



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur  
et de la Recherche Scientifique  
Université Abderrahmane Mira - Bejaia



Département Électrotechnique

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme

## **MASTER**

Domaine : **Science et Technologie**  
Filière : **Électromécanique**  
Spécialité : **Maintenance Industrielle**

- Thème -

---

---

# **Optimisation de la maintenance basée sur la fiabilité, cas d'une centrifugeuse discontinue**

---

---

*Présenté par*

**SADKINE Amine & YESSAD Boussaad**

*Soutenu le 15 / 09 / 2020 devant le jury composé de :*

---

---

<b>Pr N ROUHA</b>	Univ-Bejaia	<b>Président</b>
<b>Pr EH AIT MOKHTAR</b>	Univ-Bejaia	<b>Examineur</b>
<b>Pr R.LAGGOUNE</b>	Univ-Bejaia	<b>Encadreur</b>

---

---

*Année Universitaire 2019 / 2020*

## *Remerciements*

*Nous remercions avant tout, Dieu Clément et Miséricordieux le Tout-Puissant, de nous avoir donné la force et la puissance pour pouvoir mener ce travail à terme.*

*Nous remercions le professeur R.LAGGOUNE, notre encadreur pour l'honneur qu'il nous a fait en assurant le suivi du présent mémoire, et sa disponibilité tout au long de la réalisation de ce dernier, ainsi pour l'inspiration, l'aide et le temps qu'il nous a consacré et sans lui ce mémoire n'aurait jamais vu le jour...*

*Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions...*

*Nos sincères reconnaissances à nos enseignants du département génie électrique plus particulièrement ceux de la spécialité maintenance industrielle.*

*Nous remercions tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.*

*Enfin nous remercions nos deux familles YESSAD et SADKINE.*

## *Dédicaces*

*Je dédie ce travail :*

*A mes très chers parents qui m'ont beaucoup encouragé  
durant toutes mes années d'études*

*A mon frère Smail, à ma petite sœur Lamia et à mon cou-  
sin Nassim.*

*A toute ma famille.*

*A tous mes amis à leur tête :Said, Youdes, Halim, Ahmed,  
Sarah, Manel, Kosaila et Loucif.*

*A mon Professeur R.LAGGOUNE.*

*A mon binôme Boussaad et à sa famille.*

*Ainsi qu'à tous mes camarades de la promotion Mainte-  
nance industrielle 2020*

***SADKINE Amine***

## *Dédicaces*

Je dédie ce travail :

À mes très chers parents, qui ont su être à la hauteur avec leur compréhension et leurs incontestables encouragements pendant toute ma Carrière.

À mon frère Adel

À tous mes amis proches ou loin, plus exactement Lounis, Hicham et Salim

À mon binôme Amine

A mon Professeur R.LAGGOUNE

À vous, lecteur de ces dédicaces,

À toutes les personnes qui ont participé à l'élaboration de ce travail,

À tous ceux que j'ai omis de citer.

**Y.Boussaad**

# Table des matières

Remerciements . . . . .	I
Dédicaces . . . . .	II
Dédicaces . . . . .	III
Liste des figures . . . . .	VII
Liste des tableaux . . . . .	VIII
Liste des abréviations et symboles . . . . .	IX
<b>Introduction générale</b>	<b>1</b>
<b>I Notions fondamentales sur la maintenance et la fiabilité</b>	<b>2</b>
Introduction . . . . .	2
I.1 Approche à la maintenance . . . . .	2
I.1.1 Définition . . . . .	2
I.1.2 Objectif de la maintenance . . . . .	2
I.1.3 Types de maintenance . . . . .	3
I.2 Notion de la défaillance . . . . .	5
I.2.1 Défaillance (selon norme NF 60-011) . . . . .	5
I.2.2 Panne . . . . .	5
I.2.3 Évolution de la dégradation d'un bien . . . . .	5
I.3 Outils d'aide à la décision et diagnostic . . . . .	6
I.3.1 Méthode ABC (Pareto) . . . . .	6
I.3.2 Analyse des modes de défaillances par l'outil AMDEC . . . . .	7
I.4 Concepts de fiabilité et ses lois de probabilité . . . . .	10
I.4.1 Objectifs et intérêts de la fiabilité . . . . .	10
I.4.2 Fonction de fiabilité $R(t)$ et Fonction de défaillance $F(t)$ . . . . .	11
I.4.3 Taux de défaillance instantané . . . . .	13
I.4.4 Types de fiabilité : . . . . .	13
I.4.5 Lois de probabilité les plus utilisées en fiabilité . . . . .	14
I.4.6 Fiabilité par le modèle de <i>WEIBULL</i> . . . . .	15
I.4.7 La courbe en baignoire . . . . .	17
I.5 La maintenabilité et la disponibilité . . . . .	18
I.5.1 Maintenabilité . . . . .	18
I.5.2 La disponibilité . . . . .	19
Conclusion . . . . .	19

