

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE**  
**SCIENTIFIQUE**  
**UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA BOUMERDES**



**Faculté De Technologie**  
**Département Génie Mécanique**

## **Mémoire de Master**

En vue de l'obtention du diplôme de **MASTER** en :

**Filière : Electromécanique**

**Spécialité : Maintenance industrielle**

### **THEME**

**Etude de fiabilité d'une machine à mouler GP4**

Présenté par :

**ATTOU OUSSAMA**

BOUAMRANE Med Said	MCB UMBB	<b>Examineur</b>
ATMANI Douria	MCB UMBB	<b>Examineur</b>
AKNOUCHE Hamid	Professeur	<b>Promoteur</b>
RAHEM Ali	Ingénieur	<b>Encadreur</b>

**Promotion 2022- 2023**

## Résumé

Ce mémoire présente une étude approfondie de la fiabilité et de la disponibilité d'une machine à mouler, en soulignant les aspects généraux de la maintenance. Nous explorons les principes fondamentaux de la maintenance, analyse la fiabilité de la machine à travers des méthodes statistiques et évalue sa disponibilité en considérant différents paramètres. Les résultats de cette étude fournissent des informations précieuses pour connaître l'état et les performances de la machine et optimiser sa maintenance.

Mots clé : Maintenance, fiabilité, Weibul, Pareto, GP4 , fonderie,

## ملخص

تقدم هذه الأطروحة دراسة متعمقة لموثوقية وتوافر آلة القولبة ، مع تسليط الضوء على الجوانب العامة للصيانة . نستكشف المبادئ الأساسية للصيانة ، ونحلل موثوقية الآلة من خلال الأساليب الإحصائية ونقيم مدى توفرها من خلال النظر في المعلمات المختلفة . توفر نتائج هذه الدراسة معلومات قيمة لمعرفة حالة الماكينة وأدائها وتحسين صيانتها

## Summary

This thesis presents an in-depth study of the reliability and availability of a molding machine, emphasizing the general aspects of maintenance. we explore the fundamental principles of maintenance, analyze the reliability of the machine through statistical methods and evaluate its availability by considering different parameters. The results of this study provide valuable information for knowing the condition and performance of the machine and optimizing its maintenance.

## **Remerciements**

Je tiens tout d'abord à exprimer ma gratitude envers toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire sur l'étude de la fiabilité et de la disponibilité d'une machine à mouler en mettant l'accent sur les aspects généraux de la maintenance.

Je souhaite remercier sincèrement mon directeur de mémoire, Mr AKNOUCHE, pour son soutien constant, ses conseils éclairés et son expertise précieuse tout au long de ce projet. Sa disponibilité et son engagement ont grandement enrichi cette étude et ont été d'une aide précieuse dans ma compréhension des concepts de maintenance.

J'exprime également ma gratitude envers l'équipe du SNVI groupe fonderie pour leur collaboration et leur coopération tout au long de cette étude. Leur expertise et leur partage d'expériences ont été inestimables pour approfondir ma compréhension de la machine à mouler et de ses enjeux en termes de fiabilité et de disponibilité.

Mes remerciements s'adressent également à tous les participants qui ont généreusement partagé leurs connaissances et leurs informations pour cette étude. Leurs contributions ont été essentielles pour l'analyse des données et la validation des résultats obtenus.

Je souhaite également remercier mes proches, ma famille et mes amis, pour leur soutien indéfectible tout au long de cette aventure. Leurs encouragements et leur compréhension ont été une source de motivation constante.

Enfin, je tiens à exprimer ma reconnaissance envers l'institution dans laquelle j'ai effectué cette recherche, pour m'avoir offert l'environnement propice à l'apprentissage et à l'exploration des connaissances.

Merci du fond du cœur.

## **Dédicaces**

Je dédie ce mémoire à mes parents, qui m'ont toujours soutenu dans mes études et ont été une source constante d'encouragement. Votre amour, votre soutien inconditionnel et vos sacrifices ont été les piliers de ma réussite académique.

Je dédie également ce mémoire à mon directeur de mémoire, Mr AKNOUCHE Hamid, pour sa patience, sa disponibilité et ses conseils avisés. Votre expertise et votre soutien tout au long de ce projet ont été d'une valeur inestimable.

Je souhaite également dédier ce mémoire à mes amis et à ma famille, qui ont toujours cru en moi et m'ont encouragé à donner le meilleur de moi-même. Vos encouragements et vos mots d'encouragement ont été une source de motivation continue.

Enfin, je dédie ce mémoire à tous ceux qui ont participé à cette étude en partageant leurs connaissances, en fournissant des données ou en offrant leur soutien. Votre contribution a été essentielle pour la réalisation de ce travail de recherche.

Que cette dédicace témoigne de ma reconnaissance envers chacun d'entre vous. Votre présence dans ma vie a été précieuse et je vous en suis profondément reconnaissant.

*ATTOU OUSSAMA*

## SOMMAIRE

Résumé .....	I
Remerciements.....	II
Dédicaces .....	III
Introduction générale .....	1

### CHAPITRE I : Généralités sur la maintenance

Introduction.....	4
I.1Présentation de l’entreprise SNVI.....	4
I.2 Statut et forme juridique.....	5
I.3 Le Groupe SNVI .....	5
I.3.1 La Société mère est composée ci-après de structures suivantes.....	5
I.3.2 Les missions du Groupe S.N.V.I (Enterprise Nationale des Véhicules Industriels)...	6
I.3.3 Produits Finis fabriqués par SNVI .....	6
I.4 Les principales Filiales de la production de La SNVI.....	6
I.4.1 La Filiale des Fonderies de Rouïba (F.O. R).....	6
I.4.2 La Filiale Véhicules Industriels de Rouïba (V.I.R).....	6
I.4.3 La Filiale Carrosseries Industrielles de Rouïba et Tiaret (C.I.R et C.I.T).....	6
I.5Effectifs actifs de la SNVI.....	7
I.6 Organisation du Groupe SNVI.....	7
I.7 Présentation de la Fonderies Rouïba (FOR).....	9
I.7.1 Objectif de Production.....	9
I.7.2 Principales activités des fonderies FOR.....	10
I.7.3 Produits de la Filiale de Fonderies de Rouïba –SNVI .....	11
I.7.4 Capital humaine répartis par catégorie socioprofessionnelle .....	11
I.8 Organisation Dela Filialefor .....	13
I.9Généralité sur la maintenance .....	14
I.9.1 Les concepts de la maintenance .....	14
Définition.....	14
I.9.2 Le management de la maintenance .....	16
I.9.3 La politique de la maintenance.....	16
I.9.4 La stratégie de la maintenance .....	17

I.9.5 Les objectifs de la maintenance.....	17
➤ La fiabilité .....	19
➤ La Maintenabilité.....	19
➤ La disponibilité .....	20
B . L'économie et la rentabilité.....	21

## CHAPITRE II : Théorie sur la maintenance

Introduction.....	23
II. Lesopérations, les niveaux et les échelons de la maintenance .....	23
II.1.1 Les opérations de maintenance .....	23
• Les inspections .....	23
• Les visites.....	23
• Les contrôles .....	24
• Les dépannages .....	24
• Les réparations .....	25
• La révision .....	25
• La rénovation .....	25
• La reconstruction.....	25
• La modernisation.....	26
II.1.2 Les niveaux de maintenance .....	26
II.1.4 Les formes de maintenance et leur choix.....	30
A. Les formes de maintenance .....	30
B. Le choix de la forme de maintenance.....	32
C. Les types de la maintenance .....	36
1. La maintenance préventive.....	36
a) La maintenance systématique.....	38
• Les périodicités d'intervention.....	39
b) La maintenance conditionnelle .....	39
• Les différents modes de maintenance conditionnelle .....	41
• Les méthodes et les outils de maintenance conditionnelle.....	42
c) La maintenance prévisionnelle .....	43
2. La maintenance corrective.....	44
• Les opérations essentielles de la maintenance corrective .....	47

## CHAPITRE III : Audit et FMD de chantier de moulage

Introduction.....	49
III. 1Chantier automatique de moulage .....	49
III. 2Représentation de la GP4 .....	50
III.3 Synoptique général de la ligne GP4 .....	51
III. 4Etude de fiabilité par la loi de Pareto et Weibull.....	54
III.4.1 La loi de Pareto.....	54
A. Historique .....	54
B. Définition .....	55
C. Exemples généraux de la loi de Pareto .....	55
D. LesAvantages.....	55
E. La classification ABC de Pareto .....	56
F. Les types de courbes de Pareto.....	57
III.4.2 Analyse de la fiabilité par la loi Weibull .....	58
❖ Signification des paramètres du model de Weibull.....	60
❖ Estimation des paramètres de Weibull .....	61
III. 5Position du problème .....	63
III.5.1 Application de la loi de Pareto.....	63
Conclusion .....	66
III.5.2 Application du modèle de WEIBULL .....	66
Conclusion Générale .....	72
Bibliographie .....	73

## Liste des figures

### CHAPITRE I : Généralités sur la maintenance

Figure 1: SNVI .....	5
Figure 2: L'organigramme du groupe SNVI.....	7
Figure 3: Les produits SNVI .....	8
Figure 4: Fonderie rouiba .....	9
Figure 5: Pièces Brutes- (FOR) .....	11
Figure 6: Organigramme FOR.....	13
Figure 7: Deux groupes d'actions de la maintenance .....	15
Figure 8: Objectifs de la maintenance .....	19
Figure 9: Disponibilités intrinsèque et opérationnelle.....	20
Figure 10: Différents coûts de maintenance .....	21

### CHAPITRE II : Théorie sur la maintenance

Figure 11: Niveaux de maintenance et réalisation internalisée ou externalisée .....	29
Figure 12: Décomposition normalisée de la maintenance .....	30
Figure 13: Décomposition non normalisée de la maintenance .....	32
Figure 14: Formes de la maintenance (proposée hors normes) .....	32
Figure 15: Critères de choix des formes de maintenance .....	33
Figure 16: Relation entre incidences des formes de maintenance et leur choix .....	34
Figure 17: Choix des formes de maintenance en fonction du type de défaillance .....	35
Figure 18: Zone optimale de maintenance.....	36
Figure 19: Formes de maintenance préventive .....	37
Figure 20: les opérations de la maintenance systématique .....	39
Figure 21: Évolution de défaillance et de périodicités de contrôle.....	41
Figure 22: Moyens de contrôle de la maintenance conditionnelle .....	42
Figure 23:Schéma de la maintenance prévisionnelle 4.0 cognitive.....	43



Figure 24: Les deux composantes de la maintenance corrective.....	46
Figure 25: Processus de maintenance corrective .....	48

### **CHAPITRE III :Audit et FMD de chantier de moulage**

Figure 26: Schéma global de la ligne de moulage GP4.....	51
Figure 27: Poste d'envoi châssis vides .....	52
Figure 28: la machine à mouler .....	53
Figure 29: La plaque modèle .....	53
Figure 30:(275) vérins d'égalisation (Serrage).....	53
Figure 31: Machine à défoncer .....	54
Figure 32: Pareto des valeurs des pièces stockées.....	57
Figure 33: Les deux classifications Pareto de la GSA.....	58
Figure 34: Courbe de défaillance.....	60
Figure 35: Signification des paramètres de weibull .....	61
Figure 36; Papier de Weibull .....	62
Figure 37: application de diagramme Pareto .....	66
Figure 38: Application graphique de zone à mouler.....	68
Figure 39: application graphique de zone découchage.....	70

## Liste des tableaux

Tableau 1: Effectifs de la Filiale FOR .....	11
Tableau 2: Différentes situations pour les coûts directs et indirects de maintenance .....	22
Tableau 3: Principaux objectifs et indicateurs de maintenance .....	22
Tableau 4: Les cinq niveaux de maintenance .....	29
Tableau 5: Échelons et niveaux de maintenance .....	30
Tableau 6: les zone et les postes .....	63
Tableau 7: Les sommes de TA .....	65
Tableau 8: Classement de TBF .....	67
Tableau 9: classement de TBF .....	69
Tableau 10 : les résultats obtenus .....	71

## Liste des équations

Équation III.1: fonction de densité de probabilité (PDF) de la loi Weibull à trois paramètres	58
Équation III.2: fonction de densité de probabilité (PDF) de la loi WEIBULL à deux paramètres.....	59
Équation III.3Loi de WEIBULL à un paramètre .....	59
Équation III.4 : Fonction de densité cumulative (CDF) de la distribution WEIBULL .....	59
Équation III.5 : fonction de fiabilité pour la distribution de WEIBULL à trois paramètres.....	59
Équation III.6: Taux de défaillance.....	60
Équation III.7 : La valeur de $F_i$ Si $N \geq 50$ .....	62
Équation III.8 : La valeur de $F_i$ Si $50 > N \geq 20$ .....	62
Équation III.9 : La valeur de $F_i$ Si $N < 20$ .....	63

## Liste des abréviations

$\eta$  : Paramètre d'échelle

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

$\beta$ : Paramètre de forme

$\gamma$ : Paramètre de position

**D** : disponibilité

**f (t)** : densité de probabilité

**F(t)** : fonction de défaillance

**GP4** : Machine à mouler grosses pièces ligne 4

**M (t)** : La maintenabilité : (Maintainability)

**MTBF** :Mean Time BetweenFailure) = temps moyen entre deux défaillances

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

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

**TBF** : temps de bon fonctionnement

**TTR** : temps de réparation

## Introduction générale

La fiabilité est un aspect crucial dans de nombreux domaines, tels que l'ingénierie, la gestion de la qualité et l'analyse des risques. Elle mesure la capacité d'un système ou d'un composant à fonctionner de manière satisfaisante sur une période donnée, sans défaillance. Dans le cadre de cette étude, nous examinerons deux méthodes couramment utilisées pour évaluer la fiabilité : la méthode Weibull et la méthode Pareto.

La méthode Weibull tire son nom du statisticien suédois Waloddi Weibull, qui a développé cette méthode dans les années 1950. Elle est largement utilisée pour modéliser les taux de défaillance des systèmes. La distribution de Weibull est souvent adaptée pour représenter les défaillances qui suivent un schéma de vie particulier, par exemple, une augmentation initiale du taux de défaillance avec le temps (défaillance précoce) suivie d'une diminution progressive (défaillance tardive). Cette méthode est fréquemment utilisée dans l'industrie pour prédire les taux de défaillance, planifier la maintenance préventive et prendre des décisions en matière de garantie.

D'autre part, la méthode Pareto, également connue sous le nom de loi de Pareto ou principe des 80/20, est basée sur l'observation empirique selon laquelle environ 80% des effets sont souvent causés par 20% des causes. Elle a été formulée par l'économiste italien Vilfredo Pareto au début du XXe siècle. Dans le contexte de la fiabilité, la méthode Pareto permet d'identifier et de hiérarchiser les causes principales des défaillances. En se concentrant sur ces causes principales, il est possible de prendre des mesures correctives ciblées pour améliorer la fiabilité d'un système.

L'objectif de cette étude est d'analyser la fiabilité d'un système spécifique en utilisant les méthodes Weibull et Pareto. Nous examinerons les données de défaillance disponibles et les ajusterons aux distributions correspondantes pour obtenir des estimations des taux de défaillance et des paramètres clés. Ensuite, nous utiliserons la méthode Pareto pour identifier les causes les plus significatives de défaillance et évaluer leur impact sur la fiabilité globale du système. Cette approche combinée nous permettra de mieux comprendre les modèles de défaillance, de prendre des décisions éclairées concernant la maintenance et d'améliorer la fiabilité du système étudié.

En résumé, cette étude vise à appliquer les méthodes Weibull et Pareto pour analyser la fiabilité d'un système spécifique. En utilisant la distribution de Weibull, nous modéliserons les taux de défaillance et évaluerons les paramètres clés, tandis que la méthode Pareto nous aidera

à identifier les causes principales de défaillance. Les résultats obtenus contribueront à améliorer la compréhension de la fiabilité du système et à formuler des recommandations pour renforcer sa performance et sa durabilité.

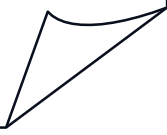
Cette étude réalisée aux ateliers de moulage de la SNVI se concentre sur l'évaluation de la fiabilité d'un groupe d'équipements en utilisant les méthodes Weibull et Pareto. La méthode Weibull, développée par Waloddi Weibull, permet de modéliser les taux de défaillance des équipements en prenant en compte leurs schémas de vie spécifiques. Elle est utilisée pour prédire les taux de défaillance, planifier la maintenance préventive et prendre des décisions en matière de garantie. D'autre part, la méthode Pareto, basée sur le principe des 80/20 formulé par Vilfredo Pareto, permet d'identifier et de hiérarchiser les équipements responsables des principales défaillances. En combinant ces deux méthodes, notre objectif est de mieux comprendre la fiabilité du système étudié et de formuler des recommandations pour renforcer sa performance et sa durabilité. Ce manuscrit est divisé en trois chapitres, qui sont résumés comme suit :

- Le premier chapitre de cette étude présente les concepts fondamentaux de la maintenance et leur pertinence dans le contexte du chantier de moulage de grands moules. Nous avons examiné les objectifs de la maintenance, les différents types de maintenance et leurs caractéristiques spécifiques. Nous avons souligné l'importance d'une stratégie de maintenance efficace pour assurer le bon fonctionnement et la durabilité des équipements utilisés dans le processus de moulage.
- Le deuxième chapitre de cette étude se concentre sur les différents aspects de maintenance spécifiques au chantier de moulage de grands moules. Nous explorons les niveaux de maintenance, tels que la maintenance préventive, corrective et prédictive, et expliquons leurs rôles respectifs. De plus, nous mettons en évidence les opérations de maintenance courantes, telles que l'inspection, la lubrification et le remplacement des pièces, qui jouent un rôle crucial dans le maintien de la performance et de la fiabilité des moules.
- Le troisième chapitre de cette étude se focalise sur le calcul de la fiabilité et de la disponibilité du chantier de moulage de grands moules. Une analyse par la méthode Pareto est réalisée pour orienter nos choix sur les équipements à considérer. Nous présenterons les méthodes et modèles statistiques utilisés pour évaluer la fiabilité des équipements, en tenant

compte des taux de défaillance et des temps de réparation. De plus, nous aborderons le calcul de la disponibilité en prenant en compte les temps d'arrêt planifiés et non planifiés. L'approche Pareto permettra d'optimiser la gestion des ressources de maintenance et de prendre des décisions basées sur les causes principales de défaillance.

# CHAPITRE I :

## Généralités sur la maintenance



## **Introduction**

La fiabilité et la disponibilité d'une ligne de moulage sont des aspects essentiels dans le domaine de la fabrication industrielle. Une ligne de moulage est un système complexe qui implique l'utilisation de machines, d'équipements et de processus interconnectés pour produire des pièces moulées de haute qualité. La fiabilité fait référence à la capacité du système à fonctionner sans défaillance pendant une période donnée, tandis que la disponibilité se réfère à la proportion de temps pendant laquelle le système est prêt à fonctionner.

L'étude de la fiabilité et de la disponibilité d'une ligne de moulage vise à évaluer la performance globale du système, à identifier les sources potentielles de défaillance et à mettre en place des mesures préventives pour minimiser les temps d'arrêt non planifiés. En comprenant les facteurs qui influencent la fiabilité et la disponibilité, les gestionnaires de la ligne de moulage peuvent prendre des décisions éclairées pour optimiser l'efficacité opérationnelle et améliorer la productivité.

Une ligne de moulage fiable et disponible présente de nombreux avantages pour une entreprise. Elle permet de réduire les coûts liés aux temps d'arrêt, aux réparations d'urgence et aux pertes de production. De plus, une ligne de moulage bien entretenue offre une meilleure qualité de production, ce qui peut améliorer la satisfaction des clients et renforcer la réputation de l'entreprise sur le marché.

### **I.1 Présentation de l'entreprise SNVI :**

L'Entreprise Nationale des Véhicules Industriels (SNVI), est une Entreprise Publique Economique constituée en société par actions depuis mai 1995, produit et commercialise des véhicules industriels.





**Figure 1: SNVI**

## **I.2 Statut et forme juridique**

La forme juridique est Entreprise Publique Economique, Société Par Actions (EPE, SPA).  
Capital social : 2.200.000.000 Dinars Algériens, entièrement détenu par l'Etat.  
Siège social : Zone Industrielle de Rouïba, Route nationale n° 5 BP153 Wilaya d'Alger.  
Organe de gestion : Conseil d'Administration avec un Président Directeur Général.

