonctionnement et des pannes ou arrêts (planifiés) enregistrés sur les machines classées très critiques pour l'estimation des temps de préventifs destinées pour chaque machine que nous les résumons dans le tableau ci-dessous.

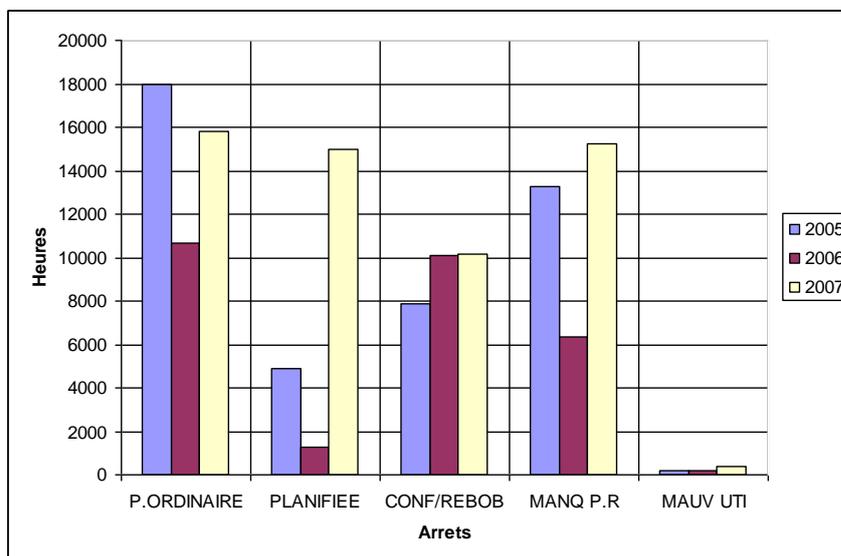
Fréquence Machines	Temps préventifs					
	Jour (mn)	Semaine (mn)	Mois (mn)	2mois (mn)	6mois (mn)	Total (heures)
RECTIFIEUSE	15mn	60mn	240mn	960mn	1500mn	151heures
C.U Culbuteurs	10mn	100mn	240mn	360mn	1200mn	122heures
Tour Parallèle	10mn	40mn	960mn	1440mn	600mn	127heures
Total préventifs						400heures

**Tableau III.7:Les Temps préventifs destinées pour chaque machines**

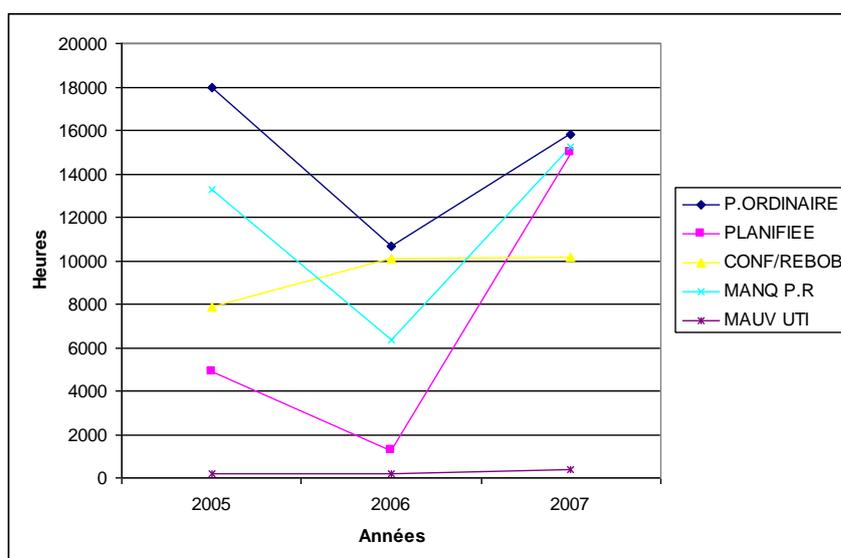
#### **4.5. Estimation des coûts de la maintenance**

##### **5.1. Aspect technique**

L'étude des temps d'arrêts durant les trois années (2005, 2006 et 2007) tenant compte des frais généraux du service (mains d'oeuvre, pièces de rechanges et matières consommables),  
(Voir annexe Tableau récapitulatif A.10.Bis).



**Figure III.11: Diagramme des temps d'arrêts**



**Figure III.12: Evolution des temps d'arrêts**

## 5.2. Aspect économique

On commence par l'aspect économique, étant donnée que le concept de coût global permet de résoudre le problème difficile des investissements de remplacement, ce qui définit la limite dans le temps de la maintenance des équipements [38-39]. Il peut s'agir

du remplacement à l'identique ou du remplacement avec progrès technique, résultant de l'obsolescence des équipements anciens. La détermination du coût horaire du service durant les trois années (2005, 2006 et 2007) tenant compte des charges du personnel du département mécanique et des frais généraux du service (mains d'oeuvre, pièces de rechanges et matières consommables),(Voir annexe Tableaux A.11).

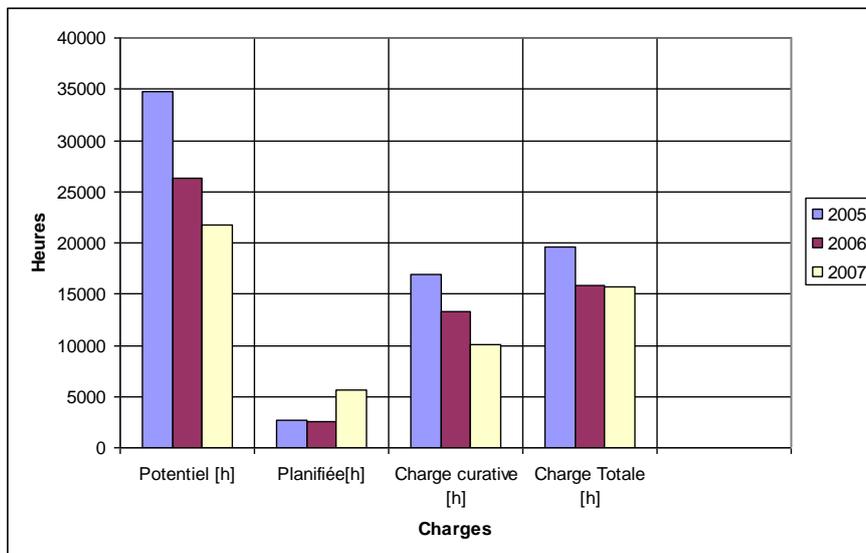


Figure III.13: Diagramme des charges du personnel du département mécanique

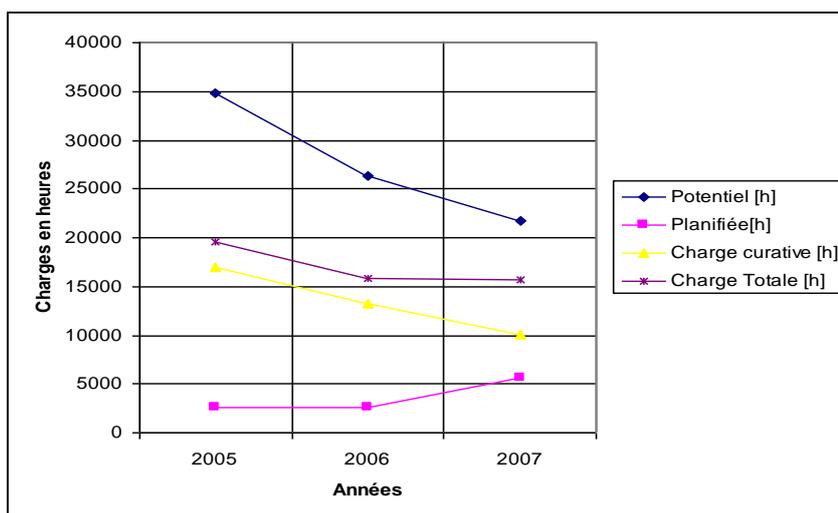


Figure III.14: évolution des charges du personnel du département mécanique

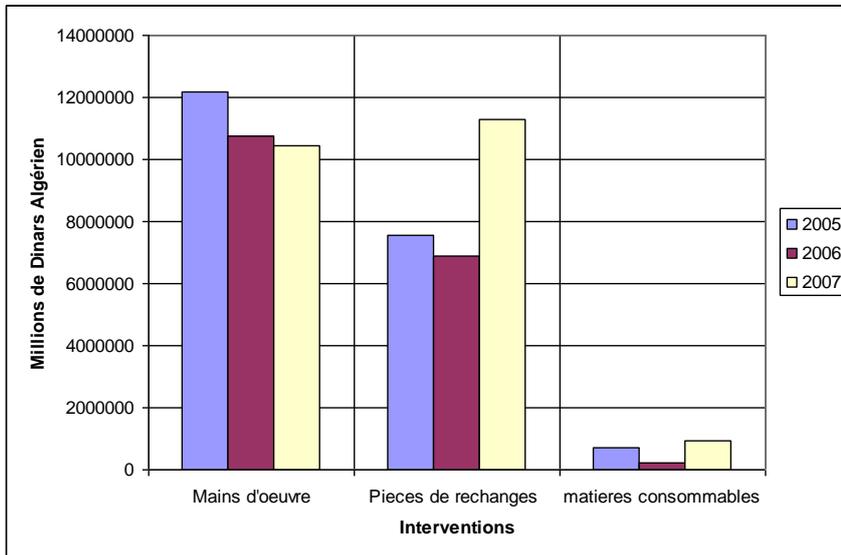


Figure III.15: Diagramme des coûts d'interventions

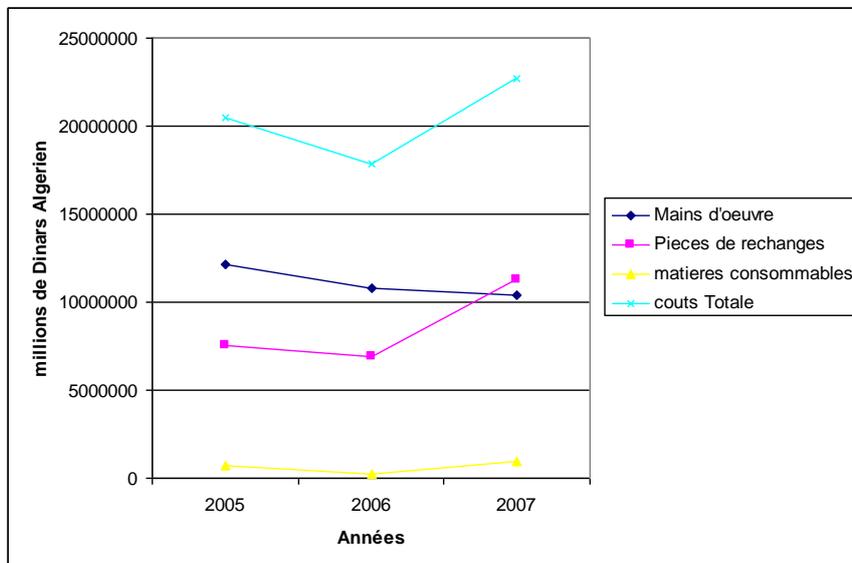


Figure III.16: Evolution des coûts d'intervention

**4.6. Discussion :** Notre objectif est de permettre à terme, à l'aide d'outils adaptés, la réalisation régulière de ce genre d'analyse pour garantir le niveau de rendement des installations, ainsi que le suivi des performances grâce au retour d'expérience pour définir la limite dans le temps de la maintenance des équipements.