<b>II Maintenance Basée sur la Fiabilité MBF/OMF</b>	<b>20</b>
Introduction . . . . .	20
II.1 Présentation de la méthode OMF/MBF . . . . .	20
II.1.1 Historique et l'origine de la méthode . . . . .	20
II.1.2 Définition . . . . .	21
II.1.3 Objectifs . . . . .	21
II.2 Méthodologie de la MBF/OMF . . . . .	22
II.2.1 Représentation du système à étudier en schémas blocs . . . . .	22
II.2.2 Collecte des données . . . . .	23
II.2.3 Estimation de la loi de fiabilité de chaque composant . . . . .	23
II.2.4 Optimisation de la maintenance . . . . .	24
II.3 L'application des études d'optimisation de maintenance basée sur la fiabilité (OMF) . . . . .	24
II.3.1 Évaluation des stratégies de maintenance de type OMF . . . . .	25
II.3.2 Exploitation et comportement des équipements . . . . .	26
conclusion . . . . .	27
<b>III Optimisation de la Maintenance par la fiabilité cas d'une centrifugeuse discontinue</b>	<b>28</b>
Introduction . . . . .	28
III.1 Le choix d'équipements à étudier . . . . .	28
III.2 Collecte de données . . . . .	29
III.3 Description générale des éléments constitutifs de la centrifugeuse dis- continue . . . . .	29
III.3.1 Cuve de la turbine avec charpente de support . . . . .	30
III.3.2 Panier et arbre . . . . .	30
III.3.3 Centrage . . . . .	30
III.3.4 Entraînement . . . . .	31
III.3.5 Support . . . . .	31
III.3.6 Déchargeur . . . . .	31
III.3.7 Obturateur . . . . .	31
III.3.8 Palpeur de niveau . . . . .	31
III.3.9 Dispositif de chargement . . . . .	31
III.3.10 Dispositif de clairçage à l'eau . . . . .	32
III.3.11 Dispositif de clairçage à la vapeur . . . . .	32
III.3.12 Dispositif de nettoyage . . . . .	32
III.3.13 Séparateur des égouts . . . . .	32
III.3.14 Dispositifs de surveillance . . . . .	32
III.3.15 Le moteur . . . . .	32
III.3.16 Alimentation en masse cuite . . . . .	33
III.4 Les étapes de fonctionnement . . . . .	33
III.5 Analyse fonctionnelle . . . . .	33
III.5.1 L'analyse fonctionnelle par le diagramme Bête à corne . . . . .	33
III.5.2 L'analyse fonctionnelle par le diagramme pieuvre(externe) . . . . .	34
III.5.3 L'analyse fonctionnelle interne par le diagramme SADT . . . . .	35
III.5.4 Analyse fonctionnelle par le diagramme FAST (interne) . . . . .	36

III.6 Analyse AMDEC . . . . .	37
III.6.1 Récapitulatif de l'AMDEC . . . . .	43
III.6.2 Interprétation et recommandations . . . . .	43
III.7 Étude de fiabilité . . . . .	43
III.7.1 Recensement de données : . . . . .	44
III.7.2 Détermination de la loi de fiabilité . . . . .	44
III.7.3 Fonction de fiabilité $R(t)$ , la fonction de défaillance $F(t)$ et fonction de taux de défaillance $\lambda(t)$ . . . . .	45
III.7.4 Détermination des indicateurs de fiabilité, de maintenabilité et Disponibilité . . . . .	46
III.7.5 Interprétation des résultats . . . . .	47
III.7.6 Recommandations pour améliorer la fiabilité de la centrifu- geuse discontinue . . . . .	47
III.8 Optimisation de la périodicité . . . . .	47
III.8.1 Plan de maintenance préventif pour les éléments critiques . . .	49
Conclusion . . . . .	50
<b>Conclusion générale</b>	<b>51</b>
<b>Bibliographie</b>	<b>52</b>
<b>Annexe</b>	<b>54</b>