Activité principale : Le groupe SNVI "Entreprise Nationale des Véhicules Industriels", a pour vocation la conception, la fabrication, la commercialisation et le soutien après-vente d'une gamme de produits Fabriqués composée de :

- Camions et Camions Tracteurs.
- Autocars et autobus.
- Minicars et Minibus.
- Carrosseries Industrielles portées.
- Pièces en bruts de fonderie et Pièces Forgées.

## **I.3 Le Groupe SNVI**

### **I.3.1 La Société mère est composée ci-après de structures suivantes :**

- Directions Centrales.
- Direction Centrale Commerciale et son réseau.
- Divisions de Réalisation Véhicules Industriels.

- Direction centrale de la gestion des ressources humaines.

### **I.3.2 Les missions du Groupe S.N.V.I (Enterprise Nationale des Véhicules Industriels)**

Est la conception, la fabrication, la commercialisation et le soutien après-vente de sa gamme de production qu'est composée de :

- Camions et Camions Tracteurs.
- Autocars et autobus
- Carrosseries Industrielles.

La SNVI en relation avec le commerce externe a exporté ses produits vers la Tunisie, le Maroc, la Libye, le Liban, L'Irak, la Mauritanie, le Niger, le Mali, le Congo, le Sénégal et le Gabon.

### **I.3.3 Produits Finis fabriqués par SNVI**

- Les Camions porteurs.
- Les tracteurs routiers
- Les camions tout terrain.
- Les véhicules de transport de personne.
- Les carrosseries industrielles.

## **I.4 Les principales Filiales de la production de La SNVI**

### **I.4.1 La Filiale des Fonderies de Rouïba (F.O. R)**

Elle fabrique pour les structures de la SNVI, les sous-traitants et différents clients, des pièces brutes de fonderies, en fonte lamellaire et fonte sphéroïdale ainsi que des pièces en alliage d'aluminium.

### **I.4.2 La Filiale Véhicules Industriels de Rouïba (V.I.R)**

Elle fabrique des camions de 6,6 à 26 tonnes de poids total en charge, des tracteurs routiers, des autocars et des autobus en mettant en œuvre diverses techniques et technologies telles l'emboutissage, le taillage d'engrenages, la rectification, le forgeage et l'usinage des pièces mécaniques.

### **I.4.3 La Filiale Carrosseries Industrielles de Rouïba et Tiaret (C.I.R et C.I.T)**

La CIR fabrique des équipements tractés et portés ainsi que des caisses pour châssis mécanisés pour minibus et minicars.

La (C.I.T) : Est spécialisée dans la conception et la fabrication de carrosseries industrielles portés et tractés dans les gammes suivantes : Plateaux, Bennes, Citernes à eau, Citernes hydrocarbures, cocottes à ciment, Portes engins, Fourgons frigorifiques standards et véhicules spéciaux.

## I.5 Effectifs actifs de la SNVI

La S.N.V.I dispose d'un panel de travailleur très varié et spécialisé, d'où une compétence dans chaque secteur. Actuellement, l'effectif s'élève à 7300 travailleurs permanents répartis par catégorie socioprofessionnelle comme suit :

- 2900 cadres et maîtrise.
- 4400 agents d'exécution.

## I.6 Organisation du Groupe SNVI

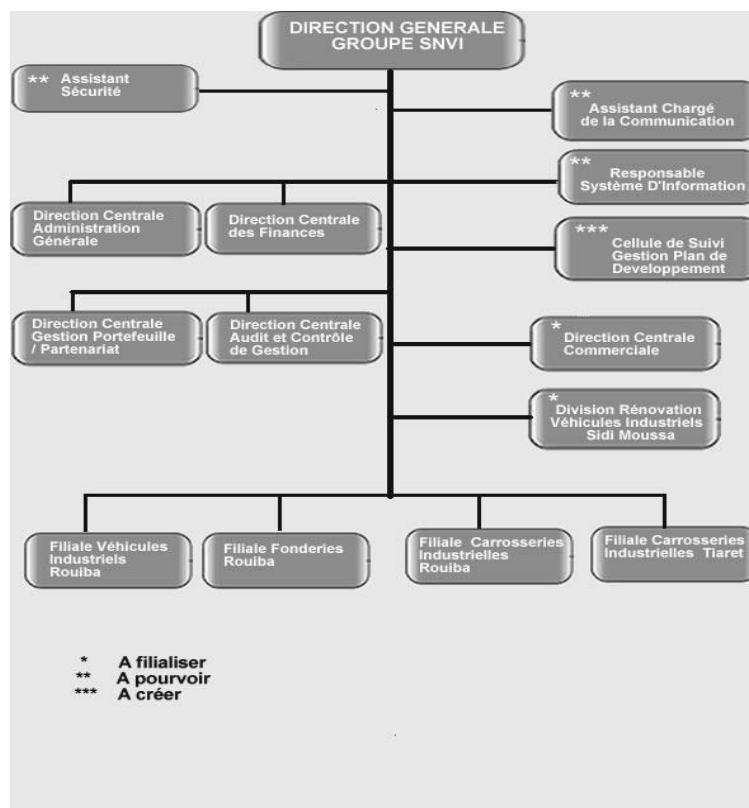


Figure 2: Organigramme du groupe SNVI



NOS PRODUITS

3. Les camions tout-terrains :



M 120 (4x4) de 10 t de PTC sur route et 8 t en hors route



M 230 (6x6) de 19 t de PTC sur route et 16 t en hors route



NOS PRODUITS

4. Les véhicules de transport de personnes :



Minicar 25L4 de 25 places, pour les exploitations en zone rurale.



Autocar SAFIR de 49 places, pour les grandes lignes.

Autobus 100 L6 de 100 passagers, à boîte de vitesses automatique pour les exploitations urbaines.



Figure 3: Les produits SNVI

**Important :** Comme nous avons effectué notre apprentissage ainsi que notre stage pratique de fin d'étude au sein de la filiale des fonderies de Rouïba SNVI(FOR), donc il se présente comme suit.

## I.7 Présentation de la Fonderies Rouïba (FOR)



**Figure 4: La Fonderies Rouïba**

Située à 10 mn de l'aéroport Houari Boumediene d'Alger et à 20 mn du port maritime d'Alger.

La filiale des Fonderies de Rouïba a été mise en exploitation le 1er janvier 1983 Bâtie sur un terrain de 60 hectares, la fonderie se compose de :

- Bâtiment principal de 27000 m<sup>2</sup>, sur deux niveaux pour une surface au sol de 17000 m<sup>2</sup>.
- Bâtiment fonderie aluminium d'une superficie de 3200 m<sup>2</sup>.
- Bâtiment entretien et modelage d'une superficie de 3200 m<sup>2</sup>.
- Bâtiment énergie d'une superficie de 1300 m<sup>2</sup>.
- Bâtiment stockage d'une superficie de 1300 m<sup>2</sup>.
- Bâtiment administratif d'une superficie de 1300 m<sup>2</sup>.
- Bâtiment unité traitement de sable (UTS) d'une superficie de 1300 m<sup>2</sup>.

### I.7.1 Objectif de Production

Après avoir réalisé son investissent lord et important (Rénovation de 90% de l'outil de production) période 2016 à 2018, la Filiale des fonderies de Rouïba prévoit l'augmentation de sa production jusqu'à 12000 Tonnes de pièces brutes de fonderie bonnes reparties en : Fonte (Fonte à graphite sphéroïdal et fonte à graphite lamellaire)

- Petites pièces : 2300 tonnes par an.
- Pièces moyennes : 5700 tonnes par an.



- Grosses pièces : 4000 tonnes par an.

Alliages d'aluminium (AS 10 G et AS 13) : actuellement FOR vise 50Tonnes /ans de pièces bonnes et 500 Tonnes /an après réalisation de l'investissement en cours.

### **I.7.2 Principales activités des fonderies FOR**

**Fusion** : Fonctionne avec 03 fours de fusion à induction magnétique la capacité nominale est de 10 Tonnes chacun, la température de Fusion est 1570°C.

**Sablerie** : Huit silos de stockage 3000 Tonnes de sable traité, un volant de sable de 250Tonnes, trois malaxeurs de 120 Tonnes/h chacun, trois séparateurs magnétiques.

**Moulage** : Deux lignes de moulage petites pièces ; cadence : 102 moules/h, une ligne de moulage pièces moyennes, cadence : 90moules/h et une ligne de moulage grosse pièces ; cadence : 9à 20moules/h.

#### **Noyautage :**

1. Noyau de silicate de soude : 10 machines à noyauter, deux malaxeurs capacité 04T/h chacun.

2. Noyau chronique :06 machines SHALCO avec une station de pré enrobage de 04Tonnes/h.

**Parachèvement** : Traitementthermique,un four de fertilisation sa capacité est de 13T/cycle et d'une montée en température jusqu'à 1100°C, Four de trempe Sa capacité 3 T/cycle, et d'une montée en température jusqu'à 1200°C et un four de revenu de même capacité et d'une montée en température jusqu'à Température de revenu 800°C.

**Dessablage & Décalaminage** : Deux grenailleuses à cabine l, deux Grenailleuses à tapis métalliques et grenailleuse à lance.

**Contrôle final** : Les pièces subissent un contrôle d'aspect, un contrôle dimensionnel, un contrôle destructif et non destructif et contrôle d'essais mécaniques, métallographique et chimique.

**Traitement de surface** : Toutes les pièces sont peintes d'une couche protectrice contre la corrosion soit au pistolet soit par trempe dans un bain.

Pour le bon déroulement de la production, les structures techniques, maintenances ressources humaines et autre assurent le soutiennes aux services de la fabrication.

### I.7.3 Produits de la Filiale de Fonderies de Rouïba –SNVI



**Figure 5: Pièces Brutes- (FOR)**

### I.7.4 Capital humaine répartis par catégorie socioprofessionnelle

Effectif inscrit =873p

Effectif actif =758p

Effectif permanent= 778

Effectif non permanent =95

**Tableau 1: Effectifs de la Filiale FOR**

GROUPE EMPLOI DE BASE	QUALIFICATION	INSCRIT
EXECUTION FILIERE ATELIER	MANŒUVRE	3
	O.S	53
	O.Q	14
	O.P	223
	O.P.H.Q	119
SOUS TOTAL (01)		<u>412</u>

*CHAPITRE I : Généralités sur la maintenance*

EXECUTION FILIERE TECHNICO-ADM.	EMP NON QUALIF AG SECURITE.	24
	CHAUFFEUR	12
	EMP QUAL	4
	SECRETAIRE	5
	ASSISTANT.	2
	.COMPTABLE	0
	AGENT TECHNIQUE	3
SOUS TOTAL (02)		<u>50</u>
MAITRISE ATELIER	CHEF D'EQUIPE	7
	TECH.SUPERIEUR	80
	CONTRE-MAITRE	40
	TECHNICIEN - ATELIER	98
SOUS TOTAL (03)		<u>225</u>
MAITRISE TECHNIQUE	TECHNICIEN	7
	TECH.SUPERIEUR	4
SOUS TOTAL (04)		<u>11</u>
MAITRISE ADMINISTRATIVE	TECHNICIEN	4
	TECH.SUPERIEUR	23
	CHEF DE SECTION	7
SOUS TOTAL (05)		<u>34</u>
CADRES	CADRE NON HIER	71
	CHEF D'ATELIER	11
	CHEF DE SERVICE	29
SOUS TOTAL (06)		<u>111</u>
CADRES SUPERIEURS	CHEF DEPT	17
	CADRE SUPERIEURE. ASSISTANT	4
	MEDECIN	2
	DIRECTEUR	5
SOUS TOTAL (07)		<u>28</u>



CADRES DIREGEANTS (08)	DIRECTEUR	<u>2</u>
TOTAL GENERAL (1 à 8)		873

## I.8 Organisation De la Filiale for

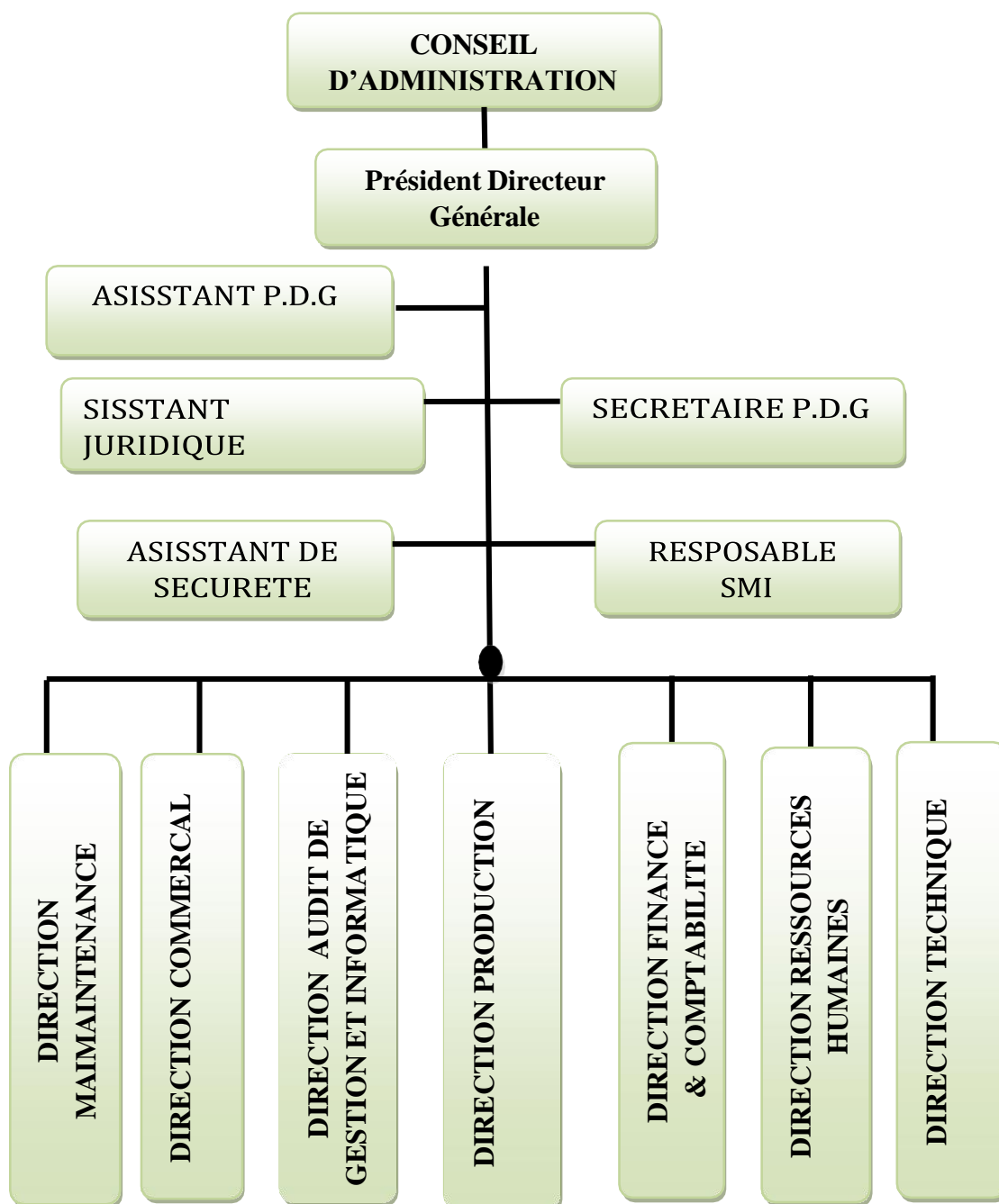


Figure 6: Organigramme FOR

## **I.9 Généralité sur la maintenance**

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 la fonction requise (norme NF EN 13306). Il est à noter que, dans cette définition, la maintenance ne consiste pas uniquement en des actions techniques (nettoyage, graissage et lubrification, échange de pièces, resserrage, réglage, etc.), elle nécessite aussi des actions de management (gestion des stocks de rechanges, préparation, ordonnancement et lancement, méthodes, comptabilité, gestion du retour d'expérience, formation, etc.). Les unes ne peuvent conduire à une maintenance efficiente sans les autres. En effet, même si l'on dispose d'une équipe d'intervenants des plus compétentes et si, en revanche, on ne dispose pas de pièces de rechange à la suite d'une omission ou d'une erreur de gestion des stocks et des approvisionnements, la durée d'intervention est allongée outre mesure, ce qui entraîne des pertes financières pouvant être très importantes. Le résultat global de la maintenance est alors fort mauvais

De plus, il apparaît clairement que « maintenir » vient avant « rétablir », ce qui indique que la maintenance préventive est à privilégier par rapport à la maintenance corrective. [1]

### **I.9.1 Les concepts de la maintenance**

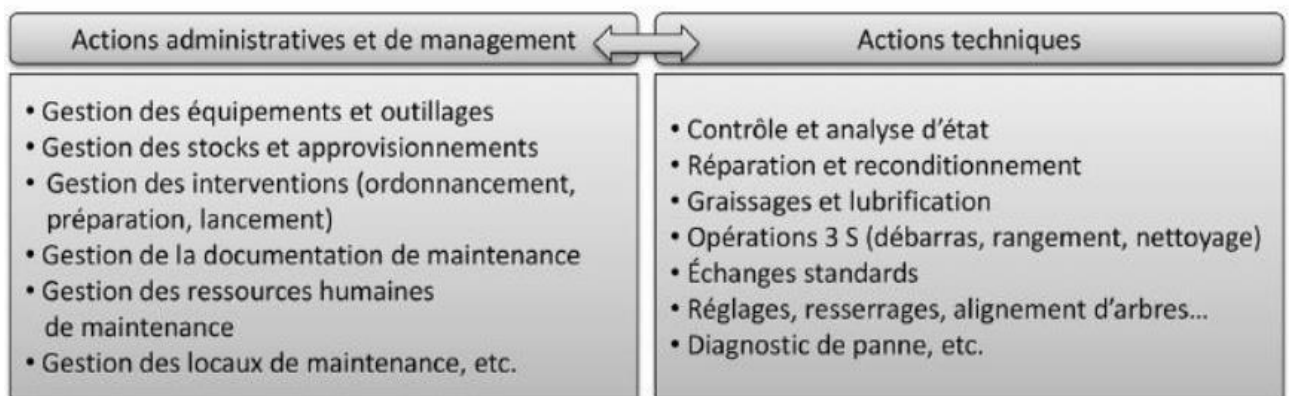
#### **Définition**

Ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise (norme NF EN 13306).

Selon cette définition, la maintenance consiste en deux types principaux d'actions :

- **Les actions techniques** : réparations, échanges standards, graissage et lubrification, serrages, nettoyages, rangements, contrôles et analyses non destructifs, réglages, reconditionnements, peinture, etc.
- **Les actions administratives et de management** : planification, lancement, préparation, élaboration et analyse de tableau de bord, gestion des stocks et approvisionnements, etc.

La maintenance n'est donc pas seulement restreinte à des interventions techniques. Elle nécessite aussi des actions d'organisation et de gestion sans lesquelles elle ne serait pas efficiente. En effet, si l'on dispose d'une équipe d'intervenants très compétente en matière d'intervention technique, mais si l'on ne dispose pas de pièces de rechange en raison d'une négligence administrative ou d'une erreur de gestion des stocks et des approvisionnements, le temps d'arrêt de la machine se trouve allongé outre mesure, ce qui peut engendrer des coûts d'indisponibilité fort élevés. Le résultat de la maintenance serait globalement mauvais bien que sur le plan technique, les intervenants soient des orfèvres. De même, si l'organisation et la gestion sont parfaitement maîtrisées, mais que les intervenants sont incompetents techniquement ou qu'ils ne disposent pas des outillages requis, le résultat serait également mauvais. Il faut donc conduire avec rigueur les deux volets de la maintenance : celui de la technique et celui de l'organisation et de la gestion.



**Figure 7: Deux groupes d'actions de la maintenance**

En outre, il convient de relever que dans la définition :

- Maintenir implique la notion de prévention tandis que rétablir induit plutôt la réparation après défaillance. Les deux modes principaux de maintenance, le préventif et le correctif, sont déclinés dans cette définition ;
- En outre, la prévention vient en premier, ce qui montre que la maintenance préventive doit être préférée, a priori, à la corrective pour les avantages indéniables qu'elle présente aussi bien sur le plan technique que sur le plan économique comme cela sera démontré plus loin
- L'état spécifié peut être :
  - L'état initial avant défaillance ou l'état nominal du bien tel qu'il a été conçu et fabriqué,

- L'état demandé par l'utilisateur selon ce qu'exigent ses applications ;
- Être en mesure d'assurer un service déterminé signifie que l'équipement, ayant fait l'objet d'une maintenance, doit être prêt à assurer ses fonctions même si, après l'intervention, il n'est pas utilisé immédiatement. Il est cependant en état de disponibilité pour fonctionner.