On remarque :

**1/** sur la figure III.13 et figure III.14 que les données enregistrées sur les trois années montrent la même tendance de l'évolution des charges bien que les valeurs soient en baisse graduellement, et que les charges planifiées sont beaucoup moins que les autres charges .

**2/** Les figure III.15 et figure III.16 montrent une baisse graduellement pour 2005 et 2006 au moment où ce n'est pas le cas pour les pièces de rechanges qui enregistrent une augmentation en l'an 2007, conséquence aux pannes rencontrées en cette année.

**3/** Les coûts en matières consommables sont beaucoup moins importants que les deux autres coûts. Pour améliorer ces facteurs influant sur la performance du système, on doit cibler efficacement les actions de maintenance à mettre en place. C'est pourquoi, la démarche conduit à évaluer les zones critiques et les plans d'actions à mettre en œuvre.

### **III.5. Application de la TPM et la mise en pratique du TRS pour déterminer l'efficience d'un moyen de production**

La volonté d'améliorer les performances globales de l'entreprise et de satisfaire aux exigences croissantes des clients en terme de qualité, coïncidant avec la maintenance de la qualité qui est le pilier 6 du programme de développement de la TPM (voir figure II.3).

#### **1. Implantation du sixième pilier de la TPM**

Former un groupe de travail qui sera mené par un animateur

A. désignation des objectifs : l'amélioration de la capacité productive du système passe la maîtrise des différents temps de chaque système, pour atteindre un TRS de l'ordre de 85% (valeur optimale internationale).

#### **2. Faire ressortir les principaux postes goulets, afin d'améliorer la productivité en temps réel :**

- L'équipement clé qui présente le plus de problème au niveau de la chaîne d'usinage en utilisant l'outil: A-B-C.
- Collecte de données
- Elaboration des AMDEC
- définition et ordonnancement des tâches de maintenance.

#### **3. Calculs des :**

- Temps de production.
- Différents types d'indicateurs.
- En terme de sûreté de fonctionnement et de disponibilité, mesure de MTBF, MTTR, nombre de fréquence de panne.
- Enfin le TRS

L'application sera faite sur la Chaîne d'usinage de Vilebrequin, chaîne importante coté : machines ou pièce produite et coté criticité, on va la prendre comme un petit atelier pilote.

Notre démarche découle directement du programme de développement recommandé par le JIPM, méthode « pas à pas ». Celle-ci permet, à partir de la perception du problème, de progresser étape par étape vers une solution précise et clairement définie.

### 5.1. Implantation du sixième pilier de la TPM

Dans une première phase, (étape 1 à étape 6) on améliore la qualité produite en analysant rigoureusement le mode de fonctionnement et le mode de dégradation des équipements, ainsi que leur impact sur le produit, ce qui permet de cerner les causes de dysfonctionnement afin d'y remédier par des actions correctives. Dans une deuxième phase, (étape 7 à étape 10) on maîtrise la qualité en pérennisant ses résultats par l'amélioration des méthodes de contrôle.

Phase d'amélioration de la qualité	Préparation	1	Etats des lieux	-établir le plan qualité (procédés, caractéristiques qualité...)  -préparer le planning des actions à entreprendre.
		2	Analyse défauts / procédés	-établir la matrice défauts/procédés
	Analyse et amélioration de premier niveau	3	Première analyse des causes	-déterminer pour chaque liaison défaut/procédé, les causes possibles en utilisant la règle des 5M et lister les anomalies et dysfonctionnements à l'origine de ces méfaits
		4	Correction sans étude préalable	-corriger les anomalies et dysfonctionnements qui ne nécessitent pas d'étude particulière
	Analyse et amélioration de deuxième niveau	5	Analyse poussée des causes	-dans cette étape l'analyse est reprise en utilisant des outils tels l'AMDEC ou l'analyse PM pour déterminer d'autres causes
		6	Corrections supplémentaires	-corriger les anomalies non corrigées à l'étape 4  -corriger toutes les anomalies décelées à l'étape 5
Phase de maîtrise de qualité	Pérennisation	7	Prévention des défauts	-Pour chaque cause, définir l'état de la machine et les paramètres qui permettraient de prévenir les défauts.
		8	Définition du contrôle	-Verrouiller les paramètres qui peuvent l'être  -Définir les paramètres variables à contrôler, la mesure et les moyens de contrôle correspondants
		9	Définition des standards	-définir l'intervalle de variations des paramètres  -formaliser le standard de contrôle pour maintenance et opérateurs
	évolution	10	Amélioration des standards	-faire évoluer et réviser périodiquement les standards

**Tableau III.6: Les 10 étapes de La démarche**

## **B. Analyser les conditions pour le zéro défaut**

Dans cette étape, on doit définir et analyser les conditions pour fabriquer des produits non défectueux. C'est une analyse plus poussée, qui permet en utilisant des outils méthodologiques tel que l'AMDEC, de déterminer les causes génératrices de défauts.

Le but est de cibler dans un premier temps le défaut qualité le plus pénalisant sur tout le site ensuite réaliser une étude plus détaillée pour trouver le secteur de la ligne qui sera étudié. Elle se présente sous cette forme :

### **B.1. Description de la chaîne d'usinage de Vilebrequin**

Les opérations faite sur les machines de cette chaîne, section vilebrequin CFI: 335 (Voir annexe Tableaux A.12) sont :

- 1) Tour à recopier: faire tourner les 2extrémités de la pièce en recopiant la forme du gabarit
- 2) Tour parallèle : « DORRIES » faire Tourner les paliers et les manetons, leur donnés les dimensions de la pièces (ébauche).
- 3) On fait redresser la pièce sur une Presse (EITEL).
- 4) Perceuse pour rendre le centrage de toutes les pièces (Vilebrequins) uniforme.
- 5) la rectification des paliers sur une rectifieuse (ZOCCA) on rectifie l'ébauche, on en le diminuant de 1.7mm.
- 6) Perçage de m Ø10 (taraud) du volant moteur.
- 7) Fraisage des parties de V.B la où on met le contre poids.
- 8) la rectification des manetons. On rectifie les manetons .en diminuant le diamètre obtenue de DORRIES de 1.5 mm la rectification est cylindrique.
- 9) Perceuse HILL-HENSHELL : perceuse spécifique pour le vilebrequin, on réalise les trous de graissage de la pièce.
- 10) Poste a main : chanfreiner les trous de graissage et les soufflés pour les nettoyer
- 11) Traitement .Thermique : la pièce subit une induction sur les paliers et les manetons
- 3) Redressage de la pièce : redresser la pièce pour la préparer à la rectification
- 12) Sur cette rectifieuse (rectifieuse cylindrique "ZOCCA") : on rectifie les 2 diamètres tournés sur la 1<sup>ere</sup> machine.
- 13) La rectification des paliers
- 14) La rectification des manetons

- 15) Perçage d'un diamètre sur un tour standard « SCHERER »
- 16) Perceuse radiale on réalise un m Ø 24 (perçage- taraudage)
- 17) La micro finisseuse : avoir une bonne surface des paliers et des manetons

## 5.2. Classification des équipements

A partir des données qui ont été collectées, en se basant sur celles des trois années 2005/2006/2007.

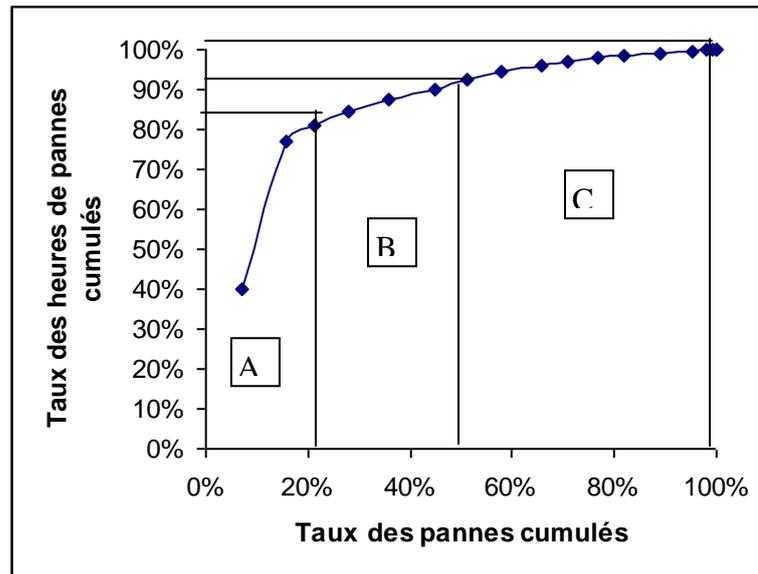
On totalise les heures et les nombres de pannes pour chaque machine (Voir annexe Tableaux A.13),

De la même façon pour le calcul des cumuls, on obtient le tableau suivant:

N° machine	Classement Coût (en h)	Cumul des coûts (en h)	% des coûts cumulés	Nombre de pannes	Cumul du nombre de pannes	% de pannes cumulées
08	1120	1120	40,12 %	11	11	7,14 %
02	1025	2145	76,85 %	13	24	15,58 %
01	115	2260	80,97 %	09	33	21,42 %
05	101	2361	84,59 %	10	43	27,92 %
10	86	2447	87,67 %	12	55	35,71 %
12	70	2517	90,18 %	14	69	44,80 %
11	66	2583	92,54 %	10	79	51,29 %
07	52	2635	94,41 %	10	89	57,79 %
13	18	2680	96,02 %	12	101	65,58 %
06	33	2713	97,20 %	08	109	70,77 %
18	23	2736	98,02 %	09	118	76,62 %
14	19	2755	98,71 %	08	126	81,81 %
09	14	2769	99,21%	11	137	88,96 %
15	13	2782	99,67 %	10	147	95,45 %
16	6	2788	99,89 %	04	151	98,05 %
04	02	2790	99,96 %	02	153	99,35 %
03	01	2791	100 %	01	154	% 100
17	00	2791	100 %	00	154	% 100

**Tableau III.7 : Taux de pannes et heures de panne cumulées**

En analysant ce tableau, on peut facilement observer que 80% des coûts proviennent des pannes des machines 08,02 et 01. Le diagramme de Pareto obtenu montre ce phénomène



**Figure III.17 : Courbe ABC des machines de la chaîne vilebrequin**

### 5.2.1. Type de maintenance approprié pour chaque groupe de machine

**Zone A** représente 45 % de temps d'indisponibilité machines : Il faut agir en priorité  
[Maintenance préventive accentuée, réhabilitation, rénovation etc..].