# Liste des figures

I.1	Schématisation des objectifs de la maintenance . . . . .	3
I.2	Organigramme de la maintenance. . . . .	4
I.3	L'évolution de la dégradation d'un bien en fonction du temps . . . . .	5
I.4	La courbe ABC . . . . .	6
I.5	Fonction de défaillance. . . . .	12
I.6	Courbe de la fonction de la fiabilité associée avec la fonction de défaillance . . . . .	12
I.7	(La courbe en baignoire )la fonction de taux de défaillance en fonction du temps . . . . .	17
I.8	Temps de fonctionnement d'un système réparable . . . . .	18
II.1	Schéma synoptique de la méthodologie . . . . .	22
II.2	Trois approches pour l'estimation de la fiabilité et de la durée de vie.[13]	24
II.3	Méthode d'optimisation de la maintenance basée sur la fiabilité . . . . .	25
II.4	Évaluation des performances de maintenance de type OMF . . . . .	26
II.5	Relations entre le profil d'exploitation et le comportement de matériels d'un système maintenu . . . . .	27
III.1	Différents éléments de la centrifugeuse.[14] . . . . .	30
III.2	Cycle de fonctionnement. . . . .	33
III.3	Bête à corne de la centrifugeuse . . . . .	34
III.4	L'analyse fonctionnelle par le diagramme pieuvre . . . . .	34
III.5	Diagramme SADT de la centrifugeuse . . . . .	35
III.6	Diagramme FAST de la centrifugeuse discontinue . . . . .	37
III.7	Fiabilité en fonction du temps . . . . .	45
III.8	Évolution de la probabilité de défaillance en fonction du temps. . . . .	46
III.9	La performance d'un composant en fonction du temps. . . . .	47
III.10	Atelier de turbinage cristallisation HP[14] . . . . .	55
III.11	La distribution de weibull par logiciel Ellistat . . . . .	56
III.12	Processus de raffinage de sucre.[14] . . . . .	57
III.13	Structure du papier de WEIBULL.[15] . . . . .	59
III.14	Cas d'une courbe concave et convexe. [15] . . . . .	59

# Liste des tableaux

I.1	Gravité G. . . . .	8
I.2	Fréquence F : indice d'apparition d'une défaillance. . . . .	9
I.3	Non-détection ND. . . . .	9
I.4	Échelle de criticité.[5] . . . . .	9
I.5	Tableau AMDEC . . . . .	9
III.1	Les fonctions principales et contraintes . . . . .	35
III.2	Table AMDEC de la centrifugeuse discontinue . . . . .	38
III.3	Récapitulatif de l'AMDEC . . . . .	43
III.4	Liste des TBF et des TTR . . . . .	44
III.5	Estimation de la période optimale . . . . .	48
III.6	Plan de maintenance préventif pour les éléments critiques. . . . .	49
III.7	Table de la loi gamma.[8] . . . . .	54

# Liste des abréviations et symboles

L'indice	Abréviation
<i>MTBF</i>	Moyenne des temps de bon fonctionnement en anglais (Mean Time Between Failures)
<i>MUT</i> :	mean up time (moyenne des temps de bon fonctionnement)
<i>TBF</i>	Temps de Bon Fonctionnement
<i>N</i>	Nombre de pannes
<i>D</i>	Disponibilité
<i>R</i>	Reliability
<i>TTR</i>	temps technique de réparation
<i>RCM</i>	Reliability Centered Maintenance
<i>AMDE</i>	Analyse des Modes de Défaillances et de leur Effet
<i>AMDEC</i>	Analyse des Modes de Défaillances, de leur Effet et de leur Criticité
<i>MSG</i>	Maintenance Steering Group
<i>TPM</i>	Totale Productive Maintenance
<i>G</i>	Gravité
<i>ND</i>	Non-détection
<i>C</i>	Criticité
<i>MTTF</i>	Moyenne des temps de la première défaillance (Mean Time to failure)
<i>MTL</i>	moyenne des temps logistiques
<i>OMF</i>	optimisation de la Maintenance par la Fiabilité
<i>MBF</i>	Maintenance basée sur la Fiabilité
<i>SADT</i>	Structured Analysis & Design
<i>FAST</i>	Function Analysis System Technique
<i>MPC</i>	Maintenance préventive Conditionnelle
<i>MPS</i>	Maintenance préventive Systématique
État A	État de la machine en arrêt
État F	État de la machine en fonctionnement
<i>F</i>	Fréquence
$\delta$	Marge de sécurité