Il importe de noter que la définition de la norme ignore la notion de coût qui est l'un des objectifs majeurs de la maintenance. En effet, celle-ci doit être réalisée au coût global minimal. Le coût global ou Life Cycle Cost (LCC) est composé du coût d'acquisition de l'équipement ainsi que des coûts de maintenance (directs et indirects) et d'exploitation. En somme, il inclut toutes les dépenses et pertes générées par l'équipement sur une période donnée. La définition ignore aussi la notion importante d'amélioration continue qui est désormais présente comme exigence dans la plupart des normes. En effet, la maintenance ne consiste pas uniquement à maintenir ou rétablir l'entité considérée, elle consiste aussi à l'améliorer pour une meilleure efficacité.

### **I.9.2 Le management de la maintenance**

Il s'agit de toutes les activités des instances de direction, qui déterminent les objectifs, la stratégie et les responsabilités concernant la maintenance et qui les mettent en application par des moyens tels que la planification, la maîtrise et le contrôle de la maintenance, l'amélioration des méthodes dans l'entreprise, y compris dans les aspects économiques (norme NF EN 13306).

### **I.9.3 La politique de la maintenance**

La politique de maintenance consiste à fixer les orientations ( méthode, programme, budget, etc.) dans le cadre des objectifs fixés par la direction de l'entreprise. La politique de maintenance conduit, en particulier, à faire des choix entre :

- Maintenance préventive et/ou corrective, systématique ou conditionnelle.
- Maintenance internalisée et/ou externalisée.
- Politiques d'approvisionnement en pièces de rechange.

Elle consiste aussi à mener les actions suivantes :

- Développement des ressources humaines.

- Management qualité de la fonction maintenance.
- Élaboration d'un système de management de la sécurité, etc.

#### **I.9.4 La stratégie de la maintenance :**

Il s'agit d'une méthode de management utilisée en vue d'atteindre les objectifs de maintenance (norme NF EN 13306). La stratégie de maintenance, qui résulte de la politique de maintenance, impose des choix pour atteindre, voire dépasser les objectifs fixés.

Elle implique de mener des actions telles que :

- Développer, adapter ou mettre en place des méthodes de maintenance.
- Élaborer et optimiser les gammes de maintenance.
- Établir les standards de travail.
- Définir les méthodes et les moyens de sécurité.
- Établir des flux d'informations (Flowcharts).
- Organiser les équipes de maintenance.
- Gérer les stocks et les optimiser.
- Gérer les ressources humaines de la maintenance : sélection, recrutement, formation, communication, motivation, etc.

Les formes de maintenance (corrective, systématique, conditionnelle, routine, améliorative) peuvent être considérées comme des stratégies de maintenance.

#### **I.9.5 Les objectifs de la maintenance**

Les objectifs sont les buts fixés et acceptés pour les activités de maintenance (norme NF EN 13306).

## *CHAPITRE I : Généralités sur la maintenance*

Un objectif peut être énoncé comme suit : Réduire le taux de pannes de 30 % à la fin de l'année xxxx. Il doit donc indiquer le but et le temps pour l'atteindre. Les objectifs doivent être négociés afin de recueillir l'aval et l'adhésion de toutes les parties concernées. Des objectifs non acceptés connaîtront de grandes difficultés dans leur réalisation. En effet, on estime que le résultat d'une action est comme suit :

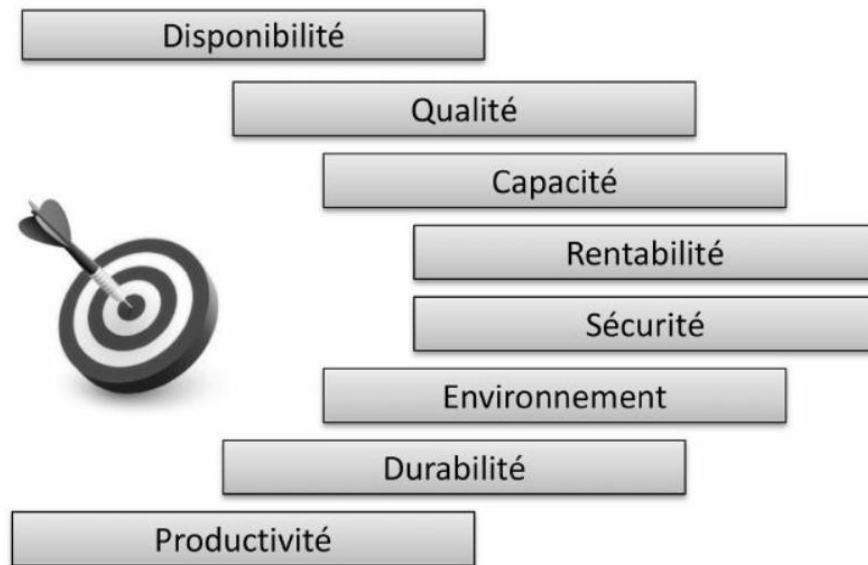
Résultat = Objectif x Adhésion ou encore Résultat = Action x Adhésion.

Si l'objectif est excellent ou que l'action préconisée pour l'atteindre est à 100 % et si l'adhésion est à 50 % seulement, le résultat sera lui aussi à 100 %. Il y a donc nécessité de négociation et d'acceptation des objectifs. Ces objectifs doivent être SMART (Spécifiques, Mesurables, Accessibles, Réalistes, Temporels) :

- Spécifique : l'objectif doit être pertinent par rapport à l'action à laquelle il se rapporte. Il doit lui être intimement lié ;
- Mesurable : l'objectif est un but. Aussi est-il nécessaire de le quantifier afin de mesurer, après action, s'il a pu être atteint ;
- Atteignable : l'objectif doit être négocié et partagé par les participants (agreed upon), sa faisabilité est confirmée et il doit être orienté « Action » (action-oriented) ;
- Réaliste l'objectif doit être ambitieux certes, mais il doit être réaliste afin d'avoir des chances d'être atteint et afin de ne pas démotiver les acteurs par des objectifs qui ne sont jamais atteints car utopiques ;
- Temporellement défini : l'objectif doit avoir une date butoir pour son atteinte. On ne peut énoncer un objectif sans limite temporelle car cela inciterait à la démobilisation.

Comme cela est défini dans la norme NF EN 13306, la maintenance est l'ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destiné à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise.

Partant de cette définition, les objectifs de la maintenance s'avèrent fort nombreux. Néanmoins, ils peuvent être groupés en huit. (Figure 8)



**Figure 8: Objectifs de la maintenance**

### **A- La disponibilité**

Définition : C'est l'aptitude d'un bien à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données, à un instant donné ou durant un intervalle de temps donné, en supposant que la fourniture des moyens extérieurs nécessaires est assurée (norme NF EN 13306).

Cette aptitude dépend de la combinaison de la fiabilité, de la maintenabilité et de la logistique de maintenance. Les moyens extérieurs nécessaires autres que la logistique de maintenance n'affecte pas la disponibilité du bien (norme NF EN 13306).

#### ➤ **La fiabilité :**

Définition : Aptitude d'un bien à accomplir une fonction requise dans des conditions d'utilisation données durant un intervalle de temps donné (norme NF EN 13306).

Les indicateurs de fiabilité utilisés sont :

- Le MTBF : Mean Time Between Failures (temps moyen entre deux pannes successives);
- La fonction fiabilité  $R(T)$  : probabilité de non-panne entre 0 et T ;
- Le facteur b indique la zone de vie de l'entité (jeunesse, normale ou vieillesse).

#### ➤ **La Maintenabilité :**

Définition : Dans les conditions d'utilisation données d'utilisation, aptitude d'un bien à être maintenu ou rétabli dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise, lorsque

la maintenance est accomplie dans des conditions données en utilisant les procédures et les moyens prescrits (norme NF EN 13306).

Les indicateurs de maintenabilité utilisés sont :

- Le MTTR : Mean Time To Repair (temps moyen de remise en état après panne) ;
- La fonction fiabilité  $M(T)$  : probabilité de réparation entre 0 et T.

➤ **La disponibilité**

Il est à souligner qu'on ne cherche pas à avoir une disponibilité maximale, mais plutôt une disponibilité optimale, c'est-à-dire qui convient pour la réalisation du programme de production mais au moindre coût.

L'indicateur de la disponibilité est le suivant :

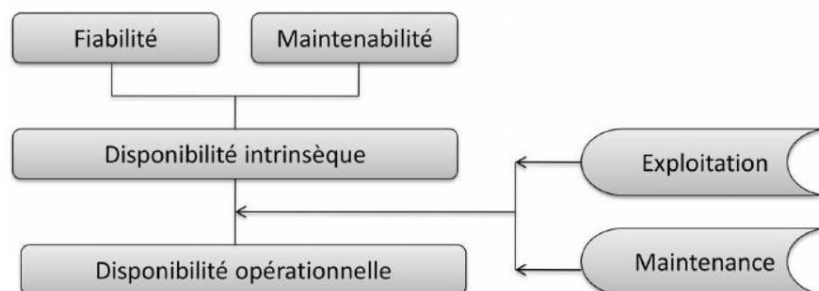
$$A = \text{MUT} / (\text{MUT} + \text{MDT}) = \text{UT} / (\text{MUT} + \text{MTTR} + \text{MWT}) = \text{MTBF} / (\text{MTBF} + \text{MTTR} + \text{MWT})$$

MUT : Mean Up Time (temps moyen de bon fonctionnement).

MDT : Mean Down Time (temps moyen d'arrêt).

MWT : MeanWaiting Time (temps moyen d'attente des 5 M).

L'objectif de la disponibilité sous-tend donc ceux de fiabilité, de maintenabilité, de logistique et d'utilisation. De façon globale, la maintenance cherche à garantir une disponibilité élevée, ce qui exige, par conséquent, une grande fiabilité, une bonne maintenabilité et une logistique efficace (Figure 9).



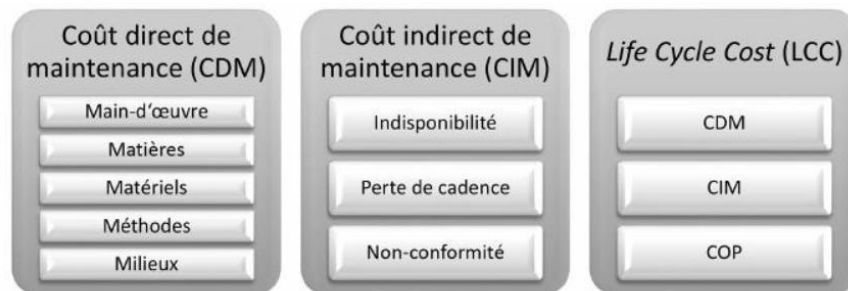
**Figure 9: Disponibilités intrinsèque et opérationnelle.**



## B . L'économie et la rentabilité

Un des objectifs majeurs de la maintenance, à l'instar d'autres fonctions de l'entreprise, est de dégager des économies et drainer des gains. Les économies apportées par la maintenance sont obtenues particulièrement grâce à :

- La réduction de la durée et du nombre de pannes.
- La réduction du nombre d'arrêts pour maintenance préventive.
- La réduction des pièces de rechange et fournitures de maintenance consommées.
- Une plus grande disponibilité des équipements, donc une plus grande production.
- Une capacité et une productivité constantes, voire améliorées un niveau de qualité maintenu sinon accru.
- Une sécurité assurée ainsi qu'une protection de l'environnement.



**Figure 10: Différents coûts de maintenance**

Il est évident que les deux coûts, direct et indirect, peuvent être interdépendants et dépendants aussi des politiques et stratégies de maintenance adoptées. En effet, un investissement en ressources humaines et leur formation, un investissement en rechange, outillages et en documentation permettent, en général, de réduire les pannes et leur durée et, partant, le coût indirect s'en trouve réduit. Dans certains cas, les deux coûts se trouvent réduits grâce à de bonne politique et stratégies de maintenance où les dépenses de maintenance et les pertes dues à l'indisponibilité de l'outil de production sont réduites de façon concomitante. Plusieurs cas peuvent être considérés (Tableau 2).

**Tableau 2: Différentes situations pour les coûts directs et indirects de maintenance**

CDM	CIM	Situation concernée
↑	↑	Maintenance non maîtrisée Beaucoup de pannes et longs temps d'arrêts
↓	↑	Mauvaises stratégies de maintenance centrées sur les dépenses Pas d'investissement dans les 5 M de maintenance
↑	↓	Maintenance centrée sur les résultats optimisée Investissement judicieux dans les 5 M de maintenance
↓	↓	Maintenance optimisée et maîtrisée Peu d'arrêts et peu de dépenses de maintenance

Un équipement est d'autant plus intéressant sur le plan de l'investissement que son LCC moyen, donc par unité de temps, est petit. Le LCC est un excellent indicateur économique. Il permet de choisir entre plusieurs alternatives (choix entre équipements, entre rechanges, entre stratégies de maintenance, etc.). Il permet aussi de déterminer l'âge optimal de remplacement d'un équipement. Cet âge correspond au minimum de  $(LCC/T)$ , T étant la période considérée.[2]

Voici un tableau qui explique les objectifs de maintenance et leurs indicateurs :

**Tableau 3: Principaux objectifs et indicateurs de maintenance**

Objectifs	Indicateurs
Disponibilité	A : $MUT / MUT + MTTR + MWT$
Capacité	Taux de capacité : Capacité actuelle / Capacité nominale
Qualité	Taux de qualité : Production conforme / Production totale Capabilité : Intervalle de tolérance / Dispersion $6\sigma$
Durabilité	Âge optimal de remplacement $T_{opt}$ correspondant à $LCC / T$ minimal
Productivité	TRS : Temps utile / Temps requis = Quantité bonne vendable / Quantité totale produite
Environnement	Indice de gravité de rejet : Niveau du rejet dans l'environnement / Limite tolérée du rejet (rejet : solide, liquide, gazeux, sonore, rayonnement ionisant, etc.)
Sécurité	Taux de fréquence (TF) : Nombre d'accidents avec arrêt de travail supérieur à un jour / Heures travaillées x 1 000 000 Taux de gravité (TG) : (Nombre de journées perdues par incapacité temporaire IT / Heures travaillées) x 1 000 Indice de fréquence (IF) : (Nombre d'accidents avec arrêt / Nombre de salariés) x 1 000. Indice de gravité (IG) : (Somme des taux incapacités permanentes IP / Heures travaillées) x 1 000 000
Économie	Life Cycle Cost (LCC) et LCC / Durée de vie considérée Coût direct de maintenance Coût indirect de maintenance

# CHAPITRE II :

## Théorie sur la maintenance

## **Introduction :**

La maintenance est un domaine essentiel pour garantir le bon fonctionnement et la pérennité des équipements, des machines et des systèmes dans différents secteurs industriels. Pour organiser et structurer les activités de maintenance, différents échelons, opérations et niveaux sont mis en place.

Les opérations de maintenance comprennent l'inspection, la réparation et l'entretien. L'inspection consiste à examiner visuellement les équipements pour détecter d'éventuelles anomalies ou défauts. La réparation implique la correction des problèmes identifiés, tandis que l'entretien englobe les actions nécessaires pour maintenir les équipements en bon état de fonctionnement.

Les niveaux de maintenance comprennent le niveau opérationnel, réalisé par les opérateurs ou les utilisateurs eux-mêmes, qui comprend des tâches de maintenance de base, et le niveau technique, effectué par des techniciens spécialisés, qui comprend des tâches de diagnostic, de réparation et de maintenance préventive.

Cette structure hiérarchique et ces différentes opérations permettent de gérer efficacement les activités de maintenance, assurant ainsi la fiabilité, la disponibilité et la durabilité des équipements et des systèmes.

## **II. Les opérations, les niveaux et les échelons de la maintenance**

### **II.1.1 Les opérations de maintenance**

- **Les inspections**

Contrôles de conformité réalisés en mesurant, observant, testant ou calibrant les caractéristiques significatives. En général, l'inspection peut être réalisée avant, pendant ou après d'autres activités de maintenance (norme NFEN13306).

C'est le cas de mesures de température, de vitesse, de débit ou de pression sur un bien pour s'assurer de son bon état de fonctionnement.

- **Les visites**

Ce sont des opérations de surveillance, qui, dans le cadre de la maintenance préventive systématique, sont réalisées selon une périodicité déterminée.

Ces opérations, définies préalablement en listes, peuvent exiger des démontages d'organes et une immobilisation du matériel. Une visite peut entraîner une action de maintenance corrective. C'est le cas des visites annuelles d'équipement.

Lors de l'arrêt annuel de l'usine. C'est le cas aussi, par exemple, de la visite annuelle de véhicules.

- **Les contrôles**

Il s'agit des vérifications de conformité par rapport à des données préétablies suivies d'un jugement. Le contrôle peut :

- Comporter une activité d'information.
- Inclure une décision : acceptation, rejet, ajournement.
- Déboucher, comme les visites, sur des opérations de maintenance corrective.

Les opérations de surveillance (contrôles, visites, inspections) sont nécessaires pour maîtriser l'évolution de l'état réel du bien. Elles sont effectuées de manière continue ou à des intervalles prédéterminés ou non, calculés en temps ou en nombre d'unités d'usage.

- **Les dépannages**

Actions physiques exécutées pour permettre à un bien en panne d'accomplir sa fonction requise pendant une durée limitée jusqu'à ce que la réparation soit exécutée (norme NF EN 13306).

Le dépannage est une intervention provisoire qui est exécutée pour permettre au bien de remplir sa fonction même relativement dégradée jusqu'à ce que les 5 M requis soient disponibles pour une intervention définitive ou qu'une fenêtre de maintenance soit ouverte pour cette intervention, fenêtre ne gênant pas le fonctionnement des équipements et donc la production.

Le dépannage est provisoire et doit être suivi d'une action définitive de maintenance curative. C'est ainsi que, par exemple, la roue de secours de certaines voitures est plus étroite que la normale afin d'obliger le conducteur à la réparation du pneu de la roue normale et le remettre en place de nouveau.

- **Les réparations**

Actions physiques exécutées pour rétablir la fonction requise d'un bien en panne (norme NF EN 13306).

La réparation est une action définitive pour remettre, à la suite d'une panne, un bien en état de remplir sa fonction au niveau requis (exemples : un échange standard, un assemblage par soudage ou collage, un reconditionnement, un resserrage, un réglage, un réaligement d'arbres, etc.).

- **La révision**

Ensemble d'actions d'examens, de contrôles et d'interventions effectuées en vue d'assurer le bien contre toute défaillance majeure ou critique, pendant un temps ou pour un nombre d'unités d'usage donné.

La révision peut être partielle et/ou générale selon qu'elle concerne tout ou partie d'un bien. Dans les deux cas, elle nécessite la dépose de différents sous-ensembles, de déterminer ceux qui sont dégradés pour les remplacer ou réparer et garder les autres en l'état. La révision ne doit pas être confondue avec les visites, les contrôles, les inspections. C'est le cas de la révision du moteur d'un bateau après une période déterminée de fonctionnement. C'est le cas aussi de la révision d'une chaudière. La révision relève du 4<sup>e</sup> niveau de maintenance et est généralement confiée à un prestataire spécialisé externe.

- **La rénovation**

Inspection complète de tous les organes, reprise dimensionnelle complète ou remplacement des pièces déformées, vérification des caractéristiques et éventuellement réparation des pièces et sous-ensembles défaillants, conservation des pièces bonnes (norme NFX50-501).

La rénovation est une suite possible d'une révision générale. C'est le cas du reconditionnement d'un grand arbre usé, de pistons et chemises dégradés de moteurs de navire. C'est le cas aussi d'une opération de métallisation de pièces dont le revêtement a été détérioré.

- **La reconstruction**

Remise en l'état défini par le cahier des charges initial, qui impose le remplacement de pièces vitales par des pièces d'origine ou des pièces neuves équivalentes. La reconstruction peut être assortie d'une modernisation ou de modifications. Les modifications apportées peuvent

concerner, en plus de la maintenance et de la durabilité, la capacité de production, l'efficacité, la sécurité, etc. C'est le cas, par exemple, du remplacement d'une pièce en un matériau ne résistant pas à la fatigue par un autre ayant une bonne ténacité. C'est le cas aussi de la mise en place d'un élément de protection, etc. Entre la rénovation et la reconstruction se développe une forme intermédiaire, « la cannibalisation », qui consiste à récupérer, sur du matériel rebuté, des éléments en bon état, de durée de vie connue si possible, et à les utiliser en rechange ou en éléments de rénovation. Cela est fréquent dans le cas des voitures quand on recourt aux articles de la « casse ».