**Zone B** représente 35% de temps d'indisponibilité machines : Maintenance préventive normale.

**Zone C** représente 20 % de temps d'indisponibilité machines : Maintenance corrective normale.

La zone A comporte les trois machines N<sup>o</sup>5, N<sup>o</sup>2 et N<sup>o</sup>1 sont :

la Rectifieuse "ZoCCA", Tour parallèle "DORRIES" et Tour a recopier "SCHEREER".

La Rectifieuse, et Tour parallèle déjà étudié en MBF, le Tour a recopié "machine entrée de ligne" on va le prendre comme un équipement clé pour notre application.

### 5.2.2. L'analyse fonctionnelle et structurelle du Tour a recopié

Le Tour se constitue d'un bâti sur lequel est fixé, la poupée mobile plus le chariot de dressage ainsi que le mandrin qu'on trouve à son arrière la glissière sur laquelle le système verrin-tourelle se déplace afin de réaliser le tournage de la pièce.

Le Tour "schereer" nous permet de réaliser le tournage des deux bouts du vilebrequin, la réalisation de cette opération se fait comme suit:

Un moteur électrique transmet par courroie le mouvement de rotation a la boîte de vitesse qui a son tour assure la rotation du mandrin porte pièce, le tournage de la pièce est réalisé par la tourelle (ou on trouve les portes outils) qui est monté avec le vérin sur le chariot qui se déplace transversalement sur une glissière grâce au système hydraulique.

### 5.2.3. Analyse des modes de défaillance fonctionnelle

Fonctions de l'équipement		Mode de défaillance	G	F	Cr	Détection
CFI	Tournage	- Electrique	4	3	12	visuel
335		-Mécanique	3	3	9	"
		-Hydraulique	3	3	9	visuel

### 5.2.4. Décomposition organique de l'équipement

Sous ensemble	Fonction	Eléments maintenables	Spécialités
Poupée mobile-	- Ajuster les courses et les changements de rotations de la pièce	- Boite des fins de courses	Electrique
- Chariot	- Charioter les diamètres de la pièce	- Tourelle	Maintenance
- Mandrin	-Serrage de la pièce pour assure sa rotation	- Portic	"

#### AMDEC

Eléments	Mode de défaillance	Causes de défaillance	Effets de la défaillance	Criticité		
				G	F	C
- Boite des fins de courses	- Electrique	- Mauvais contact des fils électriques	- Arrêt du chariot	3	3	9
- Tourelle	-Fissuration	- Ovalisation du diamètre brut	-Ovalisation du diamètre usiné	4	2	8
- Portic	- Usure	- Vibration	- Mauvaise rotation de la pièce	3	2	6

--	--	--	--	--	--	--

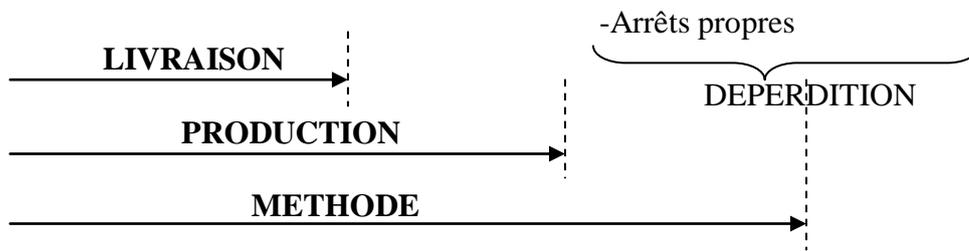
### 5.2.5. Elaboration des taches

	Eléments maintenable	Symptômes observables	Prévention	Taches proposées
TOUR à RECOPIER	- Boite des fins de courses	-L'arrêt du chariot ainsi que le changement des rotations de la pièce ne s'effectue pas en contact des bielles	/	- Connecter les fils
	- Tourelle	- Le changement entre l'outil ébauches et finition ne s'effectue pas	- exiger une bonne qualité de la pièce brut	- Réparation
	- Porti	- Mauvaise rotation du Mandrin - Sifflet de la courroie	/	- Réparation

### 5.3. Aspects quantifiables de la TPM

#### Procédure de calcul du TRS global d'un système : la norme NFE 60-182

<span style="color: green;">—</span> NPB : pièces bonnes <span style="color: orange;">—</span> NPR : pièces réalisées <span style="color: magenta;">—</span> NPTR : pièces théoriquement réalisables			
			<b>TT : Temps Total</b>
			<b>TO: Temps d'ouverture</b> Fermeture de l'atelier
			<b>TR : Temps Requis</b> Non utilisation
<b>TF : Temps Fonctionnement</b>		Arrêts	
<b>TN : Temps Net</b>	Performance	-Arrêts planifiés	
<b>TU: Temps Utile</b>	Non qualité	-Arrêts de production (attente matière)	
	- Défauts de qualité	-Ralentissement -Micro arrêts -Arrêts induits	



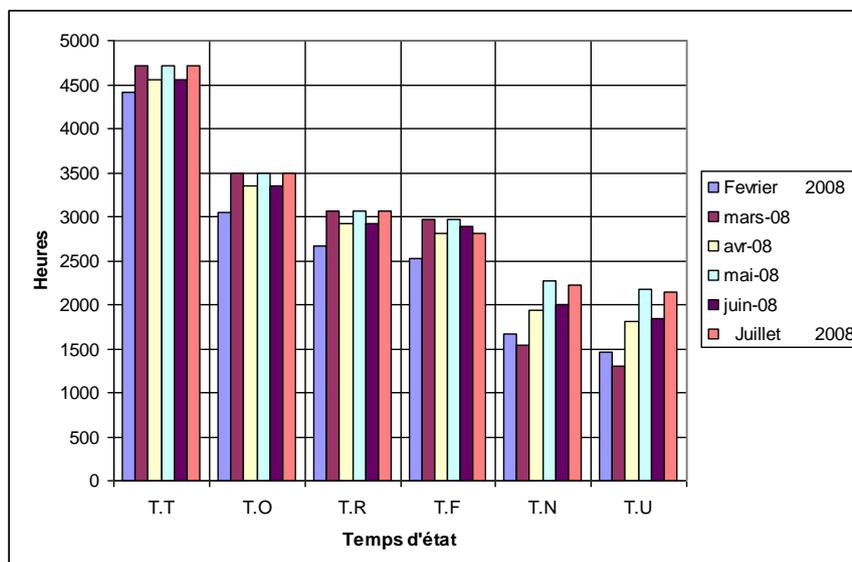
**Figure III.18 : Les temps d'état d'un moyen de production**

Type d'arrêt	Causes	
Arrêts Induits	Manques matière	
	Manque de personnel	
	Divers	
Arrêts	Maintenance	
	Absences	
Propres	Arrêts Fonctionnels	Réglage
		Contrôle
		Changement d'outils programmé

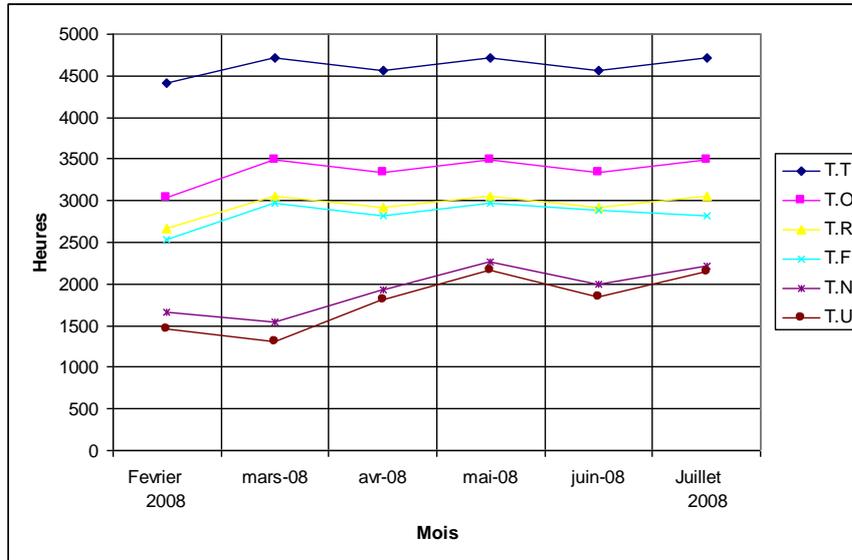
**Tableau III.8 : Les types d'arrêts**

Ce calcul est appuyer sur les bases de chaque temps (temps d'ouverture, temps utile...) et sur des temps réalistes et réels. Il doit également avoir une bonne définition de la méthode de calcul et être transparent (sans prise de position).