# Introduction générale

Le développement de toute entreprise quel que soit son objectif dépend essentiellement du degré de l'efficacité de sa maintenance, les bonnes décisions et la bonne gestion de cette dernière permet d'augmenter la fiabilité et la disponibilité des équipements. Pour cela les entreprises doivent choisir avec précaution une politique de maintenance convenable et optimale pour le suivi de leurs équipements, ceux-ci se sont efforcés d'améliorer à la fin la rentabilité du matériel, autrement dit : le matériel reste plus longtemps, en sécurité et plus sûrement en service.

L'arrêt ou le fonctionnement anormal de l'un des systèmes de production engendre des coûts que les entreprises ne peuvent supporter. Elles ne peuvent plus attendre que la panne se produise pour y remédier mais doivent désormais s'organiser pour procéder aux diverses opérations qui permettent de l'éviter. La fiabilité est le meilleur moyen qui permet de connaître et maîtriser le comportement opérationnel des équipements afin de prendre des décisions optimales sur quelle politique de maintenance doit on appliquer. C'est justement l'objectif de notre travail.

nous avons réalisé notre travail sur un équipement de la raffinerie du sucre 3500T CeVital qui est intitulé « optimisation de la maintenance basée sur la fiabilité, cas d'une centrifugeuse discontinue ». l'objectif de notre étude est de déterminer les éléments critiques, connaître les lois de défaillances du système, détecter ses points faibles, identifier les modes de défaillance des sous-systèmes et choisir la politique de la maintenance adéquate pour améliorer sa disponibilité.

Notre travail est structuré de la manière suivante :

Pour le premier chapitre nous commençons par des généralités sur la maintenance, les lois de fiabilité, quelques outils d'aide à la décision et pour le diagnostic que nous allons utiliser dans la partie d'étude de cas.

Dans le chapitre deux nous présentons la méthodologie de la maintenance basée sur la fiabilité de façon détaillée et son importance pour l'optimisation des actions de la maintenance.

Dans le troisième chapitre nous faisons une application de la démarche MBF pour une centrifugeuse discontinue qui se trouve dans la raffinerie du sucre de Cevital-Béjaia, plus particulièrement, l'étude de l'analyse fonctionnelle et dysfonctionnelle, loi de fiabilité. Des solutions et des recommandations sont proposées pour améliorer la fiabilité de la centrifugeuse discontinue, un plan de maintenance préventif est également proposé.

# Chapitre I

## Notions fondamentales sur la maintenance et la fiabilité

### Introduction

Ce chapitre est consacré à présenter des rappels théoriques sur lesquels on va s'appuyer durant notre étude et nos calculs pratiques, pour cela nous avons commencé par des notions sur la maintenance puis des outils et des méthodes d'aide à la décision et pour le diagnostic afin de trouver les causes de dysfonctionnement, enfin l'étude de fiabilité et des généralités sur la maintenabilité et la disponibilité pour maîtriser le comportement de l'équipement et de proposer des solutions optimales.

### I.1 Approche à la maintenance

#### I.1.1 Définition

La maintenance est l'ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de gestion 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 [1].

#### I.1.2 Objectif de la maintenance

Toutes les activités d'un cycle d'exploitation d'un bien doivent être réalisées de façon à maximiser les effets positifs tout en minimisant les coûts. Il est donc important de s'assurer du bon déroulement de la fonction maintenance.

L'activité actuelle de la maintenance s'inscrit dans un cadre de participation à la réalisation des objectifs de productivité, de rentabilité et de croissance de l'entreprise.

Le choix et la mise en œuvre d'une stratégie de maintenance dépendent ainsi de nombreux paramètres. Il est nécessaire de pouvoir mesurer a priori les conséquences d'une telle stratégie sur les performances globales du système qui peuvent

n'apparaître qu'à long terme.