- **La modernisation**

Remplacement d'équipements, accessoires et appareils ou éventuellement de logiciel apportant, grâce à des perfectionnements techniques n'existant pas sur le bien d'origine, une amélioration de l'aptitude à l'emploi du bien.

Cette opération peut aussi bien être exécutée dans le cas d'une rénovation, que dans celui d'une reconstruction. C'est le cas, par exemple, de l'automatisation de certaines parties d'un équipement qui ne l'étaient pas.

La rénovation ou la reconstruction d'un bien durable peut donner lieu, pour certains de ses sous-ensembles ou organes, à la pratique d'un échange standard.

## **II.1.2 Les niveaux de maintenance**

Norme NF X60-110 définit cinq niveaux de maintenance selon les travaux effectués, leur niveau de complexité, les intervenants et leur niveau de compétence, ainsi que le matériel utilisé.

- **Premier niveau :**

Actions simples nécessaires à l'exploitation et réalisées sur des éléments facilement accessibles en toute sécurité à l'aide d'équipements de soutien intégrés au bien. Ce type d'opération peut être effectué par l'utilisateur du bien avec, le cas échéant, les équipements de soutien intégrés au bien et à l'aide des instructions d'utilisation.

Exemples : surveillance d'état avec des instruments dédiés installés en permanence sur les biens, graissages et nettoyages journaliers, relevés de valeurs d'état (pression, débit, température, vibration) ou d'unités d'usage, contrôle d'encrassement de filtres, détection de

fuite, remplacement simple et accessible d'éléments d'usure ou détériorés, resserrages, réglages simples.

- **Deuxième niveau :**

Actions qui nécessitent des procédures simples et/ou des équipements de soutien (intégrés au bien ou extérieurs) d'utilisation ou de mise en œuvre simple. Ce type d'actions de maintenance est effectué par un personnel qualifié avec les procédures détaillées et les équipements de soutien définis dans les instructions de maintenance. Un personnel est qualifié lorsqu'il a reçu une formation lui permettant de travailler en sécurité sur un bien présentant certains risques potentiels, et est reconnu apte pour l'exécution des travaux qui lui sont confiés, compte tenu de ses connaissances et de ses aptitudes.

Exemples: contrôles et analyses avec des appareils simples ; réglages simples (alignement de poulies, alignement pompe-moteur, etc.) ; graissage à faible périodicité (hebdomadaire, mensuelle) ; remplacement par échange standard de pièces (courroies, filtres à air, etc.) ; remplacement de composants individuels d'usure ou détériorés par échange standard (rail, glissière, galet, rouleaux, chaîne, etc.). Les actions de maintenance des 1er et 2e niveaux peuvent être effectuées soit par l'exploitant de l'équipement, soit par un rondier qui est un mainteneur faisant le tour de plusieurs équipements selon une feuille de route préétablie.

- **Troisième niveau :**

Opérations qui nécessitent des procédures complexes et/ou des équipements de soutien portatifs, d'utilisation ou de mise en œuvre complexes. Ce type d'opération de maintenance peut être effectué par un technicien qualifié, à l'aide de procédures détaillées et d'équipements de soutien prévus dans les instructions de maintenance. Ce type d'intervention doit être effectué par un technicien spécialisé, sur place ou dans un local de maintenance, à l'aide de l'outillage prévu dans les instructions de maintenance ainsi que des appareils de mesure et de réglage et, éventuellement, des bancs d'essais et de contrôle des équipements en utilisant la documentation nécessaire ainsi que les pièces approvisionnées par le magasin. Ce type de maintenance nécessite une compétence avérée. Il ne peut être confié qu'à un mainteneur qualifié interne ou externe.

Exemples : contrôle et réglages impliquant l'utilisation d'appareils de mesure externes aux biens nécessitant un savoir-faire ; visite de maintenance préventive sur les équipements ;



contrôle nécessitant un savoir-faire ; relevé de paramètres techniques d'état de biens (prélèvement de fluides ou de matière, mesures et contrôles délicats, etc.) ; diagnostic de pannes ; remplacement d'organes et de composants par échange standard demandant un savoir-faire.

- **Quatrième niveau :**

Opérations dont les procédures impliquent la maîtrise d'une technique ou technologie particulière et/ou la mise en œuvre d'équipements de soutien spécialisés. Ce type d'opération de maintenance est effectué par un technicien ou une équipe spécialisée à l'aide de toutes instructions de maintenance générales ou particulières.

Ce type d'intervention doit être effectué par une équipe comprenant un encadrement technique très spécialisé, dans un atelier spécialisé doté d'un outillage général (moyens mécaniques, de câblage, de nettoyage, etc.) et éventuellement des bancs de mesure et des étalons de travail nécessaires, à l'aide de toutes documentations générales ou particulières.

Exemples : révisions partielles ou générales ne nécessitant pas le démontage complet de la machine ; utilisation de techniques de maintenance conditionnelle exigeant un savoir-faire avéré ; révision importante d'équipement assez complexe à complexe.

- **Cinquième niveau**

Opérations dont les procédures impliquent un savoir-faire et qui font appel à des techniques ou technologies particulières, des processus et/ou des équipements de soutien industriels. Par définition, ce type d'opérations de maintenance (rénovation, reconstruction, etc.) est effectué par le constructeur ou par un service ou entreprise spécialisée avec des équipements de soutien définis par le constructeur et donc proches de la fabrication du bien concerné.

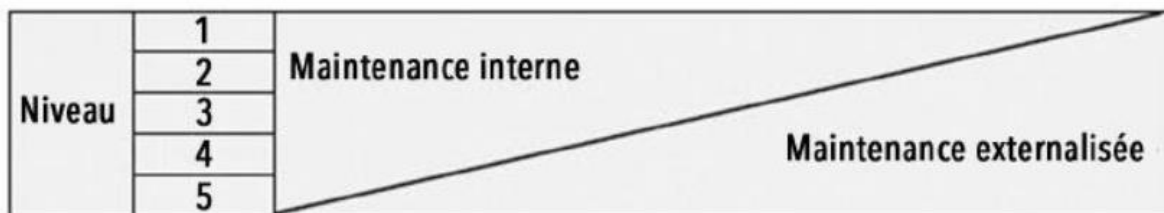
Exemples : révisions générales avec le démontage complet de la machine ; reprise dimensionnelle et géométrique ; réparations importantes réalisées par le constructeur ; reconditionnement du bien. Les travaux de ces deux derniers niveaux sont généralement confiés à des prestataires extérieurs disposant des compétences et des moyens requis pour les réaliser dans de bonnes conditions.

C'est le cas, par exemple, des révisions du moteur de bateau après une période de navigation ou d'un avion après un nombre d'heures de vol déterminé

**Tableau 4: Les cinq niveaux de maintenance**

Niveau	Opérations principales	Réalisateurs
1	Petites opérations de ronde ou d'auto-maintenance	Exploitants – Rondiers
2	Petites opérations de ronde ou d'auto-maintenance	Exploitants – Rondiers
3	Opérations normales de maintenance préventive ou corrective	Mainteneurs internes
4	Grandes opérations de maintenance préventive ou corrective	Mainteneurs internes Prestataires externes
5	Rénovation, reconstruction	Prestataires externes

Il convient de noter aussi que plus le niveau de maintenance est élevé plus on recourt à l'externalisation pour réaliser les travaux correspondants ce qui est logique puisque plus le niveau s'élève plus les moyens et le savoir-faire requis sont importants et ne sont pas souvent disponibles dans l'entreprise (voir figure 11).



**Figure 11: Niveaux de maintenance et réalisation internalisée ou externalisée**

### II.1.3 Les échelons de maintenance

Il est important de ne pas confondre niveaux de maintenance et échelons de maintenance : ces derniers précisent le lieu où les interventions sont effectuées. Il existe trois échelons (voir tableau 5).

- La maintenance sur site : l'intervention est directement réalisée sur le matériel en place (exemples : échange, graissage, nettoyage, contrôles, alignement d'arbres).
- La maintenance en atelier : le matériel à réparer est transporté dans un local, sur site, approprié à l'intervention (exemples : réparation de moteur électrique, fabrication de pièce de rechange, contrôles spéciaux).
- La maintenance chez le constructeur ou une entreprise spécialisée : le matériel est alors transporté pour que soient effectuées les opérations nécessitant des moyens

spécifiques (exemples : reconditionnement de grandes pièces, analyses d'huile, fabrication de pièces spéciales)

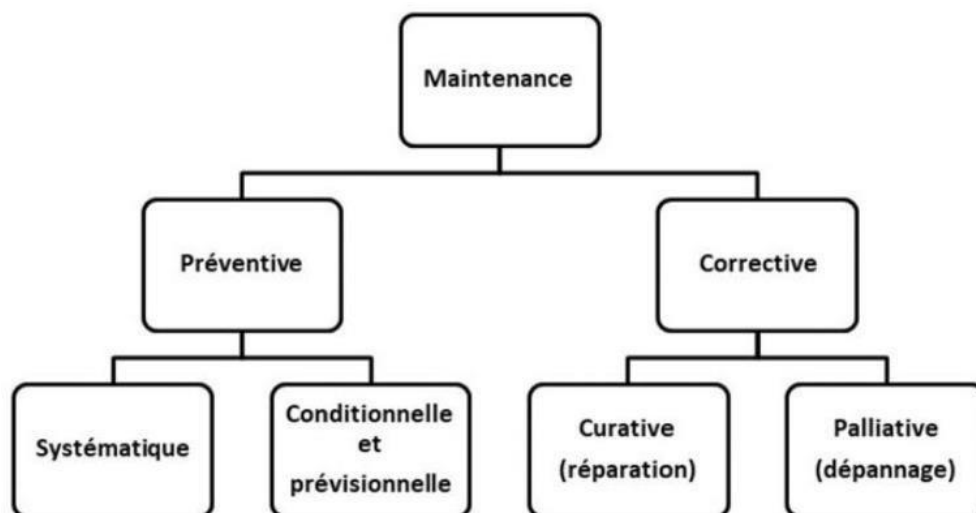
**Tableau 5: Échelons et niveaux de maintenance**

Échelon de maintenance	Niveaux de maintenance
Sur site	1, 2 et 3
En atelier	3, 4
Chez le constructeur ou une entreprise spécialisée	4 et 5

### II.1.4 Les formes de maintenance et leur choix

#### A. Les formes de maintenance :

Comme nous l'avons précisé dans la définition de la maintenance, celle-ci consiste en des actions de management, mais aussi en des actions techniques pour maintenir ou rétablir un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise. Pour assurer la maintenance d'une entité, différentes formes d'intervention technique peuvent être adoptées, principalement corrective ou préventive. Cette dernière peut être systématique, conditionnelle ou prévisionnelle (forme plus développée de la maintenance conditionnelle) (voir figure 2.4).



**Figure 12: Décomposition normalisée de la maintenance**

La maintenance corrective consiste en une intervention après panne et la maintenance préventive intervient avant panne. Cette maintenance préventive peut être systématique donc faite à intervalles réguliers. Elle peut être aussi conditionnelle dont l'intervention est subordonnée à un symptôme de défaillance détecté au moyen d'un moyen de contrôle ou d'analyse approprié. Cette dernière forme de maintenance peut évoluer en maintenance prévisionnelle ou prédictive si la vitesse de développement de la défaillance est connue. Elle est appelée prévisionnelle car on peut prévoir la durée de vie résiduelle de l'équipement après avoir détecté l'état actuel de la dégradation qu'il contient.

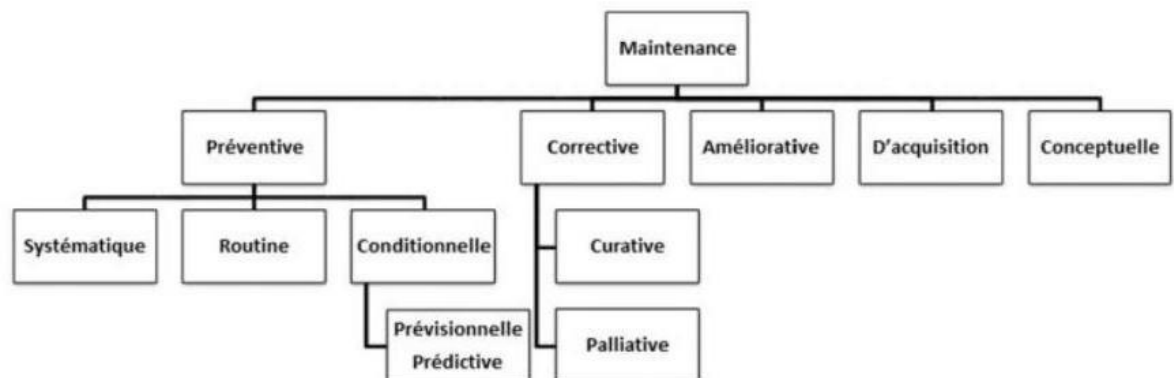
Conformément à ce qui a été avancé comme argument de décomposition de la maintenance en actions administratives et de management, d'une part, et en actions d'intervention techniques, d'autre part, d'autres formes connexes de maintenance peuvent être intégrées au schéma montré plus haut telles que :

- La maintenance conceptuelle qui prend en compte les exigences de la maintenance au stade de la conception.
- La maintenance d'acquisition qui les prend en compte au stade de l'acquisition d'équipement.
- La maintenance améliorative ou d'amélioration ou proactive, qui cherche à mener des actions aussi bien administratives, de management que techniques, afin d'atteindre des objectifs techniques et économiques plus ambitieux de la maintenance.

Forme de maintenance	Occurrence	Déclencheur
Systématique	Avant panne	Nbre d'unités d'usage
Conditionnelle	Avant défaillance	Seuil
Routine	Avant panne	Chaque jour
Curative	Après défaillance	Défaillance
Palliative	Après défaillance	Défaillance
Améliorative	Après et avant panne	Anomalie, objectif
Conceptuelle	À la conception	Cahier de charge
D'acquisition	À l'achat	Décision d'achat

**Figure 13: Décomposition non normalisée de la maintenance**

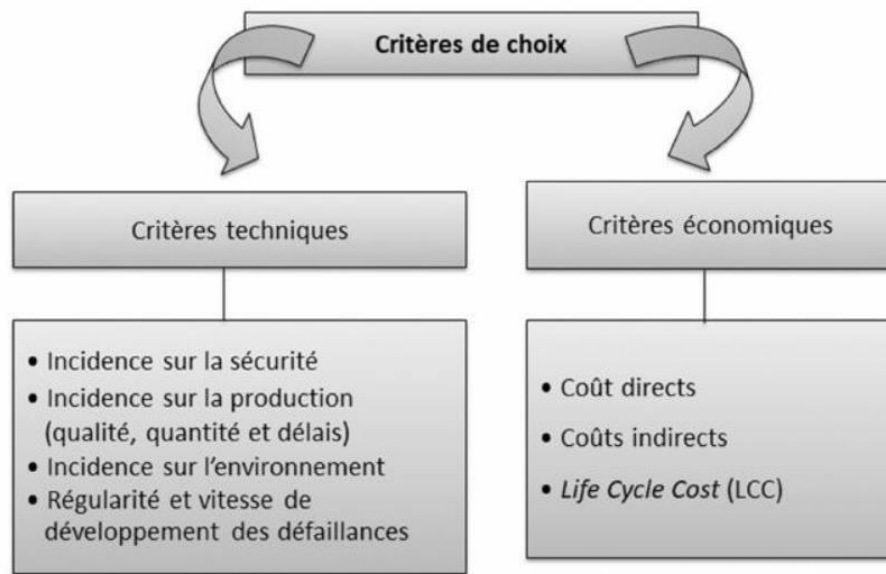
Ces formes de maintenance seront mieux définies plus loin. Il convient de noter, cependant, que la décomposition qui les intègre n'est pas normalisée (voir figure 14).



**Figure 14: Formes de la maintenance (proposée hors normes)**

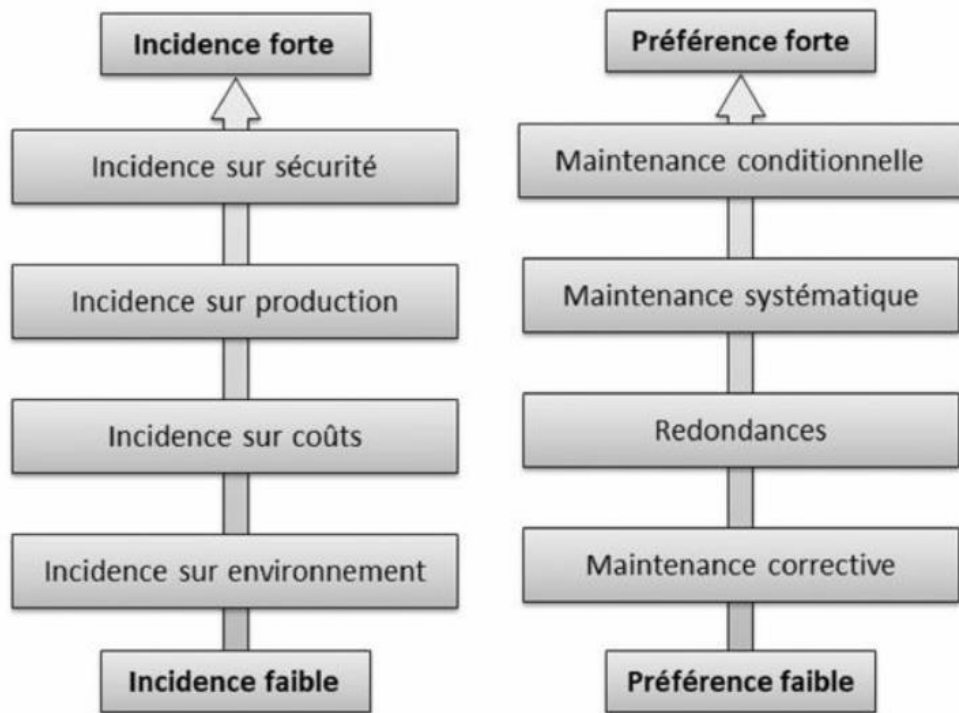
## B. Le choix de la forme de maintenance

Dans la plupart des cas, les différentes formes de maintenance, déjà évoquées, peuvent être appliquées à une entité, mais il n'y en a qu'une qui est la mieux indiquée tant sur le plan technique qu'économique pour le cas précis de cette entité (voir figure 15).



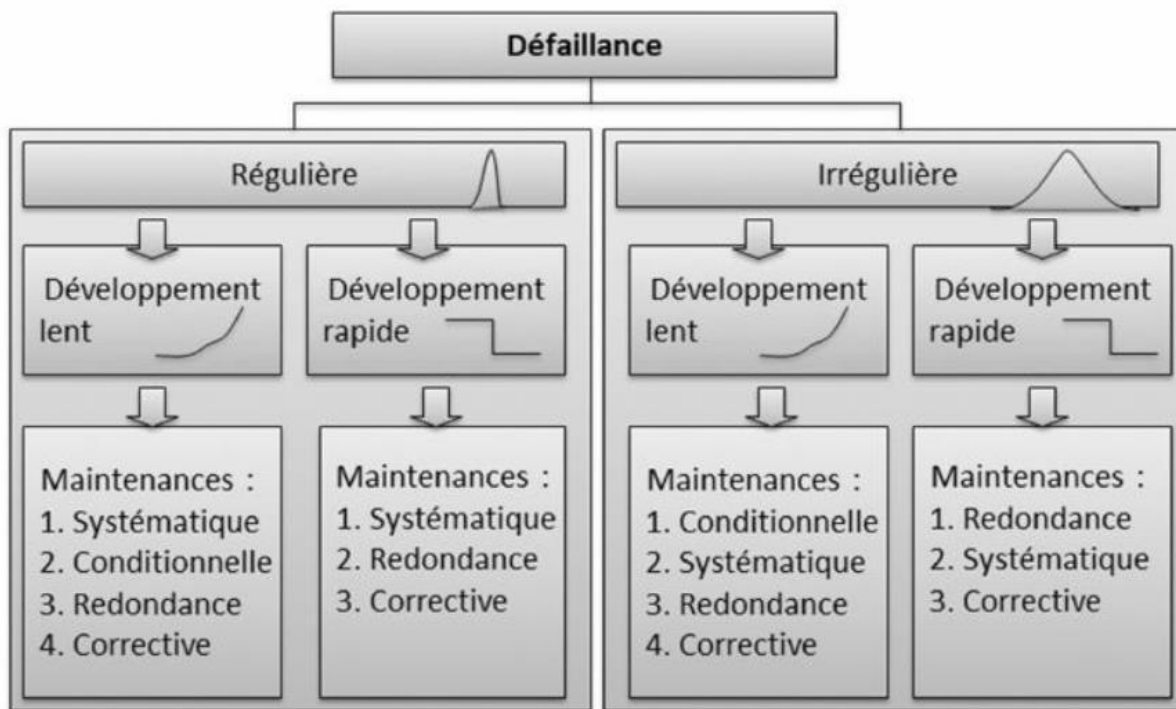
**Figure 15: Critères de choix des formes de maintenance**

De façon générale, on peut affirmer que, plus le coût de maintenance, l'incidence sur la production, le coût (Life Cycle Costs), la sécurité et l'environnement sont élevés, plus la tendance est de passer de la maintenance corrective, à la redondance, à la systématique et enfin à la conditionnelle (voir figure 16).