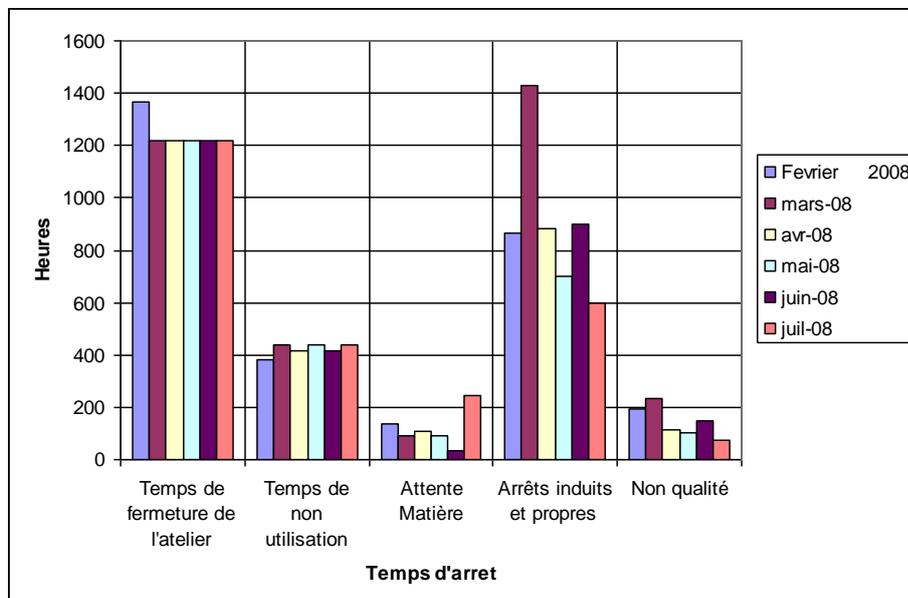
(Voir annexe Tableaux récapitulatif des temps A.18 et Tableau A.19)



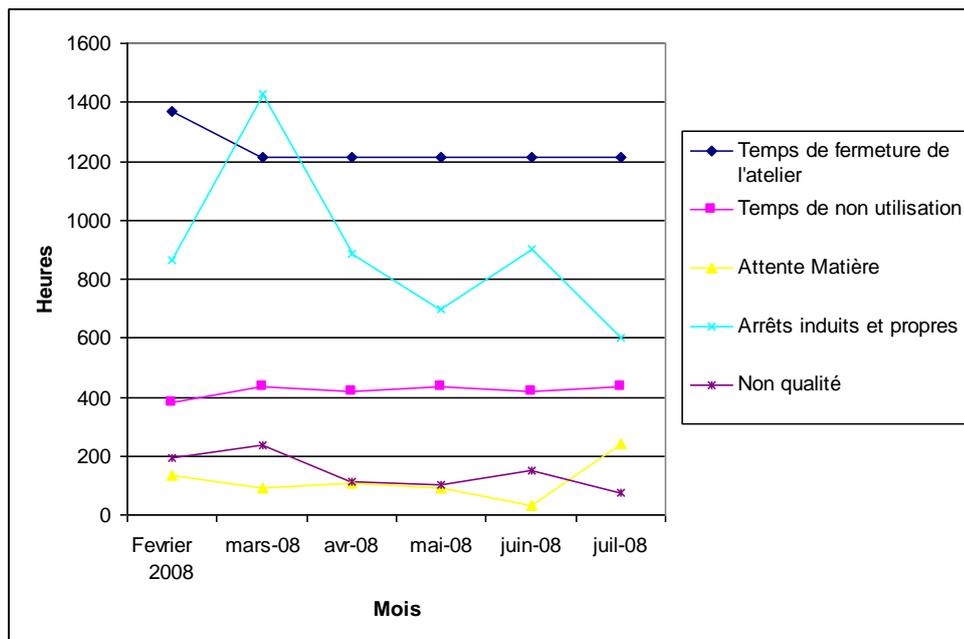
**Figure III.19: Bilan des temps d'états sur 6 mois**



**Figure III.20: Évolution des temps d'état**



**Figure III.21: Diagramme des temps d'arrêt**



**Figure III.22: Bilan des temps d'arrêts sur les 6 mois**

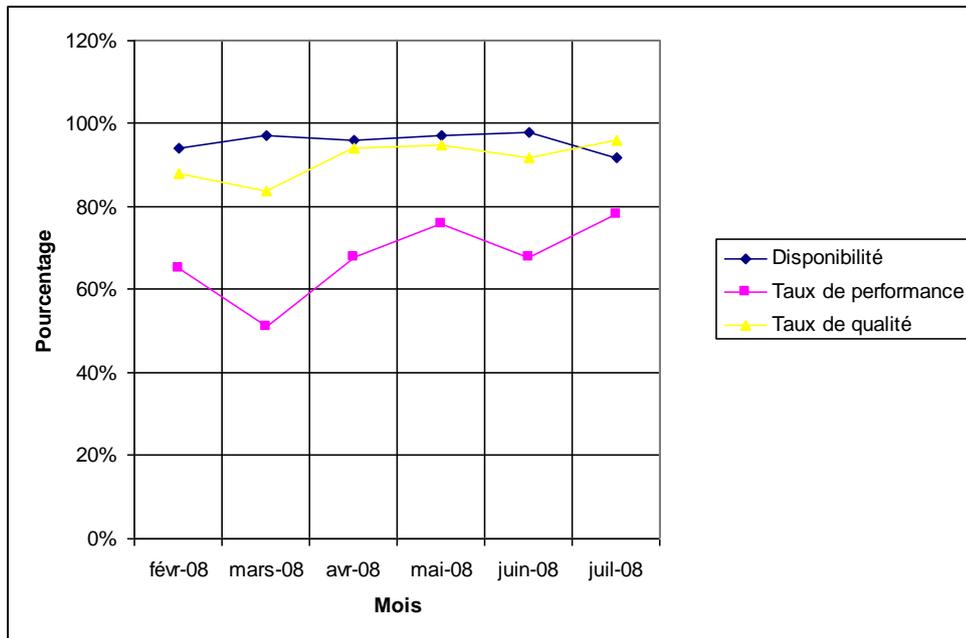
### A. Résultats mesurés

Comme pour toutes autres méthodes d'amélioration continue, il est nécessaire de mesurer le résultat obtenu afin d'évaluer la pertinence de la méthodologie et d'apporter des modifications et des améliorations. Concrètement, il s'agit de revoir certains indicateurs de performance tel que le taux qualité, le nombre des ralentissements dus à l'installation choisie. On peut aussi voir le nombre des anomalies détectées ainsi que le nombre de problème résolu.

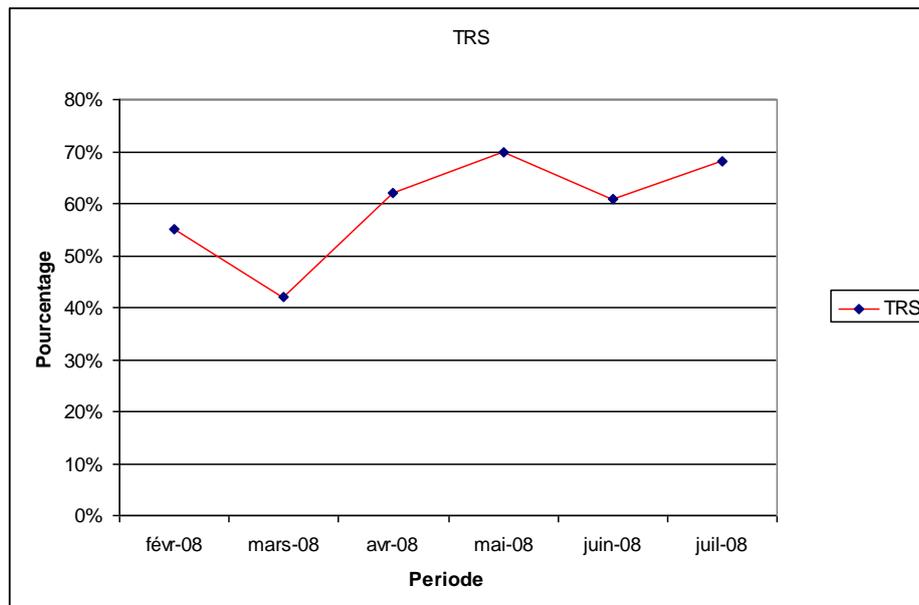
Pour cibler les actions prioritaires permettant de faire face aux points faibles de la productivité le TRS est le meilleur indicateur, son calcul doit être correctement renseigné.

Dès qu'il est défini correctement, il doit être affiché (mise en place de support graphique dans les différents endroits de l'atelier).

Son suivi mensuel pendant la période d'étude est résumé dans le tableau (Voir annexe Tableau A.20).



**Figure III.23: Évolution des indicateurs de performance par mois**



**Figure III.24: Évolution du TRS par Mois**

Après avoir fait les calculs des trois taux, chaque mois, une réunion de suivi est effectuée.

Les personnes composant ce groupe de travail sont les responsables logistique, production, qualité, sécurité et le chef d'atelier.

Cette réunion TRS va permettre d'analyser les problèmes, de remettre en cause certains procédés, de détecter ce qui ne va pas, et mettre en place des plans d'actions pour améliorer la productivité.

### B. Analyse des déperditions:

Les différentes déperditions en heures pour le service de maintenance sont résumées dans le Tableau (Voir annexe Tableau A.21).