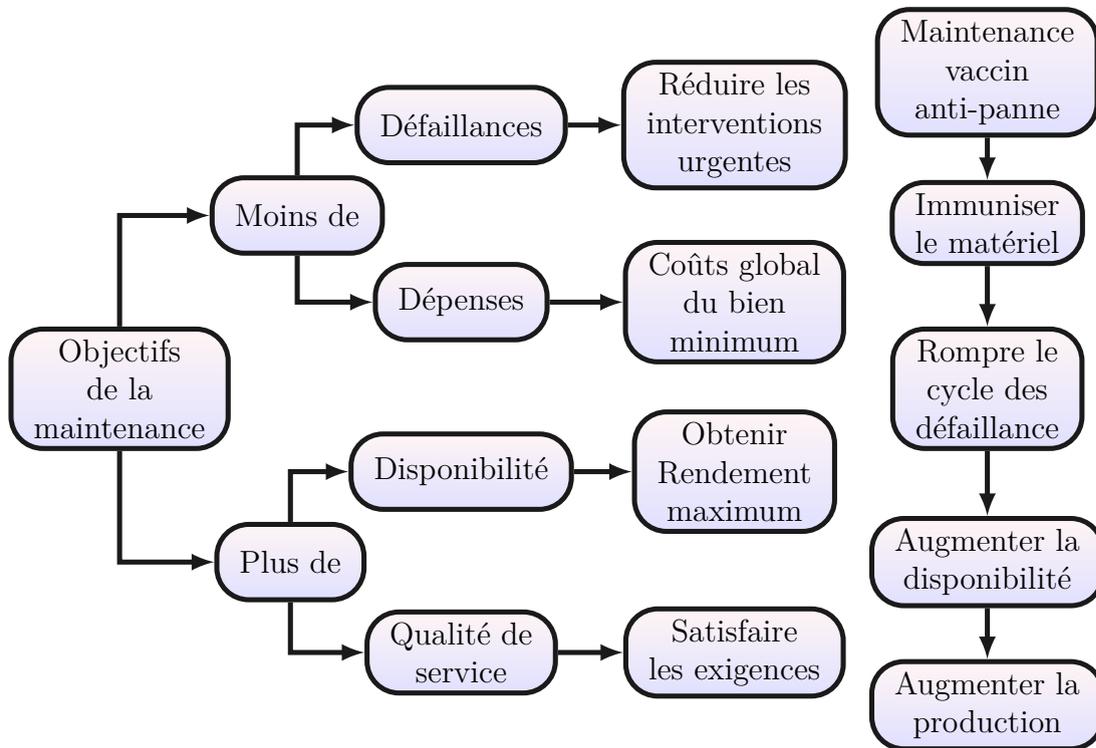


Figure I.1 – Schématisation des objectifs de la maintenance

### I.1.3 Types de maintenance

Les types de maintenance peuvent être répertoriés selon deux grandes catégories : la maintenance corrective, la maintenance préventive [Figure I.2](#).

La maintenance corrective est la maintenance qui intervient suite à la défaillance du système. La mise en place d'opérations correctives ne dépend que de l'occurrence d'une panne, alors que la maintenance préventive est réalisée lorsque le système est encore en fonctionnement.

Le recours à l'une ou à l'autre de ces stratégies diffère selon le système considéré, mais aussi, selon le type de structure d'organisation, la politique d'exploitation et de suivi, les coûts, la disponibilité de l'information, etc.