**Figure 16: Relation entre incidences des formes de maintenance et leur choix**

La forme de maintenance à appliquer à un élément dépend de sa défaillance et particulièrement de la régularité de celle-ci et de sa vitesse de développement. Il est évident que lorsque la défaillance est brutale, on ne peut pas appliquer la maintenance conditionnelle, car on ne dispose pas de temps pour le contrôle ou l'analyse qu'elle implique. Lorsque la défaillance est régulière (cas, par exemple, des pneus de voitures), le temps entre défaillances successives est presque constant, on préférera la maintenance systématique qui peut s'avérer, dans ce cas, plus économique que la conditionnelle. Dans le cas d'une défaillance irrégulière (cas, par exemple, des roulements), la maintenance systématique serait trop coûteuse car on serait obligé, en raison de l'irrégularité de défaillance, de remplacer trop fréquemment afin de ne pas donner lieu à une panne. Dans ce cas, la maintenance conditionnelle est mieux indiquée lorsque la défaillance est à développement lent sinon, c'est la redondance ou la maintenance corrective qui s'impose. La maintenance corrective demeure, bien entendu, le dernier choix à adopter (voir figure 17).



**Figure 17: Choix des formes de maintenance en fonction du type de défaillance**

En fait, il faut s'atteler à chercher un équilibre entre trop de correctifs, qui est coûteux par le coût indirect élevé de la maintenance, et le préventif, qui est coûteux par le coût des rechanges et la fréquence des interventions, qui peut être grande, en tous les cas, par rapport au correctif. Un compromis est à trouver (voir figure 2.12, ci-contre).



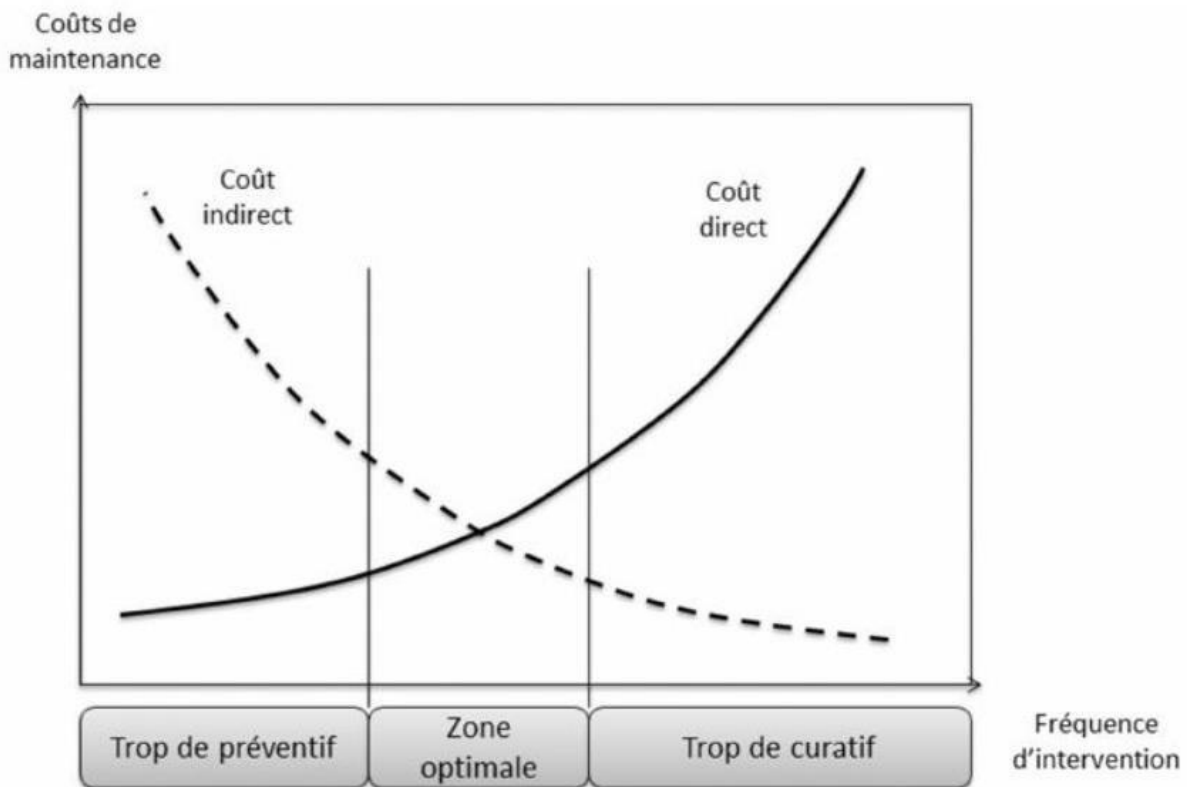


Figure 18: Zone optimale de maintenance

### C. Les types de la maintenance

Pour assurer la maintenance d'une entité, différentes formes d'interventions techniques peuvent être envisagées, principalement correctives ou préventives. Ces dernières peuvent être systématiques, conditionnelles ou prévisionnelles (formes plus développées de la maintenance conditionnelle).

#### 1. La maintenance préventive

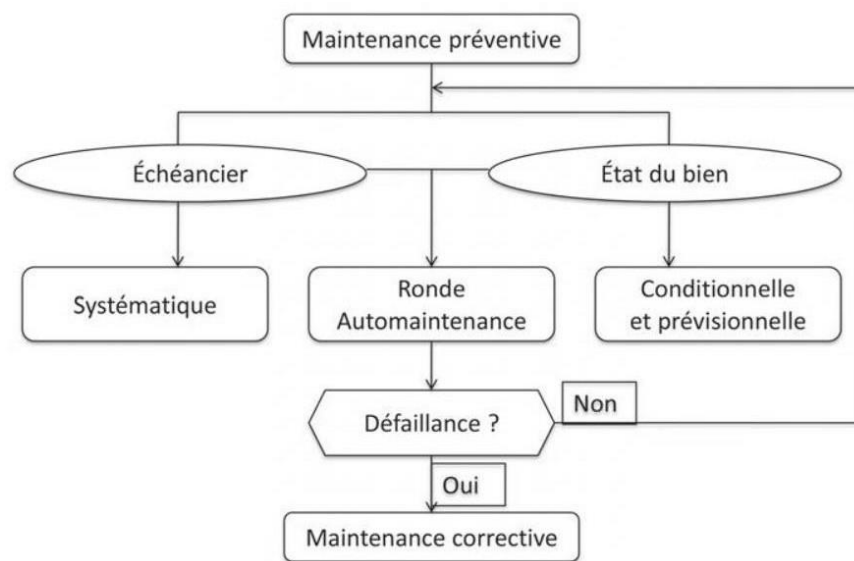
C'est une maintenance exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits dans le but de réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'un bien (norme NF EN 13306).

Il s'agit d'une maintenance qui est effectuée avant que les dégradations ne conduisent à l'arrêt de l'équipement ou à la dégradation de son fonctionnement. Le but est de réaliser les opérations qui conviennent afin de permettre à l'équipement de fonctionner, de nouveau, sans problème pendant une période déterminée.

Le type de maintenance est différent selon que le facteur de déclenchement de l'intervention technique est :

- Le temps (une durée) ou un nombre d'unités d'usage (nombre de cycles, de kilomètres, de pièces fabriquées, etc.), la maintenance est systématique.
- L'état du bien (dérive de fonctionnement, dégradation), la maintenance est conditionnelle ou (dans sa forme plus développée) prévisionnelle ou prédictive.

Une autre forme s'insinue entre les deux. Il s'agit de la maintenance de routine qui est réalisée à une périodicité courte (le jour à la semaine) et qui est autant systématique que conditionnelle puisqu'elle consiste aussi bien à réaliser des remplacements, des réglages des resserrages, des nettoyages (maintenance systématique) qu'à faire des contrôles, des vérifications et des inspections suivis d'interventions palliatives ou curatives (maintenance conditionnelle) (voir figure 19).



**Figure 19: Formes de maintenance préventive**

L'une des principales distinctions entre la maintenance préventive (exécutée avant dégradation) et la maintenance corrective (opérée après dégradation) est que la première est prévue, préparée et planifiée. La seconde ne l'est pas. Elle est réalisée dans l'urgence la plupart du temps. Elle n'est donc pas préparée, ce qui conduit à un allongement de la période d'arrêt pouvant atteindre 60 %, voire plus. Néanmoins, dans certains cas, la maintenance corrective peut être différée et donc préparée et planifiée.

De façon générale, la maintenance préventive est préférée à la maintenance corrective, fidèle à l'adage très connu : « Il vaut mieux prévenir que guérir. » Néanmoins, il faut souligner que, dans certains cas, la maintenance corrective peut être techniquement et économiquement intéressante, particulièrement lorsque la défaillance est brutale, donc difficilement détectable et/ou irrégulière dans sa manifestation temporelle et/ou lorsqu'elle n'engendre que de faibles pertes financières. C'est le cas des défaillances de lampes, de mobilier, d'essuie-glaces de voitures, etc.

En outre, il convient de noter que la panne est souvent accompagnée de dégâts collatéraux, qui augmentent, de façon importante, le coût de la panne. C'est le cas, par exemple, de la rupture de la courroie de distribution dans une voiture, qui entraîne la dégradation des soupapes du moteur et de leur logement. La réparation est alors très coûteuse et sans commune mesure avec le coût de remplacement préventif de la courroie avant sa rupture.

**a) La maintenance systématique**

C'est une maintenance préventive exécutée à des intervalles de temps préétablis ou selon un nombre d'unités d'usage, mais sans contrôle préalable de l'état du bien (norme NF EN 13306).

Les interventions sont effectuées à intervalles réguliers de (voir figure 1.3) :

- Temps.
- Nombre de cycles.
- Distance parcourue.
- Quantité produite, etc.

Les principales opérations de maintenance systématique sont les échanges de pièces ou d'ensembles, le graissage et la lubrification, les nettoyages, les réglages, les resserrages, la réfection de peinture, le reconditionnement de pièces etc.

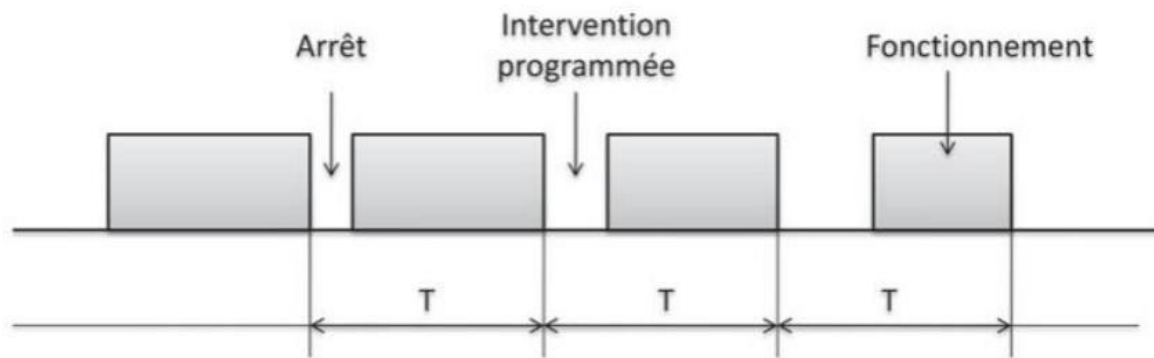


Figure 20: les opérations de la maintenance systématique

- **Les périodicités d'intervention**

Les périodicités d'intervention sont obtenues soit :

- Sur la base des préconisations du constructeur ;
- À partir des prévisions basées sur des données de banques spécialisées ;
- Par itérations successives en choisissant une petite période et en l'augmentant progressivement jusqu'à ce que les pannes apparaissent ;
- À partir des périodicités utilisées dans des industries similaires ;
- Sur la base de prévisions à partir de l'historique et de l'expérience de l'entreprise elle-même.

C'est cette dernière proposition qui est la meilleure car, pour autant que les prévisions soient bien faites, elle tient compte des conditions réelles de fonctionnement et de maintenance de l'équipement considéré ; conditions qui sont souvent différentes de celles du matériel d'essai du constructeur ou des équipements d'entreprises similaires.

**b) La maintenance conditionnelle**

C'est une maintenance préventive basée sur une surveillance du fonctionnement du bien et/ou des paramètres significatifs de ce fonctionnement intégrant les actions qui en découlent (norme NF EN 13306).

Il est important de partir d'un principe ne pouvant être contesté : il est fortement recommandé de laisser une machine continuer à bien fonctionner et ne pas lui appliquer une maintenance systématique alors qu'elle ne le nécessite pas encore. La maintenance systématique consistant à démonter une machine pour s'assurer que les organes sont encore bons ou pour faire un remplacement estimant, qu'ainsi, on assure une fiabilité de l'équipement sur une période

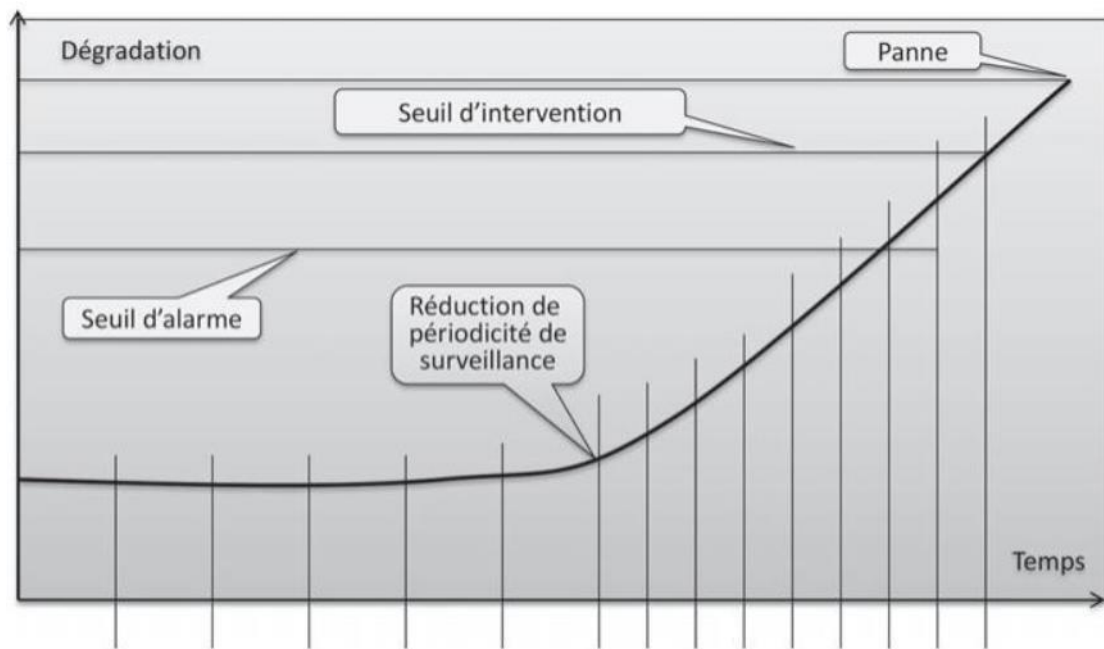
déterminée ; cette maintenance n'est pas forcément judicieuse. En effet, on peut remplacer une pièce par une nouvelle, qui peut tomber en panne après une courte période, alors que l'ancienne pièce aurait pu fonctionner encore sur une longue période. On estime que dans 15 à 20 % des cas de démontages et remontages, on introduit des anomalies qui n'existaient pas. Il convient, toutefois, de surveiller la pièce de manière non destructive et en fonctionnement, si possible, pour détecter, de façon précoce, les défaillances qui peuvent y apparaître. C'est la maintenance conditionnelle.

La mise en œuvre de la maintenance conditionnelle nécessite la connaissance de la périodicité de contrôle ou de mesure qui dépend du type de paramètre suivi : vibration, température, vitesse, etc., et la vitesse de son évolution. Elle nécessite la connaissance du seuil de panne et celui d'intervention à adopter pour éviter la panne. Des approches successives d'estimation sont nécessaires pour une bonne détermination de ces seuils. Le retour d'expérience et les préconisations de constructeurs sont d'une grande utilité pour cela. On fixe un premier seuil et on l'a juste de proche en proche au fur et à mesure qu'on dispose de résultats du retour d'expérience.

Le critère de déclenchement des opérations de maintenance (remplacement, réglage, rechargement, etc.) est la dégradation du fonctionnement (cadence, par exemple) ou la dérive inadmissible d'un caractère de ce fonctionnement (vibration, échauffement, etc.).

- Les différents seuils que l'on rencontre lors de l'évolution d'une défaillance sont (voir figure 1.5) : le seuil critique ou d'admissibilité au-delà duquel le risque de défaillance est trop grand. À ce seuil, il faut arrêter immédiatement la machine pour maintenance. C'est, par exemple, le voyant du circuit de refroidissement d'une voiture ;
- le seuil d'alarme est choisi suffisamment plus petit que le précédent pour permettre la planification et la préparation précoces des travaux de maintenance à réaliser.

Les contrôles et les analyses de maintenance conditionnelle sont très souvent faits à intervalles réguliers, mais ils peuvent avoir lieu, aussi, de façon opportuniste, à l'occasion d'une dérive de fonctionnement ou pour un meilleur lissage de charge.



**Figure 21: Évolution de défaillance et de périodicités de contrôle**

- **Les différents modes de maintenance conditionnelle :**

La surveillance du fonctionnement peut être faite soit selon un calendrier, soit à la demande, soit de façon continue avec des capteurs dédiés à l'équipement et fixés en permanence sur celui-ci. Ce dernier cas est applicable à des équipements d'une très grande criticité qui, s'ils tombent en panne, génèrent des accidents et/ou des coûts d'indisponibilité inadmissibles.

La surveillance peut être faite également de façon discontinue grâce à des contrôles faits à intervalles de temps déterminés, éventuellement, avec un collecteur portatif sur lequel les résultats des mesures (température, vibration, etc.) et contrôles sont enregistrés et, par la suite, chargés automatiquement sur un ordinateur qui élabore les historiques requis et les analyse au moyen d'un logiciel adapté, afin de déterminer à quel moment le seuil d'intervention est atteint.

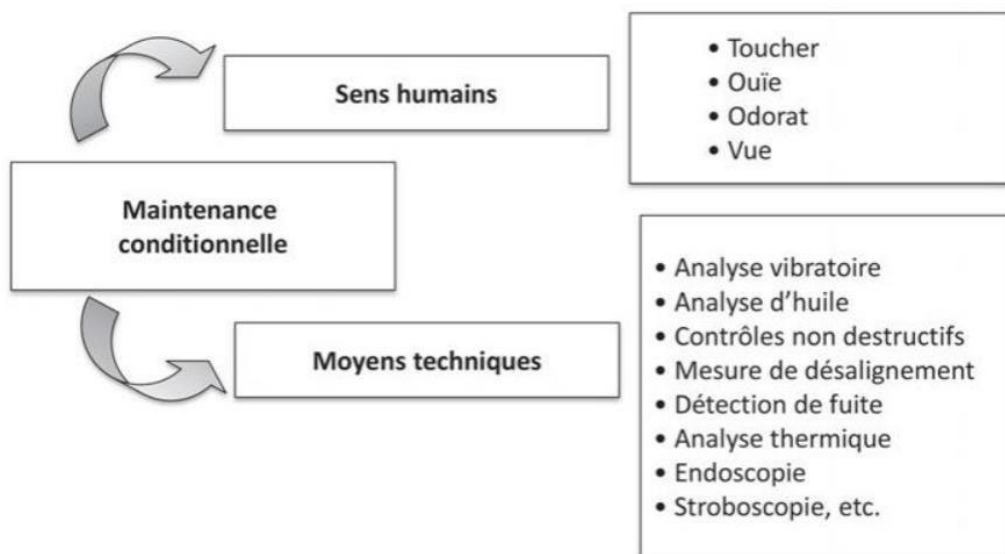
La maintenance conditionnelle peut être faite directement sur site ou à distance grâce, par exemple, à Internet ou au réseau informatique de l'usine. On parle alors de télémaintenance. C'est le cas d'intervention faite à distance pour corriger des problèmes de programmation d'une installation. Dans d'autres cas, le diagnostic peut être fait à distance pour, ensuite, donner les instructions d'intervention à des mainteneurs sur site pour l'opération de réparation ou de remplacement.