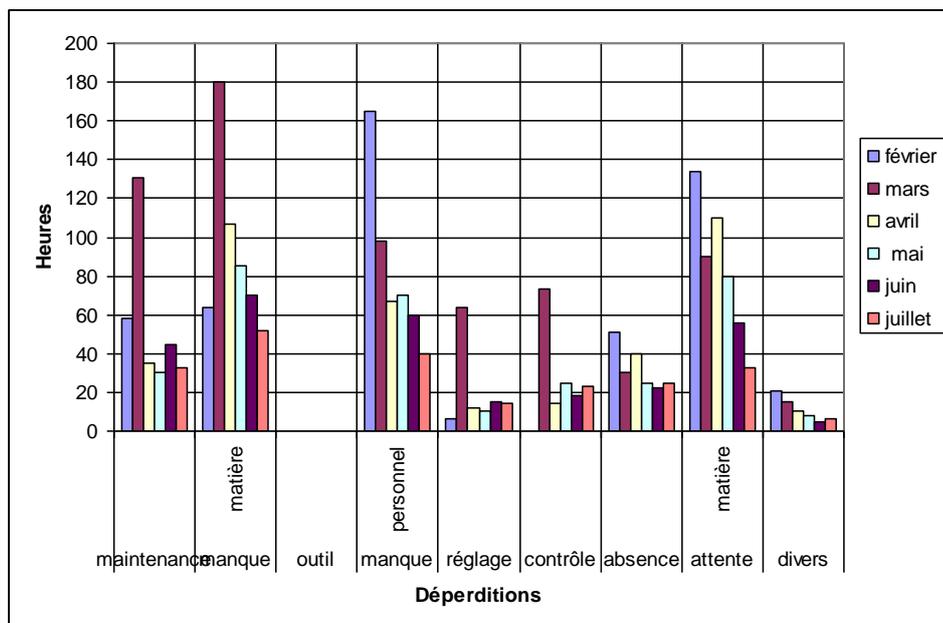


Figure III.25 : Diagramme des déperditions sur 6 mois

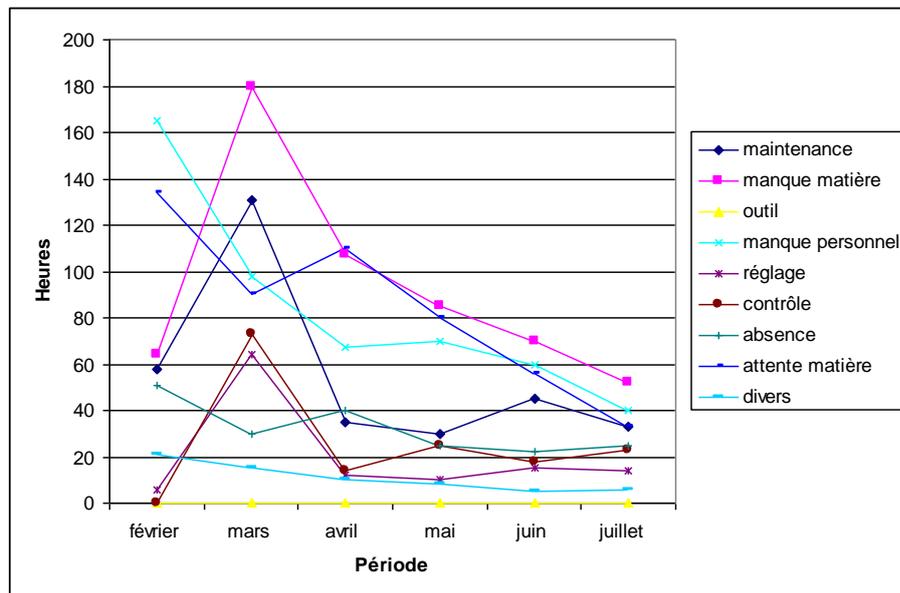


Figure III.26: Évolution des déperditions sur 6 mois

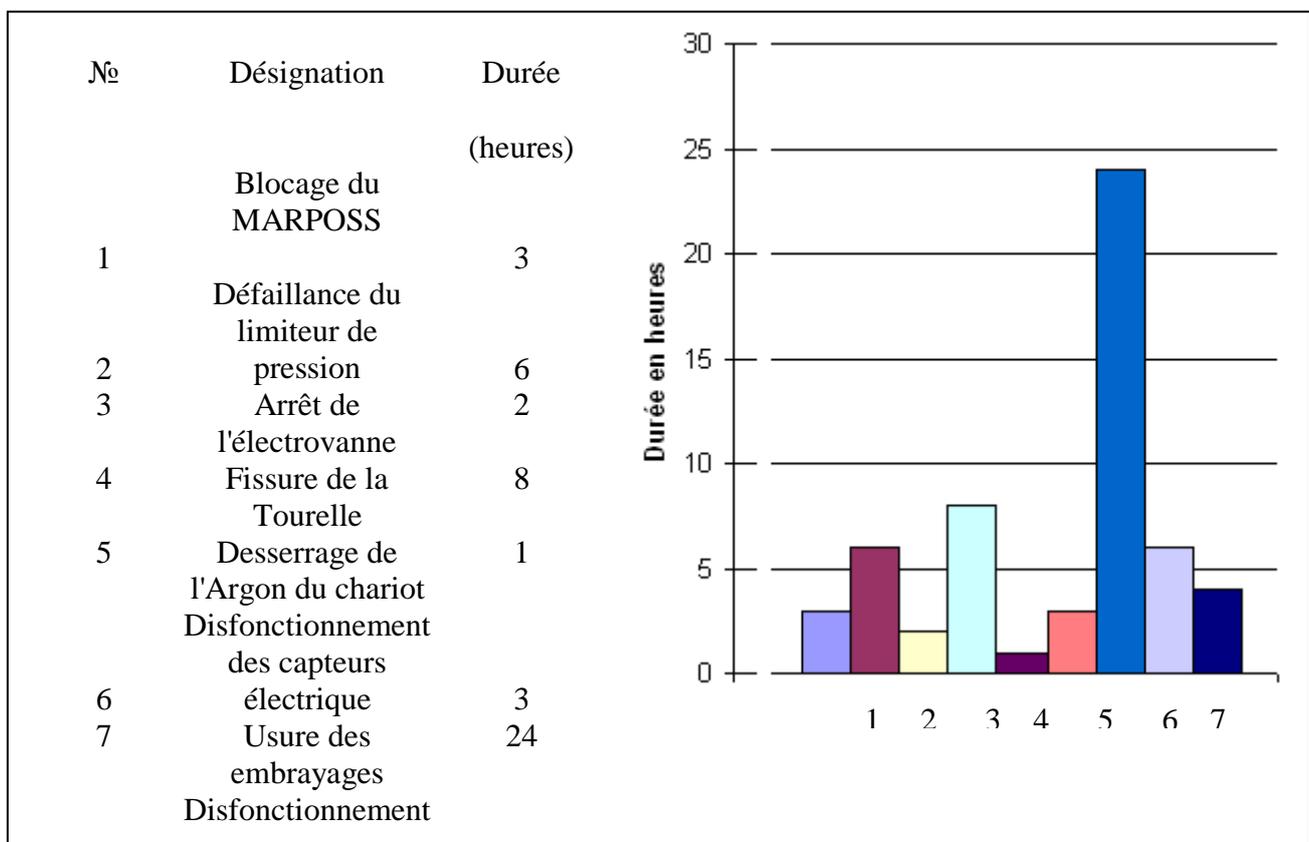


Figure III.27: Diagramme des temps des différents types d'arrêts durant la période d'étude

#### 5.4. Discussion

Après avoir fait relevés les différents types d'arrêts et des déperditions, nous avons désigné le service concernée de chacun de ces temps de la journée machine au sein de la chaîne de production vilebrequin.

La représentation des différents temps nous permet de cibler les actions prioritaires permettant de faire face aux points faibles de la productivité, voire proposer des mesures pour l'amélioration des performances opérationnelles des équipements industrielles mis en cause.

Ce calcul est appuyer sur les bases de chaque temps (temps d'ouverture, temps utile...) et sur des temps réalistes et réels pendant la période d'étude qui est de trois mois. Le TRS est le meilleur indicateur, son calcul doit être correctement renseigné. Il permet de contribuer à l'évolution stratégique et négocier les changements, d'établir et de maintenir un niveau approprié de compétence.

Dans la figure III.20, on constate une bonne tenue des temps d'état, étant donnée une égalité entre le temps de fonctionnement et le temps requis. Cela se justifie par le temps des arrêts planifiés qui est en temps masqués. Donc, il n'influe pas sur la production. On constate aussi qu'il y'a une différence légère entre le temps net et le temps utile, ce qui se traduit par un temps de non qualité

Le calcul du TRS mensuel montre la même tendance des taux de qualités. On enregistre que le taux de performance est assez faible par rapport au deux autres.

La figure III.24, montre un TRS moyen, au voisinage de 55%. Ce qui est loin à la norme internationale qui est environ de 85%, résultats des différents types d'arrêts montrées dans la Figure III.27, nous constatons à partir du découpage des temps d'états et des temps d'arrêts que pour augmenter le TRS global d'un processus de production, il faut diminuer les temps d'arrêts, ce qui est bien détaillés dans le tableau des recommandations, (Voir chapitre IV. Tableau IV.2).

## Chapitre IV

# Résultats

# et Recommandations

Ce chapitre présente les résultats et recommandations pour chacune des applications.

#### **IV.1. Synthèse finale de l'analyse**

##### **1.1. Pour la machine industrielle qui est TOUR PITTLER**

N° INV. 1610

TYPE : PIMAT 80/315

N° FAB. : 4364-3

ANNEE DE FAB : 1971

Tous les résultats de l'équipement étudié se résument :

- Age de l'équipement : Vieux
- Complexité technologique : Traditionnelle
- Capacité : insuffisant
- Cadence de production : Réduite
- Valeur additionnelle d'unité de production : Elevée
- Maintenabilité : Difficile et coûteuse
- Conditions d'intervention : Particulière
- Taux de pannes : Important
- Fréquence des pannes : Très fréquentes
- Temps d'intervention : Important
- Type d'équipement : Spécifique
- Type de défaillance : Usure ; vieillissement
- Rebut : Important
- Moyen de production : Spécifique et coûteux.

##### **1.2. Recommandations**

**A. la machine Est à réformer.**

**B. On peut généraliser ce modèle d'étude sur tout machine industrielle du même genre que se soit : Un Tour, une fraiseuse, une Tailleuse, une Rectifieuse.**

Et qu'il soit un outil d'aide a la décision pour le personnel de la mécanique.

## **IV.2. Optimisation de la maintenance par l'AMDEC:**

### **A. L'opérateur**

Il doit être qualifié et formé. Apprendre ses repères sur la machine ; chaque machine à un réglage qu'il doit le vérifier à tout moment pour faire gagner du temps.

- sa performance exprimée par un indice, pour le choix de son poste qui convient selon sa formation, sa qualification et sa forme.

-l'indice de performance sera introduit au calcul du temps globale de réalisation de la pièce.

### **B. La pièce**

Conforme en matière de brut qui répond aux exigences demandées.

### **C. L'outillage**

L'Outillage doit être de bonne qualité. Les forêts doivent avoir un affûtage juste.

- changement d'outil de coupe de chaque machine au cas d'usure en maîtrisant le temps de montage et de démontage et prévoir un bon nombre de stock.

- faire décaler les temps de changement d'outils des machines pour optimiser le nombre d'outils en stock tout en maîtrisant leurs affûtage et sa durée en plus de temps de montage et démontage de l'outil.

- enfin s'assurer du bon fonctionnement du système de lubrification et sans arrêt pendant l'usinage de la pièce.

### **D. bureau de méthodes**

Le methodiste choisie l'outillage nécessaire pour réaliser des pièces pour atteindre les exigences.

-Veille sur l'amélioration des moyens de fabrication (étau, mandrin, bague.....) ;

- Améliorer les modes d'usinage de la pièce.

Exemple : rectification d'une denture, d'une roue dentée.

La rectification des pièces se fait avec un seul dispositif (axe bague), et Pièce par pièce, dans ce cas, l'ouvrier prend beaucoup de temps pour une opération d'où, la nécessité de doubler le dispositif pour l'usinage de la 2<sup>ème</sup> pièce en temps masquer,(temps de démontage de la première pièce).

## **E. Section chronométrage:**

Le methodiste doit :

1. inclus dans le mode opératoire un détail précis de la gamme d'usinage, voire décortiquer les phases d'usinages.
2. vérifier la gamme d'usinage: emplacement de la pièce, dispositif, moyen et contrôle
3. Et enfin informer et former tous le personnel de tous les services concernés sur ces résultats.

### **2.2. Recommandations**

Comme l'outil de production comporte plusieurs processus et activités d'importances différentes, une attention particulière doit être réservée aux processus et composants critiques. Il convient donc d'identifier ceux qui sont critiques sur lesquels il faut agir en priorité.