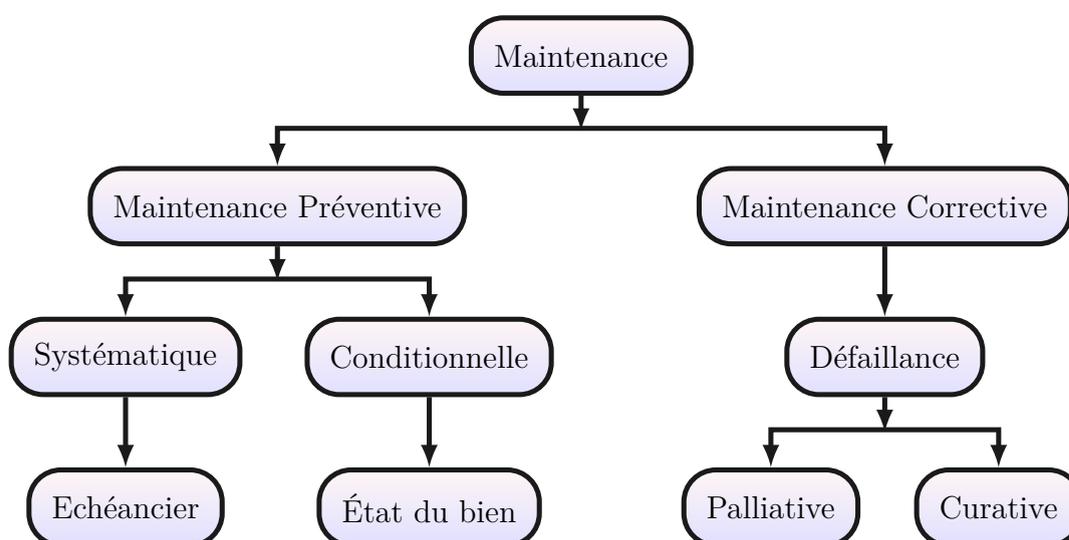


Figure I.2 – Organigramme de la maintenance.

### I.1.3.1 La maintenance corrective :

"C'est une maintenance exécutée après détection d'une panne et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise" [2], et elle se divise en deux types : [2]

- **La maintenance palliative** : Dépannage provisoire de l'équipement, permettant à celui-ci d'assurer tout ou une partie de ses fonction requise ; elle doit toutefois être suivie d'une action curative dans les plus brefs délais.
- **La maintenance curative** : Réparation durable consiste en une remise à état initial

### I.1.3.2 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 d'un bien".

On distingue deux types de maintenance préventive : [2]

- **Maintenance préventives systématique** : Maintenance exécutée selon un échéancier établi, selon le temps ou le nombre d'unités d'usage. Ce type de maintenance s'adresse à des éléments provoquant une perte de production ou des coûts d'arrêts imprévisibles classés comme important pour l'entreprise.
- **Maintenance préventive conditionnelle** : Maintenance qui s'appuie sur des techniques de diagnostic non destructives qui fournissent des renseignements sur l'état de dégradation d'un équipement. Elle permet une réduction significative des coûts mais suppose par ailleurs un investissement élevé en instrumentation de surveillance et d'analyse ainsi qu'en formation du personnel.

- **Maintenance prévisionnelle** : maintenance préventive subordonnée à l'analyse de l'évolution surveillée de paramètres significatifs de la dégradation du bien, permettant de retarder et de planifier les interventions.

## I.2 Notion de la défaillance

### I.2.1 Défaillance (selon norme NF 60-011)

Défaillance « Cessation de l'aptitude d'un bien à accomplir une fonction requise. Après une défaillance, le bien est en panne ». [3] Une défaillance peut être :

- **Partielle** : il y a altération d'aptitude du bien à accomplir sa fonction requise.
- **Complète** : il y a cessation d'aptitude du bien à accomplir sa fonction requise.
- **Intermittente** : le bien retrouve son aptitude au bout d'un temps limité action corrective.

### I.2.2 Panne

« 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 ». Le système de production passe de l'état de disponibilité à l'état de panne lorsqu'une défaillance survient. Une maintenance du système sera alors nécessaire pour repasser de l'état de panne à l'état opérationnel. La défaillance est la conséquence d'un défaut, dont la cause est une faute.



### I.2.3 Évolution de la dégradation d'un bien

La dégradation est la perte des performances d'une fonction assurée sans conséquences fonctionnelles sur un système.