- **Les méthodes et les outils de maintenance conditionnelle**

Pour que la maintenance conditionnelle soit possible, efficace et économique, il faut que l'équipement et ses défaillances s'y prêtent. Il faut trouver une caractéristique détectable par l'homme ou par un moyen technique qui puisse révéler de façon qualitative ou mieux quantitative et avec sensibilité, fidélité et justesse, l'apparition de la défaillance à détecter. Il doit y avoir aussi une forte corrélation entre cette caractéristique et la défaillance.

Pour la détection d'anomalies ou de dérives de fonctionnement, on peut soit utiliser les sens de l'homme, soit exploiter des moyens techniques pour une détection plus sensible donc plus précoce (voir figure 22, page suivante).

La détection des anomalies peut être obtenue grâce aux quatre sens de l'homme : l'ouïe, l'odorat, la vue et le toucher. Le cinquième sens (le goût) est prohibé en maintenance car beaucoup de produits existant en industrie sont toxiques, voire des poisons, comme les huiles usagées ou la couche de corrosion de tubes en cuivre, etc. Ce sens est exploité en contrôle qualité dans l'agroalimentaire mais pas en maintenance.

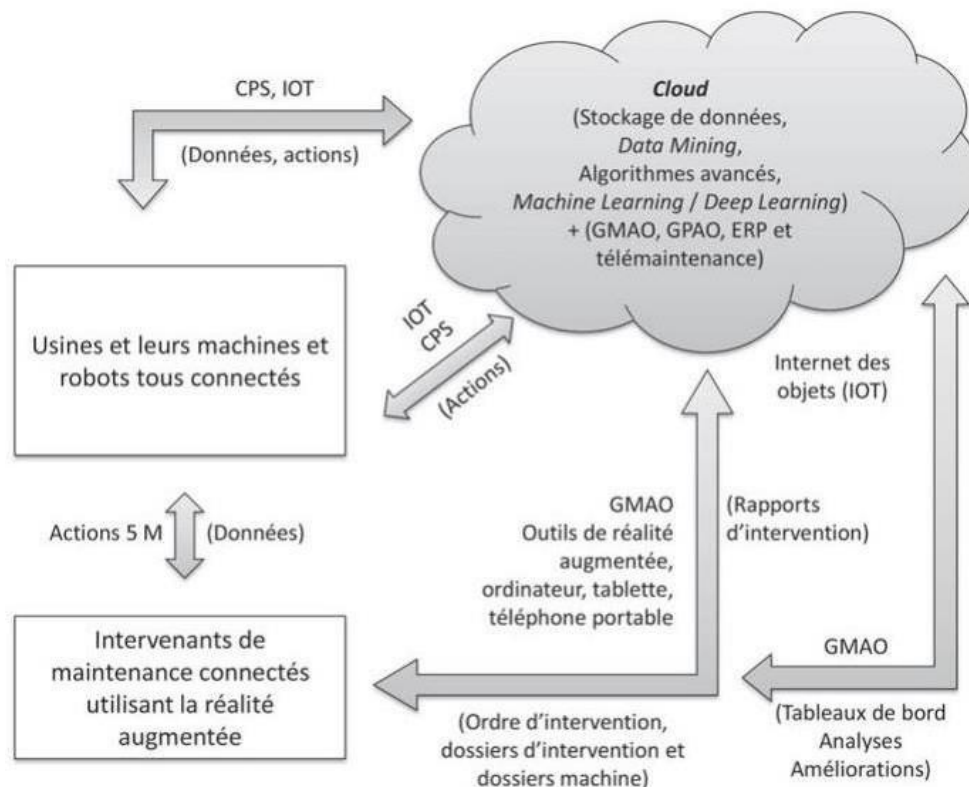


**Figure 22: Moyens de contrôle de la maintenance conditionnelle**

### c) La maintenance prévisionnelle

**Définition :** La maintenance prévisionnelle est une maintenance conditionnelle exécutée en suivant les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évaluation de paramètres significatifs de la dégradation du bien (norme NF EN 13306).

Elle est appelée aussi maintenance prédictive. C'est une forme évoluée de la maintenance conditionnelle qui nécessite la connaissance de la loi de développement de la défaillance (usure, fissure, par exemple) afin qu'en ayant mesuré le paramètre correspondant (longueur, épaisseur, etc.) à un instant donné grâce à une des techniques utilisées pour la maintenance conditionnelle, on soit capable de faire une prévision de la durée de fonctionnement résiduelle avant défaillance puisqu'on connaît la vitesse d'évolution de celle-ci. C'est une forme utilisée dans beaucoup de domaines particulièrement à risques (centrales nucléaires, transport ferroviaire, transport aérien, etc.) pour lesquels les lois de développement de certaines défaillances sont bien connues. Cela permet de mieux programmer les mesures et les interventions (voir figure 23).



**Figure 23:Schéma de la maintenance prévisionnelle 4.0 cognitive**



Il existe deux démarches pour la maintenance prévisionnelle, afin de déterminer la durée de fonctionnement résiduelle avant panne (RemainingUseful Life, RUL).

- La prévision basée sur le phénomène :

Il s'agit de faire une prévision à partir de la modélisation ou l'analyse d'un phénomène physique de dégradation (fissure, usure, déformation, corrosion, etc.) en utilisant les méthodes et outils de discipline telles que la mécanique de la rupture, la tribologie, la résistance des matériaux, la science de la corrosion, la science des matériaux, etc. Cette modélisation permet de connaître la vitesse d'évolution de la défaillance, ce qui permet, par conséquent, connaissant l'état de la caractéristique de la défaillance au moyen d'une des techniques de contrôle et d'analyse de la maintenance conditionnelle, de déterminer la durée de fonctionnement résiduelle.

- La prévision basée sur les données multidimensionnelles :

La prévision est réalisée à partir d'une multitude de données de fonctionnement, de maintenance et d'environnement en exploitant des algorithmes avancés comme ceux de l'intelligence artificielle dont le Machine Learning. On détermine l'évolution de la défaillance à partir de celle des configurations des données précitées constatées lors de la défaillance. On peut ainsi déterminer la RUL avec efficacité sans avoir à identifier le phénomène responsable de la défaillance.

## **2. La maintenance corrective**

Maintenance exécutée après détection d'une panne et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise (norme NF EN 13306).

La panne est l'état d'un bien inapte à accomplir une fonction requise, excluant l'inaptitude due à la maintenance préventive ou à d'autres actions programmées ou à un manque de ressources extérieures (norme NF EN 13306)

La panne peut être totale ou partielle.

### **Définition :**

La panne partielle est caractérisée par le fait que le bien ne peut accomplir que quelques-unes mais pas toutes les fonctions requises (norme NF EN 13306). Ce genre de panne peut donner lieu à un fonctionnement dégradé. Il peut faire l'objet, éventuellement, d'un dépannage en

attendant de faire une réparation définitive selon les règles de l'art. La MTBF, moyenne de temps entre défaillances successives, peut être estimée par la relation suivante :

MTBF = moyenne des temps entre pannes = moyenne des TBF

Elle peut être déterminée, par exemple, selon la loi de Weibull. Selon son degré d'urgence, la maintenance corrective peut être soit immédiate ; soit différée.

#### **a) La maintenance immédiate ou urgente**

Définition :

Maintenance corrective exécutée sans délai après détection d'une panne afin d'éviter des conséquences inacceptables (norme NF EN 13306).

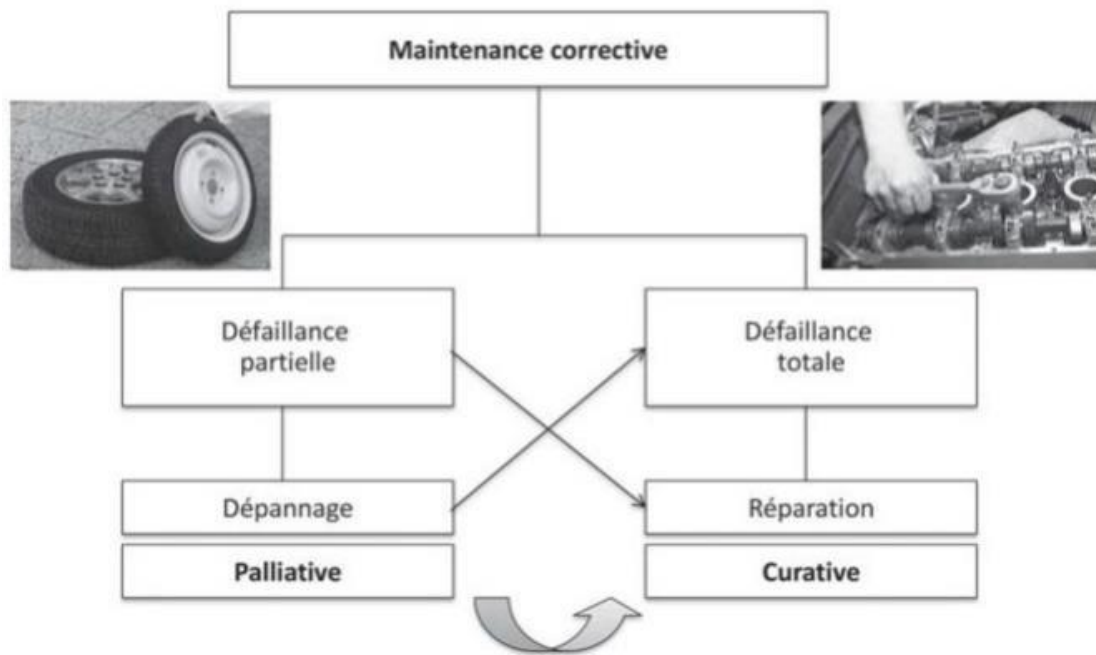
Les conséquences inacceptables peuvent être, par exemple, un arrêt de l'outil de production avec des pertes financières importantes ou encore ces conséquences peuvent être des dégradations pouvant entraîner des accidents. C'est le cas, par exemple, d'un pneu crevé sur une voiture. Il nécessite une intervention immédiate par la mise en place de la roue de secours ou la réparation définitive par le colmatage du point de fuite lorsque les moyens de cette opération sont disponibles.

#### **b) La maintenance différée :**

Maintenance corrective qui n'est pas exécutée immédiatement après détection d'une panne mais est retardée en accord avec des règles de maintenance données (norme NF EN 13306) .

C'est le cas, par exemple, de la panne de la batterie d'une voiture. On peut pousser et faire démarrer la voiture et changer la batterie ou la recharger, après, en atelier.

La maintenance corrective peut être : un dépannage donc urgent (maintenance palliative) ou une réparation définitive (maintenance curative) (voir figure 24)



**Figure 24: Les deux composantes de la maintenance corrective**

### c) La maintenance palliative ou le dépannage

Définition : Un dépannage consiste en des actions physiques exécutées pour permettre à un bien en panne d'accomplir une fonction requise pendant une durée limitée jusqu'à ce que la réparation soit exécutée (norme NF EN 13306)

Le grand livre de la gestion des stocks et approvisionnements<sup>20</sup>Le dépannage consiste à effectuer une remise en état immédiate et rapide de l'équipement qui a subi une défaillance totale ou partielle même si cette remise en état n'est pas faite selon les règles de l'art par manque des pièces ou des moyens (outillage, personnel, dessins, etc.) requis pour faire une réparation définitive.

Par son caractère souvent fébrile, l'opération réalisée dans le cadre du dépannage a une faible fiabilité. Elle est donc provisoire et doit être suivie d'une réparation définitive le plus tôt possible.

Le dépannage est appliqué dans le cas de matériels dont l'arrêt prolongé, pour attendre les moyens humains et matériels, est trop coûteux ou trop gênant.

Dans le cas de certaines voitures, le pneu de secours est plus étroit que le normal afin d'obliger le conducteur à une réparation efficace du pneu normal sitôt qu'il en a les moyens. Cela accentue davantage le caractère provisoire du dépannage.

**d) La maintenance curative**

Définition : C'est une réparation qui est définie selon la norme par « des actions physiques exécutées pour rétablir la fonction requise d'un bien en panne » (norme NF EN 13306).

La réparation est normalisée, ce qui n'est pas le cas de la dénomination maintenance « curative ».

La maintenance curative consiste en une remise en état définitive de l'équipement défaillant. Elle est effectuée soit directement après défaillance, soit après un dépannage.

Un exemple de réparation dans une voiture est le remplacement du pare-brise dégradé.

• **Les opérations essentielles de la maintenance corrective :**

La défaillance provoque une indisponibilité mesurée par le temps d'indisponibilité après défaillance. Cependant, des pannes peuvent aussi ne pas être complètes et se manifestent par un fonctionnement dégradé.

Dans le cas le plus pénalisant d'une panne complète, le temps d'indisponibilité est consacré à réaliser plusieurs actions, comme cela est montré sur la figure 20 et ce, selon trois phases principales :

- Diagnostic.
- Intervention.
- Contrôle et essais.[3]

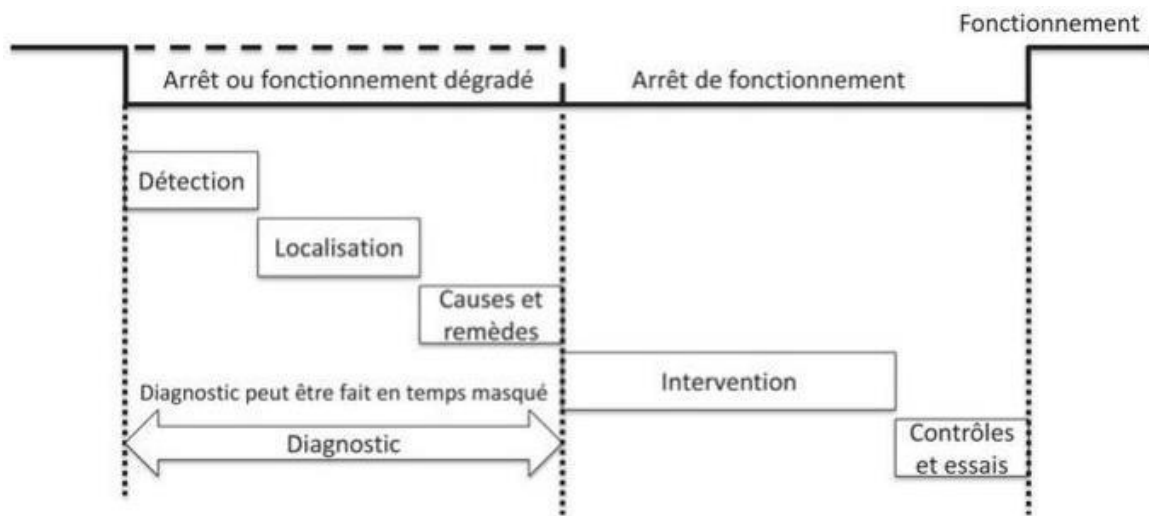


Figure 25: Processus de maintenance corrective

# CHAPITRE III :

## Audit et FMD de chantier de moulage

## **Introduction**

La S.N.V.I depuis sa création en 1981 suite à la restructuration de la SO.NA.CO.ME a contribué au progrès économique que connaissait l'industrie et ce dans le but de couvrir la demande sur le marché local et Africain.

La fonderie est l'une des unités les plus actives de la S.N.V.I vu la tâche élémentaire qui lui est confiée, pour cela elle a été équipée de machines de technologie moyennement élevée et parmi elles celle destinée pour la ligne de moulage des grandes pièces (GP4)

Dans cette étude, nous allons collecter des données sur les défaillances et les durées de vie des équipements de moulage sur le chantier. Nous utiliserons ensuite les lois de Pareto et Weibull pour analyser ces données et modéliser la fiabilité des processus de moulage.

L'objectif principal de cette étude est de fournir des informations précises et fiables sur la fiabilité des processus de moulage, ce qui permettra de prendre des décisions éclairées en matière de maintenance, d'optimisation des ressources et de réduction des temps d'arrêt. Ces résultats contribueront à améliorer l'efficacité et la productivité du chantier de moulage, tout en garantissant une qualité optimale des pièces produites.

En conclusion, cette étude de fiabilité par les lois de Pareto et Weibull sur un chantier de moulage vise à évaluer la performance des processus de moulage et à fournir des informations utiles pour l'optimisation des ressources et la réduction des temps d'arrêt imprévus. Les résultats obtenus permettront d'améliorer la productivité et la qualité des pièces produites, contribuant ainsi à la réussite globale du chantier.

### **III.1 Chantier automatique de moulage**

Un chantier de moulage est un lieu de production industrielle où sont fabriquées des pièces en utilisant des moules. Les moules sont des formes creuses qui permettent de créer des objets en coulant du matériau à l'intérieur, comme du métal en fusion, du plastique, de la céramique ou du béton.

Les chantiers de moulage peuvent être utilisés dans différents secteurs de l'industrie, tels que l'automobile, l'aérospatiale, l'électronique et la construction. Ils peuvent être équipés de machines spéciales pour le moulage sous pression, l'injection, l'extrusion ou le laminage, selon le type de pièces à fabriquer.

La fabrication de pièces par moulage peut offrir de nombreux avantages, tels que la possibilité de créer des pièces très précises et répétables en grande quantité, avec une grande efficacité et une faible variation entre les pièces produites. Cependant, cela nécessite également une planification minutieuse, une expertise technique et des investissements importants dans les machines et les équipements.

### **III.2 Représentation de la GP4**

La GP4 c'est une ligne de production des moules des grandes pièces fabriquées par une société italienne appelée EUROMAC qui se décompose en plusieurs machine (machine à mouler. Machine à fraiser ; machine à fermer les moules .....etc.) acheté par la société nationale des véhicule industrielle (SNVI) en 2008. Utilisé spécialement pour fabriquer les moules grande taille.

EUROMAC est une entreprise italienne spécialisée dans la fabrication de machines pour l'industrie du moulage par injection. Le chantier automatique de moulage EUROMAC est une de leurs solutions pour la production automatisée de pièces en plastique.

La GP4 est conçu pour être entièrement automatisé, avec un système de chargement et de déchargement de pièces automatisé pour minimiser la nécessité d'une intervention humaine. Il est également équipé de technologies avancées telles que des systèmes de surveillance en temps réel et des contrôles de qualité intégrés pour garantir des résultats de haute qualité.

Les machines EUROMAC utilisent le procédé de moulage par injection, qui consiste à injecter du plastique fondu dans un moule pour former une pièce en plastique solide. Les machines EUROMAC sont disponibles dans différentes tailles et configurations pour répondre aux besoins spécifiques de chaque client.

En utilisant un chantier automatique de moulage EUROMAC, les fabricants peuvent réduire les coûts de production, améliorer la qualité des pièces et augmenter leur efficacité en automatisant une grande partie du processus de production. Cela peut également permettre une production plus rapide et une réponse plus rapide aux demandes du marché.

La ligne gp4 consiste en la production de grandes pièces fonderie tels que les tambours, cuves d'huile, ... etc.

C'est la chaine la plus active dans le secteur fonderie vu la quantité énorme de pièces demandée sur le marché de l'industrie automobile.



Elle est répartie en huit parties essentielles :

- Poste d'envoi châssis vides.
- Machine à mouler.
- Poste d'enlèvement.
- Convoyeur à plateaux.
- Zone de coulée.
- Tunnel de refroidissement.
- Machine à défoncer.