Pour un rendement maximale des Machines industrielles : Rectification des défauts géométrique afin de permettre à la machine de travailler avec des vitesses normales.

Les composants qui causes beaucoup plus les pannes mécanique et électrique des machines sont : les Roulements, flexible ou fusible.

Il doit y avoir une réserve de stock à tout moment de ces pièces de rechanges.

Pour les pannes hydrauliques c'est la pompe qui inspire l'huile et surtout la qualité d'huile. Donc, la machine doit travailler selon son cahier de charge.

### **IV.3. Maintenance Basée sur a Fiabilité:**

Amélioration du MTTF: en terme de politiques de maintenance, il s'agit de choisir une politique appropriée a la phase, si ce serait une maintenance conditionnelle ça va être une maintenance préventif pour ne pas avoir une panne et faire un changement d'organe sensible à la défaillance.

Si on a un dossier riche de machine on peut lancer une maintenance de fiabilité c'est que je laisse pas chance a l'usure car s'il n'ya pas d'usure l'équipement est toujours neufs.

MTTR selon les modes de défaillances ou les moyens que je me dispose  
En d'autre terme: la conformité de réparation et la personne qui fait sa procédure.  
Organisation d'une gamme d'intervention

MUT sa durée est variable on peut maintenir le MUT dans une durée bien fixe si on a une bonne politique en MTTF

MDT qualification des gens  
Les moyens nécessaires  
Disponibilité payaire donc le MDT : définie et calculer

La réactivité à chaque étape peut être améliorée par :

- La réaction rapide de l'opérateur, qui dispose d'une compétence de maintenance premier niveau.  
(Dans le cas où il faudrait activer des spécialistes, le temps d'arrêt pourrait s'allonger).
- Les pièces et matériels disponibles à proximité (stock, lot maintenance sur place...).
- Des réparations rapides et certaines (formation, autonomie...).
- Suppression ou réduction des essais.



### 3.1. Plan d'action de l'atelier usinage en chaîne Comprend les actions et délais

Poste	Actions	Responsables	Échéances	Interprétation
01	<b>RÉALISATION DU PROGRAMME</b>	Chef d'atelier Contre maître	12/2008	Prévoir le personnel nécessaire pour la réalisation du programme 2008 et gérer les aléas.
02	<i>Respect des gammes</i>	Chef d'atelier Contre maître		Il faut veiller à ce que la gamme soit appliquée par les opérateurs chacun dans son poste
03	<i>Amélioration des gammes</i>	Chef d'atelier Contre maître		Le chef d'atelier ainsi que les Contre maîtres doivent contribuer à l'amélioration des gammes en collaboration avec le service méthode
04	<i>Auto contrôle</i>	Chef d'atelier Contre maître		Aider l'opérateur à mieux manipuler les moyens de contrôle à fin de pouvoir effectuer un premier contrôle a son niveau dans le but d'assurer une meilleure qualité de la pièce
05	<i>Préserver un bon état des machines</i>	<b>1.1.1</b> Chef d'atelier Contre maître		Doter l'opérateur d'une pompe pour assurer le graissage des machines ce qui nous permettra de préserver ces dernières dans un bon état et aussi mettre des fiches de graissage pour chaque machine nécessitant cette opération
06	<i>Signaler les anomalies des dispositifs</i>	Chef d'atelier Contre maître		Signaler les dispositifs qui nécessitent des corrections pour éviter une perte de temps en cas d'utilisation de ces derniers.

<b>07</b>	<i>Traçabilité pour le rebut</i>	Chef d'atelier Contre maître		Répertorier les différentes causes du rebut pour permettre d'intervenir efficacement à fin de réduire le rebut
<b>08</b>	<i>Suivi de la pièce en zone de non-conformité</i>	Chef d'atelier Contre maître		Assainir la situation de la pièce en zone de non-conformité avec les différents services concernés
<b>09</b>	<i>Eviter l'accumulation du rebut</i>	Chef d'atelier Contre maître		Pour garder l'ordre au niveau de l'atelier il est important de se débarrasser au fur et à mesure des pièces rebutées
<b>10</b>	<i>La formation sur le tas pour les postes spécifiques</i>	Chef d'atelier Contre maître		<ul style="list-style-type: none"> <li>- La rectification des manetons ZoCCA 6202 et ZoCCA 6201</li> <li>- Le tour parallèle DORRIESS 1901</li> <li>- Le tour SCHEREER1312</li> <li>- Le tour à cames</li> </ul>

**Tableau IV. 1 : Le plan d'action de l'atelier usinage en chaîne**

### **3.2. Recommandations**

Cette application nous a permis de prendre trois décisions:

- une première décision est l'élimination de ce qui paraît le moins critique afin d'évaluer les résultats dans un plan très ciblé ;
  
- une deuxième décision est alors possible : ne pas prendre en considération certaines défaillances, ce qui peut bien sûr être pénalisant a priori pour l'étude du système ; mais le retour d'expérience permet de remédier à cette difficulté ;
  
- la troisième décision est de choisir, parmi les différentes décisions de maintenance (logigramme de décision), celles les plus indiquées dans un horizon temporel bien déterminé et l'objectif de l'étude préfixé.

#### IV.4. Totale Productive Maintenance:

	Types d'arrêts	Causes	Service	Moyens d'amélioration du TRS
	Non utilisation	<ul style="list-style-type: none"> <li>- maintenance préventive</li> <li>- changements de série</li> <li>- les essais</li> <li>- les sous charges</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Maintenance -production</li> <li>-logistique -méthodes -production</li> <li>-méthodes -production</li> <li>-services logistiques -approvisionnement -production.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- former les opérateurs sur les machines</li> <li>- les interventions hors temps d'ouverture.</li> <li>- maîtriser et insérer les durées des essais dans le planning de production.</li> <li>- sécuriser l'équipement contre les sous charges.</li> </ul>
<b>DISPONIBILITE</b>	Arrêts Planifiées et de production	<ul style="list-style-type: none"> <li>- pannes et maintenance corrective</li> <li>- manque personnel</li> <li>- manques matières et outils</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Maintenance -production</li> <li>- ressources humaines -production</li> <li>-méthodes -production</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- base de données pour le suivi des pannes.</li> <li>- avoir un stock de pièces de rechanges.</li> <li>- être formé aux différents postes de l'usine.</li> <li>-Fiabilité des livraisons de la part des fournisseurs en heure. Mettre en place des stocks outils.</li> </ul>
<b>PERFORMANCE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ralentissement et Micro arrêts</li> <li>Arrêts induits</li> <li>Arrêts propres</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-moyens de production</li> <li>-Causes externes aux moyens de production</li> <li>-l'exploitation du moyen - outillages - produits</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Maintenance -production -services logistiques</li> <li>-Maintenance</li> <li>- production</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Travailler en relation avec le constructeur de la machine.</li> <li>- avoir un stock de pièces de rechanges.</li> </ul>
<b>QUALITE</b>	Réglage essais	<ul style="list-style-type: none"> <li>- redémarrages</li> <li>- défauts de qualité et réparation.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ressources humaines</li> <li>- Qualité - production</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Contrôle automatique des pièces : équipées les machines de voyants ou d'alertes sonores.</li> <li>-diagramme causes effets</li> </ul>

Tableau IV. 2. Tableau des recommandations

## **4.2. Recommandations**

La clé de réussite de la TPM est dans la perception de la simplicité de son usage et de son utilité. Elle nécessite un management participatif à tous les niveaux de la pyramide de l'entreprise. Ce type de management est caractérisé par l'influence forte des groupes de travail à chaque niveau de décisions. Il priorise l'intérêt général de l'entreprise et encourage l'esprit d'initiative et de créativité de tous le personnel.

La démarche TPM s'appuie obligatoirement sur cette délégation de responsabilité aux équipes autonomes capables de s'organiser pour résoudre les différents problèmes, et nécessite beaucoup de temps et d'importants investissements en formations.

## IV.5. Retour d'expériences et capitalisation :

Pour atteindre ces 2 objectifs :

- identifier et standardiser les bonnes pratiques et les bonnes méthodes
- faire remonter vers la conception toutes les expériences acquises (moyens, process, modes opératoires,...).

Le but évident est d'homogénéiser les modes de fonctionnement en pratiquant la généralisation

(CFI – ligne – bâtiment - métier).

L'entreprise applique de différents types de maintenance à travers les lignes de production, mais pas dans un cadre méthodique, et fait un peu de la TPM sans le savoir ou plutôt sans le formaliser. Elle applique un ou plusieurs outils (Pareto, 5S, vérification du poste, nettoyage initial...) sans pourtant n'avoir jamais parler du mot "TPM".

Le tableau IV.3. Résume l'état d'évolution de la fonction maintenance

<b>Atelier:</b>			
	<b>Rubriques</b>	<b>Etat actuel</b>	<b>Objectif</b>
<b>Coût</b>	* Taux de main d'œuvre	35 %	70 %
	* Taux de matière	40 %	60 %
	* L'impact de la maintenance	60 %	80 %
<b>Performance</b>	* Le Taux de rendement synthétique (TRS)	60 %	85 %
	* Le Taux de disponibilité	80 %	98 %
<b>Efficacité</b>	* La productivité du personnel de maintenance	40 %	80 %
	* La part du dépannage dans l'activité de maintenance	50 %	70 %
	* Le délai de réponse	30 %	70 %

**Tableau IV. 3 : Tableau de bord**

Ce qui nous permettons d'en déduire les recommandations suivantes :

- augmentation de l'efficacité des équipements de production.
- réduction des coûts d'exploitation, ainsi que les coûts de non qualité.
- obtention d'une meilleure gestion des stocks et des achats.
- abaissement des coûts de maintenance (main d'œuvre, pièce de rechange).
- suivi des coûts par ligne de production et par unité produite (contrôle le respect des dépenses en même temps que la justesse des prévisions).

### **Conclusion générale**

Le travail présenté ici visait à atteindre le rendement max des équipements et une haute performance industrielle, et a montré la faisabilité de conduire une méthode d'optimisation de maintenance étant donnée que l'influence des activités de maintenance prend une proportion de plus en plus significative dans la gestion d'entreprise.

On a débuté par une description du problème en question. Ensuite, une étude bibliographique, dans laquelle les différents concepts liés à la fiabilité et à la maintenance, avec une mise en évidence des principales méthodes de maintenance, a été faite, et les principaux travaux effectués et traitants la performance industrielles ont été passés en revue.

Pour mettre en évidence les différentes approches une application pour chacune a été effectuée sur les machines du bâtiment d'usinage du Complexe Moteur – Tracteurs de Constantine.