### III.3 Synoptique général de la ligne GP4

Les huit parties constituant cette ligne sont représentées sur le schéma global de la figure suivante :

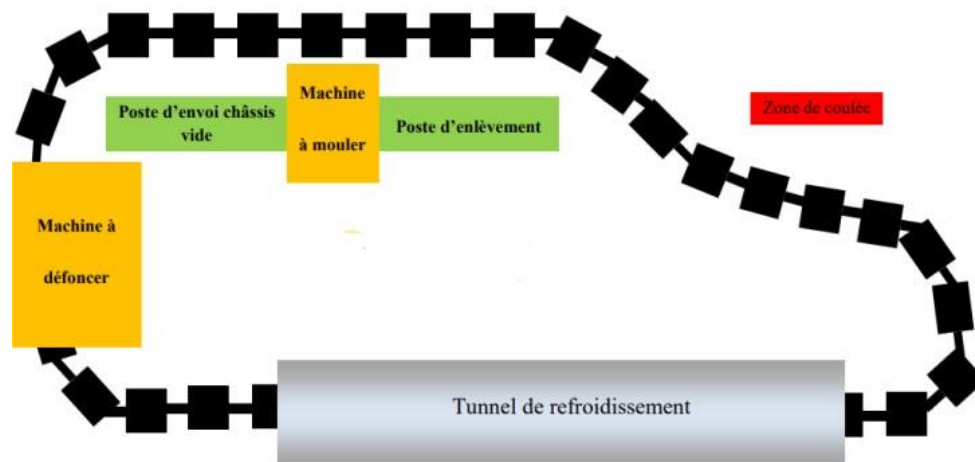


Figure 26: Schéma global de la ligne de moulage GP4

- **Poste d'envoi châssis vides** : Il est constitué de :
  - ✓ Palan soupâmes manipulé par l'opérateur pour déplacer les châssis.
  - ✓ Vérin d'envoi châssis.
  - ✓ Galets entraînés par deux moteurs asynchrones G1 et G4.



Figure 27: Poste d'envoi châssis vides

- **Machine à mouler :** C'est le cœur battant de la chaîne, elle est constituée d':
  - ✓ Une butée pour assurer la présence d'un seul châssis dans la zone de remplissage.
  - ✓ Un re centreur pour positionner et centrer le châssis.
  - ✓ Un chariot constitué de doigts d'entraînement, une trémie assurant le remplissage du châssis en sable, une tête de pression pour égalisation du sable dans le châssis.
  - ✓ Une table machine sur laquelle sont positionnées les plaques modèles.
  - ✓ Un chariot agrafe qui assure la liaison entre la machine à mouler et le poste d'enlèvement.



Figure 28: la machine à mouler

- **Poste de pose noyau (enlèvement):** Cette partie est constituée de Galets entrainés par deux moteurs G2 et G3 servant à déplacer les châssis sur la ligne.

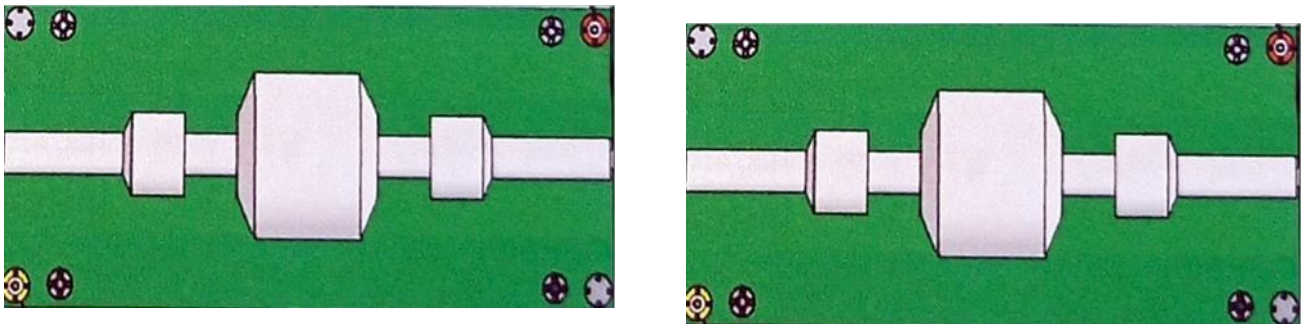


Figure 29: La plaque modèle

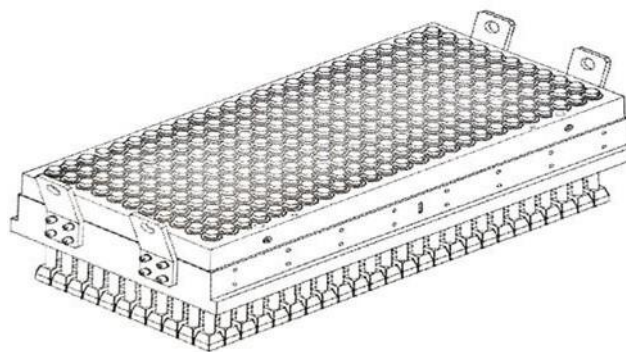


Figure 30:(275) vérins d'égalisation (Serrage)

- **Convoyeur à plateaux** : C'est un dispositif qui sert à déplacer les châssis après les avoir assemblés autour de la chaîne en passant par la zone de coulée pour ensuite arriver au tunnel de refroidissement. Il est entraîné par un moteur à courant continu.
- **Tunnel de refroidissement** : C'est un tunnel ferreux équipé de ventilateurs utilisés pour refroidir les moules qui se déplacent dedans sur un convoyeur.
- **Machine à défoncer** : C'est à son niveau qu'on sépare la pièce et le sable du châssis qui est récupéré pour effectuer un autre cycle. Le sable et la pièce sont transmis vers la grille de décochage par un couloir vibrant, c'est là que se fait la séparation de la pièce du sable.



**Figure 31: Machine à défoncer**

### **III.4 Etude de fiabilité par la loi de Pareto et Weibull**

#### **III.4.1 La loi de Pareto**

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

La loi de Pareto est un principe d'analyse et d'aide à la décision énoncé par Vilfredo Pareto (1848-1923) plus précisément en 1897. Cet économiste et sociologue italien qui a étudié à l'école polytechnique de Turin en Italie, est considéré comme le père fondateur de ce qu'on appelle aujourd'hui «le principe de Pareto». C'est en étudiant les richesses de son pays qu'il constate que seuls 20% des habitants possèdent 80% des richesses totales. Il applique ensuite cette loi à d'autres états tels que la Russie, la France et la Suisse, et obtient les mêmes résultats.

Ce n'est pourtant qu'au cours des années quarante que Joseph Juran (1904-2008), un ingénieur américain travaillant sur la gestion de la qualité, reconnaît la théorie et l'attribue à Vilfredo Pareto.

**B. Définition :**

La loi de Pareto affirme que 80 % des conséquences découlent d'environ 20 % des causes. En d'autres termes, un petit pourcentage de causes génère un très grand effet. C'est un concept essentiel qui peut m'aider à identifier les initiatives prioritaires, c'est-à-dire celles les plus utiles à l'entreprise.

Ce phénomène est désigné par plusieurs noms différents :

- Le principe de Pareto.
- La règle des 80/20 (ou des 20 80).
- La loi de Pareto ou loi Pareto.
- Le principe de rareté des ressources.
- Distribution de Pareto.

La règle des 80/20 n'est pas une équation mathématique formelle, mais plutôt un phénomène généralisé qui peut être observé en économie, dans les affaires, la gestion du temps et même en sport.

**C. Exemples généraux de la loi de Pareto :**

- 20 % d'une plante contient 80 % du fruit
- 80 % des bénéfices d'une entreprise viennent de 20 % de ses clients
- 20 % des joueurs marquent 80 % du score

**D. Les Avantages :**

Les avantages d'utiliser le principe de Pareto sont infinis. La plupart d'entre eux ont déjà été mentionnés dans les chapitres précédents. Une entreprise qui connaît son ratio de Pareto pour chaque département peut améliorer son efficacité, notamment :

Mieux gérer ses risques. En connaissant les risques les plus importants et ceux qui sont faciles à corriger, une entreprise peut se concentrer sur son cœur de métier.

Mieux connaître ses clients. Une entreprise peut définir sa stratégie de communication et cibler les consommateurs les plus importants. Il est important de connaître les caractéristiques des 20% des plus grands clients, y compris leur provenance, leur secteur d'activité (dans le cas des professionnels) ou leur âge et leur genre (dans le cas des particuliers). En procédant ainsi, elle peut créer de nouvelles perspectives correspondant à ces caractéristiques. Les

consommateurs ciblés sont similaires aux meilleurs clients ; l'entreprise a ainsi plus de chances de les amener de l'étape prospective à l'étape de consommation.

Limitier les coûts. Dans une chaîne de production, savoir quels points consomment le plus d'énergie mais offrent une efficacité moindre permet à l'entreprise de s'adapter, de supprimer ou de modifier les éléments les plus coûteux.

Limitier la perte de temps. En connaissant les activités qui sont les plus chronophages, Plus productives, un responsable peut se concentrer sur elles pour améliorer leur performance

### **E. La classification ABC de Pareto**

En général, les stocks de maintenance des entreprises industrielles contiennent un très grand nombre d'articles. Par souci de rentabilité et d'efficacité, on ne peut raisonnablement pas accorder la même attention à tous les articles.

Il convient plutôt de la focaliser sur la classe minoritaire qui représente la plus grande part de la valeur du stock ou encore de la valeur des consommations.

Pour réaliser cette classification, on utilise la méthode de Pareto qui consiste à classer les articles en stock par ordre décroissant de la valeur de leur consommation ou de leur stock sur une période donnée T :

- valeur de consommation= prix . (quantité consommée),
- valeur de stock= prix . (quantité en stock) ;
- calculer les valeurs cumulées de consommation pour chaque article ;
- déterminer le pourcentage de cette valeur cumulée pour chaque article ;
- tracer la courbe correspondante en mettant en abscisse les articles et en ordonnée les pourcentages des valeurs cumulées correspondantes (Figure 6.5).

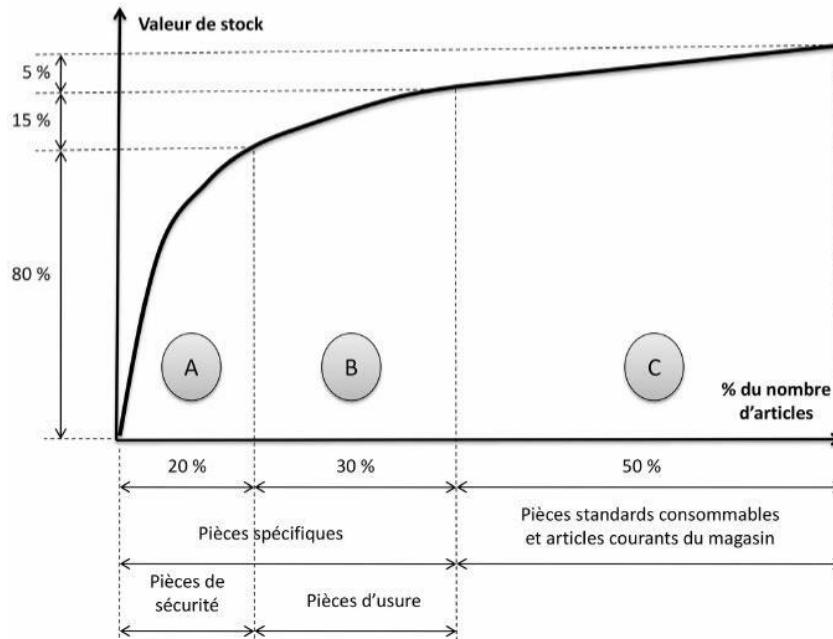


Figure 32: Pareto des valeurs des pièces stockées

#### F. Les types de courbes de Pareto :

- Valeur de stock = Prix. Quantité en stock.
- Valeur de consommation = Prix. Quantité consommée.

Ce sont les articles de la classe A dont il faut suivre, de très près, la consommation ou le stock et pour lesquels il importe de mener des actions d'optimisation visant la réduction des coûts d'une part, et les consommations ou les quantités en stock, d'autre part (Figure 6.6).[4]



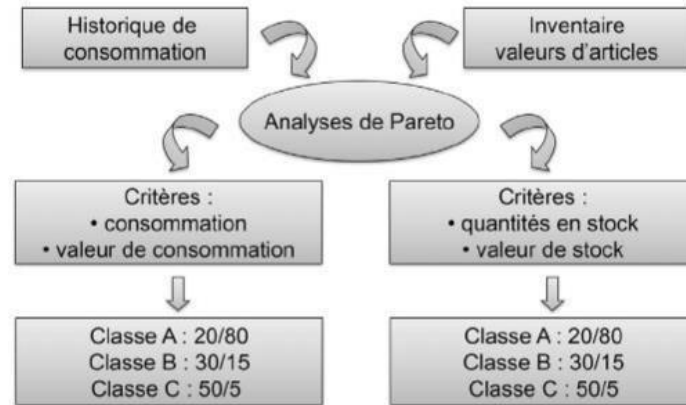


Figure 33: Les deux classifications Pareto de la GSA

### III.4.2 Analyse de la fiabilité par la loi Weibull

En théorie des probabilités, la loi de WEIBULL, nommée d'après Waloddi Weibull en 1951, est une loi de probabilité continue. La distribution de WEIBULL est souvent utilisée dans le domaine de l'analyse de la durée de vie, grâce à sa flexibilité :

Elle permet de représenter au moins approximativement une infinité de lois de probabilité.

Loi de WEIBULL à trois paramètres :

La fonction de densité de probabilité (PDF) de la loi Weibull à trois paramètres est donnée par :

Équation III.1: fonction de densité de probabilité (PDF) de la loi Weibull à trois paramètres

$$f(t) = \frac{c}{\eta} \left( \frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-\left( \frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta}} \quad \text{III.1}$$

Où :

$$f(t) \geq 0, t \geq \gamma, \beta > 0, \eta > 0, -\infty < \gamma < +\infty ;$$

$\eta$ : paramètre d'échelle.

$\beta$ : paramètre de forme.

$\gamma$ : paramètre de position.

✓ Loi de WEIBULL à deux paramètres :



La fonction de densité de probabilité (PDF) de la loi WEIBULL à deux paramètres est obtenue en établissant  $\gamma=0$ , et est donnée par :

Équation III.2: fonction de densité de probabilité (PDF) de la loi WEIBULL à deux paramètres

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad \text{III.3}$$

✓ Loi de Weibull à un paramètre :

Loi de Weibull à un paramètre est obtenue en établissant  $\gamma=0$  à nouveau et en supposant  $\beta=C=\text{constant}$  (une valeur supposée) :

Équation III.4 :Loi de WEIBULL à un paramètre

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{c-1} e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^c} \quad \text{III.5}$$

Où le seul paramètre inconnu est le paramètre d'échelle,  $\eta$ .

Notez que dans la formulation de Weibull à un paramètre, nous supposons que le paramètre de forme ( $\beta$ ) est connu a priori de l'expérience passée des biens identiques ou similaires.

L'avantage de cela est que les ensembles de données avec peu ou pas de défaillances peuvent être analysés.

✓ Fonction fiabilité : La fonction de densité cumulative (CDF) de la distribution WEIBULL est donnée par :

Équation III.6 : Fonction de densité cumulative (CDF) de la distribution WEIBULL

$$F(T) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad \text{III.7}$$

Rappelant que la fonction de fiabilité d'une distribution quelconque est simplement la fonction complémentaire de la CDF, la fonction de fiabilité pour la distribution de WEIBULL à trois paramètres est alors donnée par :

Équation III.8 : fonction de fiabilité pour la distribution de WEIBULL à trois paramètres

$$R(T) = 1 - F(T)$$

$$R(T) = e^{-\left(\frac{T-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad \text{III.9}$$

Taux de défaillance :

Équation III.10: Taux de défaillance

$$\lambda(t) = \frac{F(t)}{R(t)} \quad \text{III.11}$$

✓ Variation du taux de défaillance

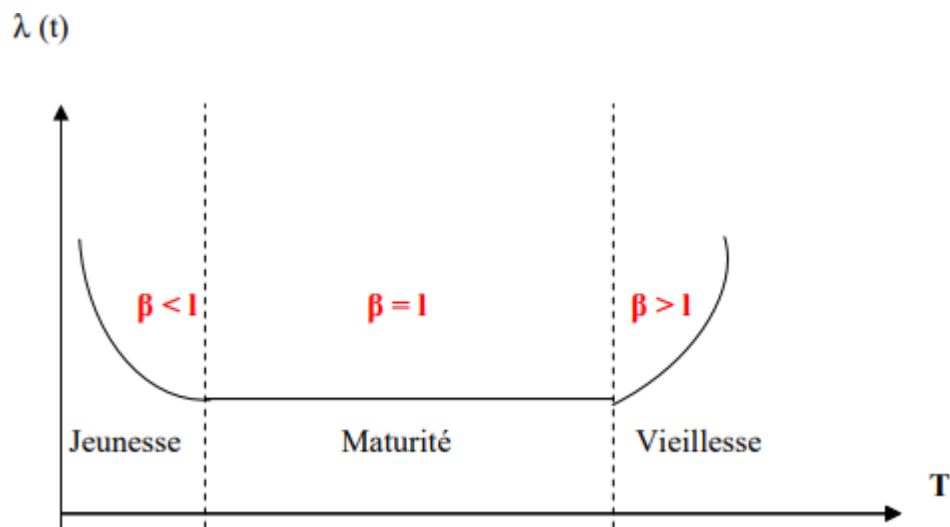
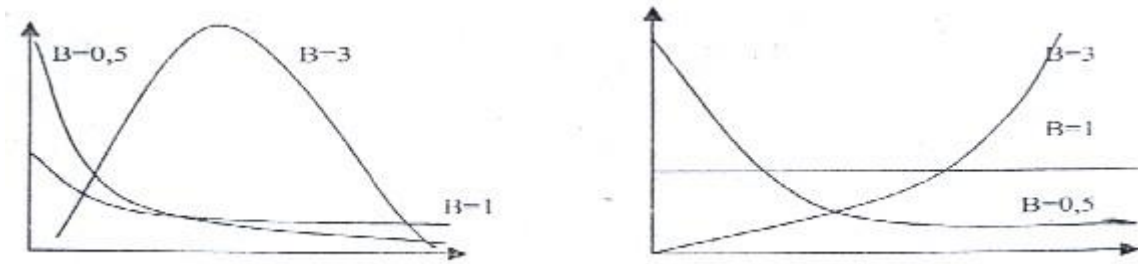


Figure 34: Courbe de défaillance

- $\beta < 1$  : Correspond à la zone décroissante de la courbe, c'est la période de mise en place et de rodage de l'installation : période de jeunesse.
- $\beta = 1$  : Alors  $\lambda \in$  constant, indépendante du processus du temps. C'est la période de défaillance aléatoire qui se présente généralement au symptôme de dégradation préalable (vie utile).
- $\beta > 1$  : Correspond à la zone croissante rapide, c'est l'époque de vieillesse, il faut une analyse pour un diagnostic

❖ **Signification des paramètres du model de Weibull :**



**Figure 35: Signification des paramètres de weibull**

- Paramètre de forme  $\beta$  : C'est une valeur sans dimensions, elle définit l'allure de la distribution des durées. Elle permet d'adopter la forme de courbe  $\lambda(t)$  aux différentes étapes de vie d'un système ou d'un composant.
- Paramètre d'échelle  $\eta$  : En unité de temps qui est associé à l'échelle utilisée sur le graphe d'alliant plat
- Paramètres de position  $\lambda$  : En unité de temps, il indique la date de début des défaillances
  - Si  $\lambda < 0$  il y a une survie totale entre  $t = 0$  et  $t = \lambda$ .
  - Si  $\lambda = 0$  les défaillances de début et à l'origine des temps.
  - Si  $\lambda > 0$  les défaillances ont débuté avant l'origine des temps.

#### ❖ Estimation des paramètres de Weibull

##### 1. Méthode graphique :

Description du papier fonctionnel de Weibull :

Le papier Weibull est un papier « log-log » qui porte quatre axes :

- l'axe A est l'axe des temps sur lequel nous porterons les valeurs  $T_i$  de durées de bon fonctionnement.
- l'axe B porte  $F(t)$  sur lequel nous porterons les valeurs  $F_i$  calculées par approximation (rangs moyens ou médians). Nous estimerons la fiabilité en prenant le complément :  $R(t) = 1 - F(t)$ .
- l'axe a correspond à  $\ln t$ .

- l'axe b correspond à  $\ln [\ln (1/1 - F(t))]$ . Cet axe permettra d'évaluer la valeur de  $\beta$ .