Les solutions et réponses que nous avons présentés aux défis des industrielles pour avoir des coûts de production réduits nous a permis de faire les conclusions suivantes:

1- Arbitrer entre maintenance et investissements, à l'aide d'une méthode de calcul technico-économique qui est basée sur les Marqueurs de fiabilité de l'équipement, comparé à des valeurs référentielles, on peut juger son efficacité et décrire son comportement futur dans le temps pour lui appropriés un genre de maintenance.

2- Réduire et fiabiliser l'ensemble des délais de production, par l'intermédiaire d'une optimisation de la maintenance (un Pareto doit être établie) qui nous permet de ne prendre que les éléments les plus critiques, et a comme avantage:

- rapprocher le personnel de production et de la maintenance.
- augmenter la probabilité de recouvrir rapidement la vraie cause d'une anomalie de fonctionnement.

3- L'analyse des coûts d'intervention et les charges du personnel nous permet de traquer les causes de dysfonctionnement et de faire la chasse au gaspillage dans l'entreprise. La MBF constitue incontestablement une véritable démarche d'optimisation des coûts de maintenance, et un outil de conception de la maintenance préventive, utilisant l'analyse AMDEC.

La mise en œuvre d'une telle démarche montre bien sa contribution à l'évaluation des zones critiques et au plan d'action à engager dans l'entreprise. En effet, elle permet :

- de définir les exigences de sûreté de fonctionnement de manière précise par la prise en compte des conséquences des défaillances.
- d'identifier les fonctions critiques pour le système et ainsi définir la politique de maintenance et les techniques associées applicables.
- de prendre en compte des coûts de maintenance et des coûts des défaillances.

Ce qui est l'objet d'un article intitulé:

**Utilisation de la maintenance basée sur la fiabilité (M B F) pour développer**

## **et optimiser les politiques de maintenance dans une entreprise**

### **Illustration dans un complexe moteurs tracteurs**

Acceptée de la part du comité scientifique de 8ème congrès international pluridisciplinaire QUALITA 2009-Besançon (France).

4- Mettre en place une dynamique d'amélioration continue: La TPM (Total Productive Maintenance) une méthodologie d'évaluation, C'est une approche d'amélioration de la productivité globale de l'appareil de production par une meilleure implication de tous les personnels de l'entreprise dans la fonction maintenance. Cette méthode s'articule sur l'aspect quantifiable est la journée machine, qui nous donne une vision globale des différents temps de processus de production que se soit des temps d'état ou des temps d'arrêts ainsi que leurs causes. Pour garantir la surveillance du bon état des machines.

Le principal indicateur de la TPM est le TRS (taux de rendement synthétique) qui intègre plusieurs facteurs (le triptyque disponibilité, performance et qualité) indiquant le fonctionnement global d'un équipement. Cet indicateur est très utile car il permet de déterminer l'efficacité d'un moyen de production.

La méthodologie est l'extrait d'un deuxième article intitulé:

### **Déterminer l'efficacité d'un moyen de production**

#### **Application dans une chaîne de production**

Contribution acceptée de la part du comité scientifique du même congrès citée ci –dessus.

Les applications faites permettent d'obtenir des résultats prometteurs. Les gains futurs par l'application de ces méthodes sont une source de motivation non négligeable.

- [1] Y. Kerboua Ziari, Présentation d'une méthodologie de gestion des processus de maintenance. Ecole Nationale Polytechnique d'Alger Laoucine Kerbache, HEC Paris France. Symposium International : Qualité et Maintenance au Service de l'Entreprise QUALIMA01 - Tlemcen 2004.
- [2] Z. Simeu-Abazi, M. Di Mascolo, D.M. Pham, maintenance pré-conditionnelle, laboratoire d'Automatique de Grenoble.
- [3] H. Procaccia, R. Cordier, Application of Bayesian statistical decision theory for a maintenance optimisation problem, Reliability Engineering and System Safety 55(1997)143-149.
- [4] R. Sarker, A. Haque, Optimisation of maintenance and spare provisioning policy using simulation, Applied Mathematical Modelling 24(2000) 751-760.
- [5] B. Herrou, M. El ghorba, Démarche d'optimisation du plan d'action maintenance, étude de cas d'une PME marocaine, CPI'2005 – Casablanca, Maroc, Ecole Supérieure de Technologie BP. 2427 Route Imouzzer Fes.
- [6] B. Herrou et M. Elghorba, L'AMDEC un outil puissant d'optimisation de la maintenance, application à un moto compresseur d'une PME marocaine, CPI'2005, casablanca-Maroc.
- [7] D. Bouami, B. Herrou, Optimisation de la démarche d'optimisation de la Maintenance, CPI'2004, casablanca-Maroc.
- [8] A. Mokhlis- S. Elfezazi - I. Toumi- D. Bouami, Diagnostic et Audit de la maintenance, CPI'2005 – Casablanca, Maroc.
- [9] S. Elfezazi, A. Mokhlis, R. Benmoussa, Mesure de la performance de la fonction maintenance, CPI'2005 – Casablanca, Maroc.
- [10] 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.
- [11] J. W. Walker, Manager la performance, D'après human resource strategy.
- [12] M. Gabriel, D. Richet, C. Norberto, Mise en oeuvre d'un benchmarking sectoriel pour améliorer l'organisation de la maintenance des PME, 1er congrès International de Génie Industriel; Montréal; octobre 1995.
- [13] I. Verzea, M. Gabriel et D. Richet, MBF globale : une étape stratégique vers la TPM, Revue Française de Gestion Industrielle, Vol.18, n°2.
- [14] L. Procaccia, L'approche bayésienne et ses applications industrielles, Journée technique organisée par l'ISDF avec la collaboration de l'ESSTIN, 4 juin 1997.
- [15] J. Robert, L'analyse statistique bayésienne, Edition Economica, 1992.

- [16] M.Ch Suhner, B.Sellali, S.Martinet, M.Gabriel, D.Richet, Démarche de retour d'expérience et estimation de la fiabilité d'équipements de production dans le cadre de la méthode MBF, 2ème congrès Qualité Sûreté de fonctionnement, Tangers, mars 1996.
- [17] E-D.Efaga, R.Danwe, F.Braun, Analyse des données du retour d'expérience pour l'organisation de la maintenance des outils de production des PME/PMI dans le cadre de la MBF (Maintenance Basée sur la Fiabilité), Institut Universitaire de Technologie de Douala.
- [18] N. Cotaina, M. Gabriel, D. Richet et K. O'Reilly, Utilisation de la maintenance basée sur la fiabilité (MBF) pour développer et optimiser les politiques de maintenance dans les scieries, Revue Française de Gestion Industrielle, Vo. 16, n°3.
- [19] L.Borla, P. Hughes, J.Duggan, D.Richet, Réorganisation de la Maintenance dans les PME. Approche MBF, le cas Waterford Standley Ltd, Maintenance et Entreprise, mai 1994.
- [20] M.Laachir, Déploiement du plan de maintenance qualité sur une ligne de galvanisation, Université de Technologie Compiègne, Master Management de la Qualité 2005/2006.
- [21] Kunio Shirose, Le guide TPM de l'unité de travail Conduite et maintenance de l'installation industrielle, Traduit de l'américain par Monique Sperry -Edition DUNOD.
- [22] Y,Pimor, La Maintenance Productive pour produire juste à temps, Editions MASSON, Paris, 1991
- [23] E.Pierrein, Le TRG, un élément clé du TPM, Ecole supérieure de commerce, Grenoble, Wesford, Master Achats – Logistique Promotion 2004 / 2005.
- [24] J. Moubray, Reliability centred maintenanc, Indusrial Press Inc, New York, 1997.
- [\*]E.Marcon,O.Senechal,P.Burlat ,Concepts pour l'évaluation des performances des systèmes de production, Chapitre 1 de l'ouvrage collectif GRP "Evaluation des performances des systèmes de production ", coordonné par C. Tahon, traité IC2 Hermès Paris,Mars 2003, ( pp29-47).
- [25] L.Berrah, Une approche d'évaluation de la performance industrielle .Modèle d'indicateur et techniques floues pour un pilotage réactif, Thèse de doctorat en génie industrielle, INP Grenoble 1997.
- [26] L.Berrah,V. Clivillé, Rapport d'audit Analyse Conception effectué pour l'établissement FOURNIER FRERES, 49p, juillet 1999.
- [27] D.Retour , M.Bouche et V.Plauchu , Où va la maintenance industrielle, Problèmes économiques, No. 2.159, pp. 7-13, 24 Janvier 1990.
- [28] F,Monchy, Maintenance Méthodes et Organisation .Collection Dunod ,2000.
- [29] j- C, Francastel, L'usine nouvelle Ingénierie de la maintenance de la conception à l'exploitation d'un bien, Série/Gestion industrielle.

- [30] F, Monchy, La fonction maintenance : Formation à la gestion de la maintenance Industriell, Collection technologies de l'université à l'industrie, MASSON, 1991.
- [31] A.Villemeur, Sûreté de Fonctionnement des systèmes industriels : Fiabilité-Facteurs humains informatisation, Edition Eyrolles Paris 1987.
- [32] R.Chaib, La maintenance industrielle, Editions université Mentourie de Constantine, 2004.
- [33]D.Ait-Kadi, La fiabilité des Systèmes, Notes de cours, département, Génie mécanique, Université LAVAL, 2000
- [34] E. E. Lewis, (1987), Introduction to Reliability Engineering, John Wiley & Sons, NewYork.
- [35] Hoc.JM.Rogalski, Régulation des activités cognitives et gestion du risque par l'opérateur humain, In les nouvelles rationalisations de la production .G. De Terssac et P. Dubois (Eds), Toulouse : Cépaduès Ed, 1992.p.147-167.
- [36] S.Orgalea, Rapport d'activité du projet, Organiser les ressources et gérer les Aléas, lyon: ECT -université lumière lyon2, Avril 96 .149p.
- [37] Norme cromo RENAULT E 4150505: Temps d'états et indicateurs de suivis des performances des moyens de production.
- [38] P, Lyonnais, Maintenance mathématique et méthode, Troisième édition, technique et édition Lavoisier, France, 1992.
- [39]Hédi Kaffel, La maintenance distribuée: Concept, évaluation et Mise en œuvre,Thèse Présentée À la Faculté des études supérieures de l'Université Laval pour l'obtention du grade de Philosophiæ Doctor (Ph.D.)Département de génie mécanique Faculté des sciences et de génie Université Laval Québec Octobre 2001.
- [40] A. H. C. Tsang, A. K. S Jardine et H, Kolodny ,Measuring maintenance performance: a holistic approach, International Journal of Operations and Production Management, Vol. 19, No. 7, pp. 691-715, 1999.
- [41] J. P, Vernier, La fonction maintenance, dans technique de l'ingénieur, traité génie industriel, pp. A 8 300-1, A 8 300-15, 1998.
- [42]M.Ben-Daya et A. S.Alghamdi, On an imperfect preventive maintenance model, International Journal of Quality and Reliability Management, Vol. 17, No. 6, pp. 661-670, 2000.