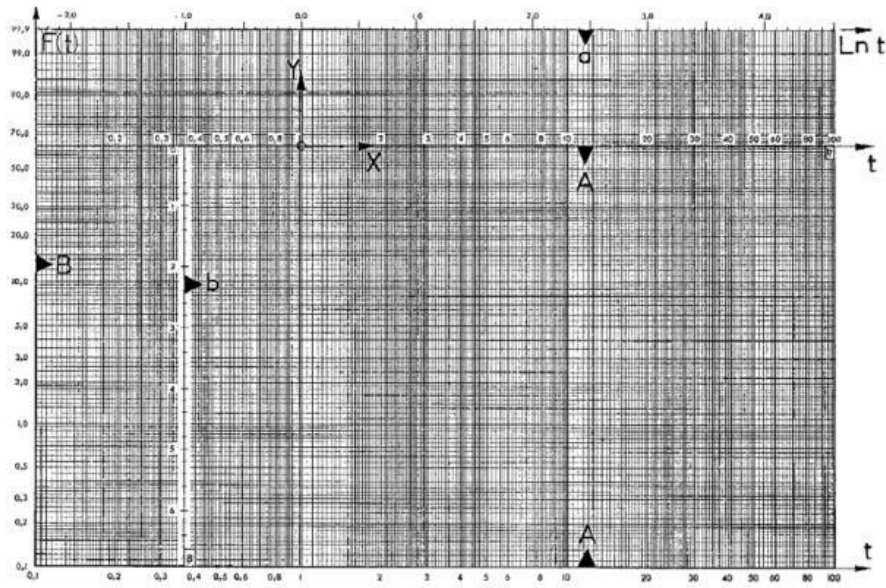


Figure 36; Papier de Weibull

## 2. Méthodologie de l'analyse de fiabilité

Préparation des données :

L'estimation de la valeur de  $F_i$  qui est donnée par les lois suivantes :

- ✓ Si  $N \geq 50$ , on estime  $F_i$  par :

Équation III.12 : La valeur de  $F_i$  Si  $N \geq 50$

$$F_i = \frac{i}{N} \text{ III.13}$$

$N$  c'est la taille de l'échantillon.

- Si  $50 > N \geq 20$ , on estime  $F_i$  par la méthode des rangs moyens :

Équation III.14 : La valeur de  $F_i$  Si  $50 > N \geq 20$

$$F_i = \frac{i}{n+1} \text{ III.15}$$

- Si  $N < 20$ , on estime  $F_i$  par la méthode des rangs médians :

Équation III.16 : La valeur de  $F_i$  si  $N < 20$

$$F_i = \frac{i-0,3}{n+0,4} \quad \text{III.17}$$

3. Tracé du nuage de points ( $t_i$ ,  $F_i$ ).
4. Tracé de la droite dite « de Weibull » D1.
5. Détermination des valeurs des trois paramètres  $\beta$ ,  $\eta$ ,  $\gamma$ .
6. Équation de la loi de Weibull (et représentation graphique éventuelle).
7. Détermination de la MTTF (et de l'intervalle de confiance éventuellement).
8. Exploitation des résultats.[5]

### III.5 Position du problème

Dans ce chapitre, nous avons réalisé l'étude FMD (Fiabilité, Maintenabilité, disponibilité) pour Connaître l'état de notre machine.

#### III.5.1 Application de la loi de Pareto :

**Tableau 6: les zone et les postes**

La zone	Le poste
Zone 1	La machine a mouler
Zone 2	Zone de séparation de châssis
Zone 3	Zone de pose noyau
Zone 4	Zone de coulée
Zone 5	Zone de refroidissement
Zone 6	Zone de découchage
Zone 7	Zone de séparation de châssis 2

la zone	TA	cumul	pourcentage
zone de découchage	475	475	5,5%
la machine a mouler	445	920	10,7%
la machine a mouler	360	1280	14,9%
la machine a mouler	320	1600	18,7%
zone de séparation de châssis 2	310	1910	22,3%
la machine a mouler	300	2210	25,8%
zone de découchage	300	2510	29,3%
zone de découchage	265	2775	32,4%

### *CHAPITRE III : Audit et FMD de chantier de moulage*

la machine a mouler	240	3015	35,2%
la machine a mouler	240	3255	38,0%
zone de découchage	220	3475	40,6%
la machine a mouler	205	3680	43,0%
la machine a mouler	200	3880	45,3%
zone de séparation de châssis 2	195	4075	47,6%
zone de découchage	190	4265	49,8%
zone de pose noyau	190	4455	52,0%
zone de pose noyau	185	4640	54,2%
la machine a mouler	180	4820	56,3%
zone de refroidissement	180	5000	58,4%
la machine a mouler	180	5180	60,5%
la machine a mouler	180	5360	62,6%
la machine a mouler	175	5535	64,6%
la machine a mouler	160	5695	66,5%
zone de refroidissement	155	5850	68,3%
zone de pose noyau	145	5995	70,0%
zone de découchage	140	6135	71,6%
zone de pose noyau	135	6270	73,2%
zone de découchage	130	6400	74,7%
zone de découchage	125	6525	76,2%
zone de séparation de châssis	110	6635	77,5%
zone de pose noyau	110	6745	78,8%
zone de séparation de châssis	105	6850	80,0%
zone de séparation de châssis	105	6955	81,2%
la machine a mouler	105	7060	82,4%
la machine a mouler	100	7160	83,6%
zone de pose noyau	100	7260	84,8%
zone de découchage	95	7355	85,9%
la machine a mouler	90	7445	86,9%
zone de coulée	90	7535	88,0%
zone de séparation de châssis 2	90	7625	89,0%
zone de découchage	90	7715	90,1%
la machine a mouler	80	7795	91,0%
zone de découchage	80	7875	91,9%
la machine a mouler	75	7950	92,8%
zone de coulée	75	8025	93,7%
la machine a mouler	75	8100	94,6%
la machine a mouler	70	8170	95,4%
zone de découchage	70	8240	96,2%
zone de découchage	70	8310	97,0%
zone de séparation de châssis 2	70	8380	97,8%
zone de découchage	65	8445	98,6%
zone de séparation de châssis	60	8505	99,3%

### CHAPITRE III : Audit et FMD de chantier de moulage

la machine a mouler	60	8565	100,0%
<b>Total</b>	<b>8565</b>		

Suite aux données de l'historique, nous allons faire un histogramme montrant l'équipement à étudier :

**Tableau 7: Les sommes de TA**

Le poste	La somme(min)
La machine a moulé	3840
Zone de découchage	2315
Zone de pose noyau	865
Zone de séparation de châssis 2	665
Zone de séparation de châssis	380
Zone de refroidissement	335
Zone de coulée	165

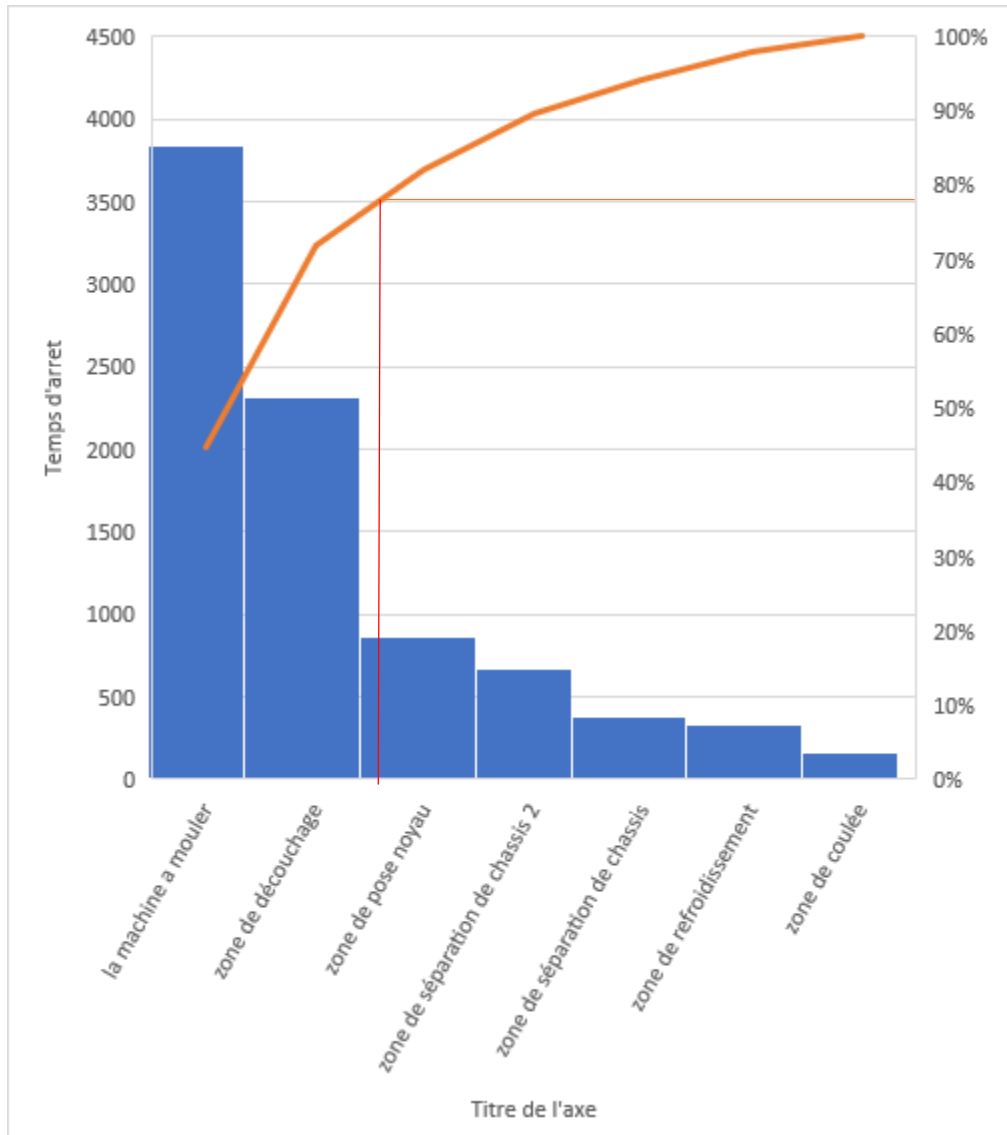


Figure 37: application de diagramme Pareto

### Conclusion :

Le diagramme de Pareto, montre clairement que deux équipements posent problèmes dans la ligne de moulage. Ces équipements doivent être étudiés sur le plan disponibilité et fiabilité.

### III.5.2 Application du modèle de WEIBULL

On doit donc appliquer le modèle Weibull sur la machine à mouler et la zone de decoupage.

- **Machine à mouler :**

Classement de TBF calcul de  $f(t)$  :



**Tableau 8: Classement de TBF**

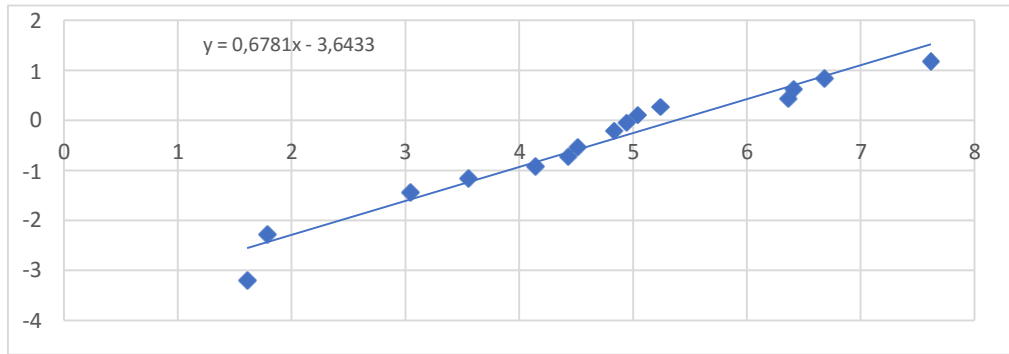
N	TBF(h)	ni	i	Ln (TBF)	Fi
1	5	1	1	1,609437912	4,0%
2	6	1	2	1,791759469	9,8%
3	21	2	4	3,044522438	21,3%
4	35	1	5	3,555348061	27,0%
5	63	1	6	4,143134726	32,8%
6	84	1	7	4,430816799	38,5%
7	91	1	8	4,510859507	44,3%
8	126	2	10	4,836281907	55,7%
9	140	1	11	4,941642423	61,5%
10	154	1	12	5,036952602	67,2%
11	189	1	13	5,241747015	73,0%
12	581	1	14	6,364750757	78,7%
13	609	1	15	6,411818268	84,5%
14	798	1	16	6,682108597	90,2%
15	2034	1	17	7,617759577	96,0%
<b>Somme</b>		<b>17</b>	<b>141</b>	<b>70,21894006</b>	

Donc on a :

$$N = 17 < 20 \Rightarrow f(t) = \frac{ni-0.3}{N+0.4}$$

Détermination des paramètres de WEIBULL :

Avec de l'aide de tableau de classement TBF on a tracé sur le papier de weibull la courbe de cette machine



**Figure 38: Application graphique de zone à mouler**

D'après la courbe on déduire les paramètres de Weibull :

Paramètre de forme  $\beta=0,6781$ ,  $\gamma=0$

Donc on estimer d'après le tableau de Weibull que : **A=1,366**

Paramètre d'échelle  $\eta=215,466699$

$$MTBF = A * \eta + \gamma$$

**MTBF=293,0347 h**

**MTTR= 3,76 h**

La fonction de densité de probabilité (PDF)

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left( \frac{t}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-\left( \frac{t}{\eta} \right)^\beta}$$

**f(t)=0,000822201**

la fiabilité et La fonction de densité cumulative :

$$R(T) = e^{-\left( \frac{t-\gamma}{\eta} \right)^\beta}$$

**R(MTBF)=0,2977=29,77%**

La densité :  $F(T)=1- R(T)$

$$F(MTBF)=0,7023=70,23\%$$

Le taux de défaillance :

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)}$$

$$\lambda(t)=0,00276\text{panne/heure}$$

La disponibilité :

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} * 100 = \frac{293,0347}{293,0347 + 3,76} 100 = 96,85\%$$

**Commentaires** : l'étude de cet équipement nous amène à conclure que notre équipement est en période de jeunesse,  $\beta=0,6781$ , cet équipement nécessite donc une maintenance préventive. Les calculs montrent aussi une disponibilité de 96 %, montrant ainsi une bonne performance de la machine et aussi de la technicité du personnel du service de maintenance.

- **Zone de découchage**

Classement de TBF calcul de  $f(t)$  :

	N	Ti	ni	i	Ln(Ti)	Fi
	1	5	1	1	1,60943791	6%
	2	7	1	2	1,94591015	15%
	3	49	1	3	3,8918203	24%
	4	140	1	4	4,94164242	32%
	5	147	1	5	4,99043259	41%
	6	210	1	6	5,34710753	50%
	7	308	1	7	5,73009978	59%
	8	462	1	8	6,13556489	68%
	9	1316	1	9	7,18235211	76%
	10	1386	1	10	7,23417718	85%
	11	1526	1	11	7,33040521	94%
somme			11	55	56,3389501	

**Tableau 9: classement de TBF**

Donc on a :

$$N = 11 < 20 \Rightarrow f(t) = \frac{ni - 0.3}{N + 0.4}$$

Détermination des paramètres de WEIBULL :

Avec de l'aide de tableau de classement TBF on a tracé sur le papier de Weibull la courbe de cette machine :

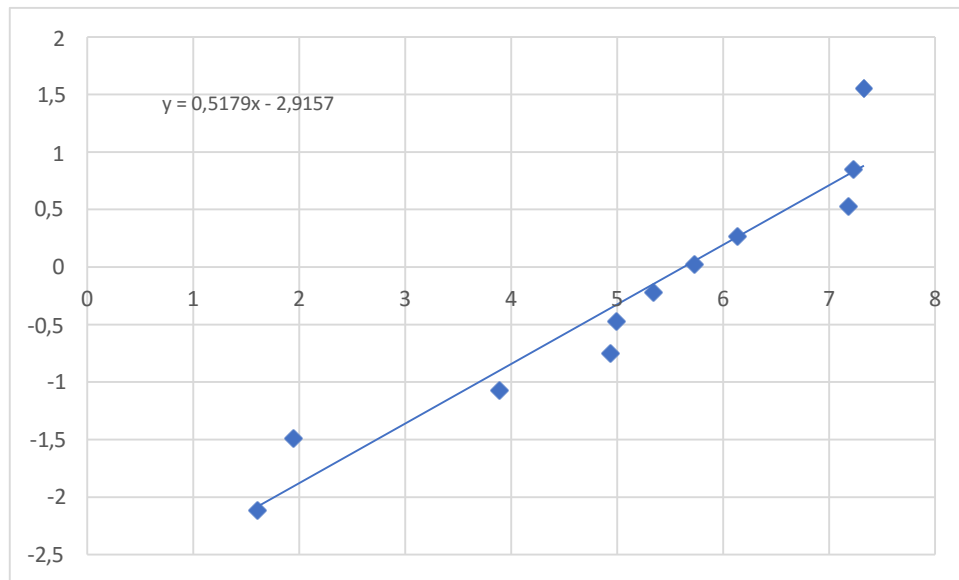


Figure 39: application graphique de zone découchage

D'après la courbe on déduire les paramètres de Weibull :

Paramètre de position  $\gamma=0$

Paramètre de forme  $\beta=0,5179$

Donc on estimer d'après le tableau de Weibull que :  $A=2$

Paramètre d'échelle  $\eta= 278,62069$

**MTBF= 557,241 h**

**MTTR= 3,50 h**

La fonction de densité de probabilité (PDF) $f(t)= 0,000317406 h$

La fiabilité et La fonction de densité cumulative :

$$R(MTBF)=0,35=35\%$$

$$F(MTBF)=1-0,35=0,65=65\%$$

Taux de défaillance :  $\lambda(t)=0,000905$ Panne/h

Disponibilité :

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} * 100 = \frac{557,241}{557,241 + 3,50} * 100 = 99,3745\%$$

**Commentaire :** l'étude de cet équipement nous amène à conclure que notre équipement est en période de jeunesse,  $\beta=0,5179$ , cet équipement nécessite donc une maintenance préventive. Les calculs montrent aussi une disponibilité de 99 %, montrant ainsi une bonne performance de la machine et aussi de la technicité du personnel du service de maintenance

**Tableau 10 : les résultats obtenus**

Les paramètres La zone	MTBF	MTTR	La fiabilité	La disponibilité
Zone de machine a mouler	293,0347	3,76	29,77%	96,85%
Zone de découchage	557,241	3,50	35%	99,3745%

## **Conclusion Générale**

Dans cette étude de fiabilité, nous avons évalué la disponibilité d'une machine et obtenu un résultat de 96%. Ce taux de disponibilité témoigne d'une performance élevée, indiquant que la machine était opérationnelle et prête à être utilisée pendant 96% du temps total. Cela signifie qu'elle a connu seulement 4% de temps d'arrêt, qu'il soit planifié ou imprévu.

Une disponibilité aussi élevée est considérée comme très bonne, car elle permet de maintenir une production régulière et de minimiser les perturbations dans les opérations. Cependant, il est important de noter que même de petits pourcentages de temps d'arrêt peuvent avoir un impact significatif sur la productivité à long terme.

Il est donc recommandé de surveiller attentivement la fiabilité de la machine et de collecter des données sur sa disponibilité sur une période plus longue. Cela permettra de détecter d'éventuelles tendances ou variations et de prendre des décisions éclairées en matière de maintenance préventive et d'amélioration continue. L'objectif est de maintenir et d'améliorer la fiabilité de la machine afin de garantir une production efficace et sans interruption.

Dans le cadre de perspectives futures, il est recommandé de poursuivre les recherches pour une application plus approfondie des méthodes Weibull et Pareto dans d'autres secteurs industriels. Des études supplémentaires peuvent être menées pour analyser les performances de différents équipements et identifier les facteurs spécifiques de défaillance. De plus, l'intégration de techniques avancées telles que l'analyse de la fiabilité basée sur les données en temps réel et l'apprentissage automatique peut permettre d'améliorer encore la précision des prédictions de défaillance.

## **Bibliographie**

- [1] F. • V. J.-P. Monchy, Maintenance, Dunod, 2012.
- [2] D. Bouami, le grand livre de la gestion des stocks, rue Francis de Pressensé: Afnor, 2019.
- [3] d. bouami, le grand livre de la maintenance, AFNOR , 2012.
- [4] D. Antoine et V. S. Isabelle, la loi de PARETO, FRANCE: 50 Minutes, 2015.
- [5] B. Samir, «fsi umbb,» 2018. [En ligne].
- [6] D. Bouami, le grand guide de l'organisation et la gestion de la maintenance, rue Francis de Pressensé, 93571 La Plaine Saint-Denis : Afnor, 2019.