- [43] A. K. S. Jardine, T. Joseph et D. Banjevic, Optimizing condition-based maintenance decisions for equipment subject to vibration monitoring, *Journal of Quality in Maintenance Engineering*; Vol. 5, No. 3, pp. 192-202, 1999.
- [44] U. D. Kumar, New trends in aircraft reliability and maintenance measures, *Journal of Quality in Maintenance Engineering*; Vol. 5, No. 4, pp. 287-295, 1999.
- [45] S. Nakajima, *La maintenance productive Totale: Mise en oeuvre*, AFNOR, 1989.
- [46] S. Nakajima, *La maintenance productive totale (TPM), nouvelle vague de la production Industrielle*, AFNOR, Gestion, 1987.
- [47] G. Zwingelstein, *La maintenance basée sur la fiabilité*, HERMES, Paris, 1996.
- [48] J.C. Francastel, *la fonction maintenance de l'expression à la satisfaction du besoin* Edition AFNOR 1999.
- [49] B. Al-Najjar, et L. Alsyof, Improving effectiveness of manufacturing systems using total quality maintenance, *Integrated Manufacturing Systems*, Vol. 11, No. 4, pp. 267-276, 2000.
- [50] M. Malcolm, *Plant Maintenance. A New Direction*, Process and Control engineering, PACE, Vol. 46, No. 9, pp. 20-22, septembre 1993.
- [51] R. Wheaton, *Reliability-Based Maintenance Requires Mill Culture Change*, *Pulp and Paper*, pp. 53-61, July 1996.
- [52] A. Tahan, C. Valderrama, H. Duran, *Manuel : TPM – Total Productive Maintenance*, 1<sup>ère</sup> édition : 1 octobre 1998.
- [53] C. Barbier, R. Dapère, C. Huber, *Le zéro-panne par la topomaintenance : la TPM à la française*, Maxima.- [Paris] : diffusion Presses universitaires de France, c1993.

### **Documentation**

AFNOR, Recueil des normes françaises X 60- 06, X 60-015, X 60-010, Afnor 1993  
La norme française NF EN13306

## GLOSSAIRE

A (t) : La disponibilité (Availability)

R (t) : La Fiabilité R : (*Reliability*)

M (t) : La maintenabilité : (Maintainability)

$\lambda$  (t) : Le Taux de défaillance

MTA = La moyenne des temps d'attente (Manque PR, Confection etc...)

MDT : (Mean Down Time) = Temps moyen d'indisponibilité = MTTR + MTA

MTTR : ( Mean Time to Repair) = temps moyen de réparation

MUT : ( Mean Up Time) = temps moyen de bon fonctionnement (après réparation)

MTBF : ( Mean Time Between Failure) = temps moyen entre deux défaillances,  
MTBF = MDT + MUT

MTTF: (Mean Time To Failure) : temps moyen de bon fonctionnement avant la première défaillance.

Taux de disponibilité : Disponibilité intrinsèque =  $MTBF / (MTTR + MTBF)$

Disponibilité Opérationnel =  $MTBF / (MDT + MTBF)$

$\lambda$ : taux de défaillance =  $1/MTBF$  , taux de réparation  $MU = 1/ MTTR$

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

CFI: Centre des Frais Interne.

5S: (Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu, Shitsuke) en français (Débarrasser, Ranger, Nettoyer, Standardiser, self discipline).

PM : Préventive maintenance

P5M :Phénomène-Mécanisme,

5M (Méthodes, Matériel, Matière, Milieu et Main d'œuvre)

JIPM : Japan Institut of Plant Maintenance (Institut japonais de maintenance usine)

"Arcelor Desvres fait partie d'ARCELOR ATLANTIQUE ET LORRAINE, la Branche Produits Plats Carbone du Groupe Arcelor. Il participe à la fabrication d'aciers plats au carbone revêtus. Il s'occupe de la galvanisation de d'acier."

Arcelor provient de la fusion de trois grands groupes sidérurgiques : le luxembourgeois ARBED, l'espagnol ACERALIA et le français USINOR. Cette fusion a donné naissance, le 12 décembre 2002, au plus grand groupe sidérurgique au monde.

Le site de Desvres est certifié selon les normes : ISO 9001/2000 pour son Système de Management de la qualité, 14001 pour l'efficacité de son Système de Management de l'Environnement et TS 16949 pour répondre aux exigences des constructeurs automobile.

CATERPILLAR France S.A.S. appartient au groupe CATERPILLAR Inc., premier constructeur mondial d'engins de terrassement, de travaux publics et de manutention ;

PYLE plasturgie est une PME En France et dont le cœur de métier est la conception et la réalisation d'outillages, la fabrication de pièces plastiques destinées principalement à l'automobile et l'électroménager.

## Résumé :

Les entreprises doivent maintenir l'outil de production en bon état et réduire, à la fois, la fréquence et la durée des interruptions accidentelles du service,

Pour prévenir aux pertes de performance du processus, c'est mettre en place un système de gestion de la maintenance capable d'augmenter la disponibilité des équipements, et garantir la performance d'un poste de travail.

Cette recherche a débouché sur plusieurs contributions intéressantes dans le domaine de la maintenance, et a introduit une nouvelle vision qui permet de contribuer à la compétitivité des entreprises indépendamment de leur taille.

On a débuté notre travail, par l'étude des différents facteurs qui agissent sur la performance opérationnels des machines industrielles que se soit les méthodes ou outils, puis on a fait l'application de trois approches des méthodes de gestion de maintenance.

**L'optimisation** de la maintenance par l'AMDEC, Cette approche nous permet de classer les causes selon les effets qu'elles génèrent et de déduire les priorités d'actions à mener.

**La MBF** (maintenance basée sur la fiabilité) est un véritable outil de conception de la maintenance préventive. , ayant pour but la sûreté de fonctionnement et la sécurité des moyens de production en tenant compte des aspects économiques.

**La TPM** (Total Productive Maintenance) C'est une approche d'amélioration de la productivité globale de l'appareil de production par une meilleure implication de tous les personnels de l'entreprise dans la fonction maintenance.

Les indicateurs de performance constituent des représentations privilégiées pour la prise de décision par anticipation.

Le principal indicateur de la TPM est le TRS (taux de rendement synthétique) qui intègre plusieurs facteurs indiquant le fonctionnement global d'un équipement, nous permet de déterminer l'efficacité d'un moyen de production.

Les stratégies mises au point peuvent s'appliquer avantageusement dans tous les secteurs industriels.

**Mots clés** : Maintenance, Performance, Optimisation, AMDEC, MBF, Coûts, TPM, TRS.

## Abstract:

The companies should maintain the production equipment in good condition and reduce the frequency and the duration of the service accidental interruptions at the same time. In order to prevent the process performance loss, it is to set up a maintenance management system able to increase the equipment availability, and to guarantee the workstation performance.

This search led to several interesting contributions in the field of maintenance, and introduced a new vision which makes it possible to contribute to competitiveness companies independently of their size.

The work has began by the study of the various factors which act on the performance operational of the industrial machines that is the methods or tools, then the three approaches of the maintenance management methods were applied.

**The optimization** of maintenance by the AMDEC is an approach which enables us to classify the causes according to effects' which they generate and to deduce the actions priorities to be carried out.

**The RBM** (reliability-based maintenance) is a genuine design tool of the preventive maintenance, having for goal the reliability and the security of the production means taking into account the economic aspects.

**La TPM** (Total Productive Maintenance) it is an improvement approach of the total productivity of the of production system by a better implication of all the company personnel in the function maintenance.

The performance indicators constitute privileged representations for the decision-making by anticipation.

The main indicator of the TPM is the OEE (Overall Equipment Effectiveness) which integrates several factors indicating the total equipment operation, has led to determine the efficiency of a production means.

The strategies developed here can be applied advantageously in all industrial sectors.

**Key words:** Maintenance, Performance, Optimization, AMDEC, *RBM*, *Costs*, TPM, OEE.

## ملخص

المحافظة على أداة الإنتاج في حالة جيدة و في نفس الوقت خفض كل من تواتر ومدة التوقف الفجائي لوسائل الإنتاج، هي الاهتمام الرئيسي لكل شركة إنتاجية.

ولمنع وقوع خسائر في الأداء للعملية الإنتاجية وجب وضع نظام تسيير للصيانة قادر على زيادة توافر المعدات، وضمان أداء جيد لمنصب العمل.

هذا البحث يأتي ضمن العديد من المساهمات التي اهتمت بتطوير الصيانة، وعرض رؤية جديدة يمكن أن تسهم في القدرة التنافسية للمؤسسات بغض النظر عن حجمها.

بدأنا عملنا من خلال دراسة العوامل المختلفة التي تؤثر على الأداء التشغيلي للمعدات الصناعية سواء أساليب أو أدوات ، ثم قمنا بتطبيق ثلاث طرق لنظام الصيانة.

1-الأداء الأمثل للصيانة بواسطة التحليل الوظيفي لأشكال التخطئ ، هذه الطريقة تسمح لنا بتصنيف الأسباب حسب آثار التوقف التي تظهر على الآلة و من ثم أولويات التدخل.

2-الصيانة على أساس الموثوقية هي طريقة لبرمجة الصيانة الوقائية بهدف الموثوقية والأمن مع مراعاة الجوانب الاقتصادية.

3- الصيانة الإنتاجية وهي طريقة لتحسين الإنتاجية بمشاركة جميع العمال من الشركة في عملية الصيانة.

مؤشرات الأداء تشكل أداة مثلى لدى صانع القرار في المؤسسة والمؤشر الرئيسي لهذا النوع من الصيانة هو TRS (الغلة الصناعية) الذي يشمل عدة عوامل تشير إلى مجمل أداء المعدات ، ونستطيع بواسطته تحديد كفاءة وسائل الإنتاج.

خاصية الاستراتيجيات التي طبقت يمكن تعميمها على جميع القطاعات الصناعية.

الكلمات الرئيسية : الصيانة ، الأداء الأمثل ، تكاليف ، الصيانة على أساس الموثوقية، الصيانة الإنتاجية