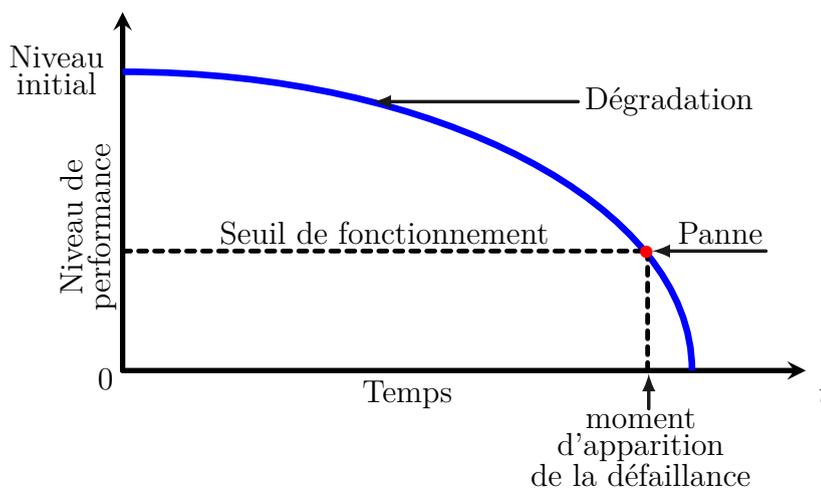


Figure I.3 – L'évolution de la dégradation d'un bien en fonction du temps

## I.3 Outils d'aide à la décision et diagnostic

### I.3.1 Méthode ABC (Pareto)

Parmi la multitude de préoccupations qui se posent à un responsable de maintenance, il lui faut décider quelles défaillances doivent être étudiées et/ou améliorer en premier. Pour cela, il faut déceler celles qui sont les plus importantes et dont la résolution ou l'amélioration serait le plus rentable, en particulier en terme de coûts d'indisponibilité.

La méthode ABC apporte une réponse. Elle permet l'investigation qui met en évidence les éléments les plus importants d'un problème afin de faciliter les choix et les propriétés. On classe les événement(pannes par exemple) par ordre décroissant de coûts(temps d'arrêts, coûts financier, etc...), chaque événement se rapportant à une entité. On établit ensuite un graphique faisant correspondre les pourcentages des coûts cumulés aux pourcentages de types de pannes ou de défaillance cumulés d'autre événement.[4]

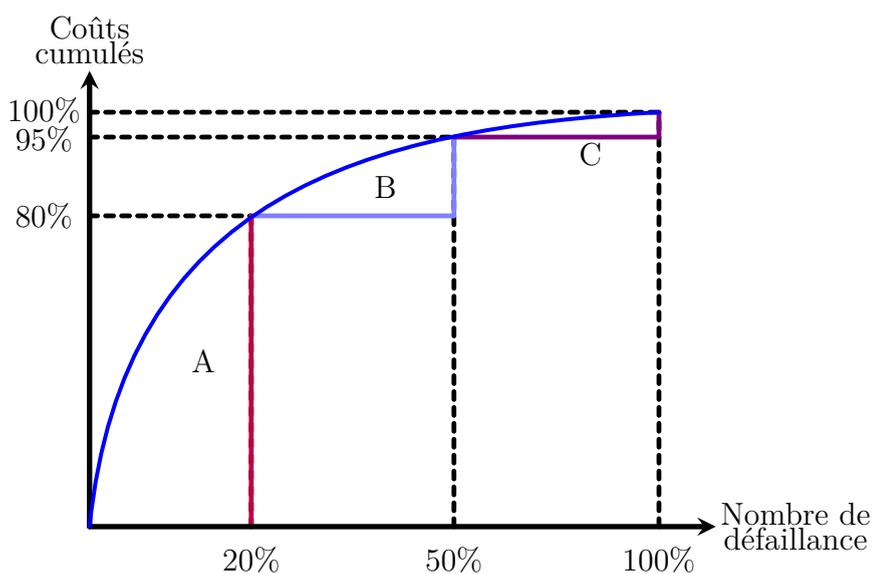


Figure I.4 – La courbe ABC

Sur le schéma on observe trois zones :

Zone A : 20% des pannes occasionnent 80% des coûts

Zone B : 30% de pannes supplémentaires ne coûtent que 15% supplémentaires

Zone C : 50% de pannes restantes ne concernent que 5% du coût global

#### Remarque

Il est évident que la préparation des travaux de maintenance doit être portée sur les pannes de la zone A.

### I.3.2 Analyse des modes de défaillances par l'outil AMDEC

L'AMDEC est une méthode d'analyse préventive qui recense et met en évidence les risques potentiels. L'« AMDEC conception » permet de déterminer les points faibles, de préciser les moyens de se prémunir contre certaines défaillances et de classer les défaillances selon certains critères (fréquences, capacité de détection, criticité, gravité, ... etc.).

L'AMDEC conception constitue donc un outil extrêmement puissant d'aide à la conception des systèmes. Cependant, bien qu'applicable lors de la conception, cette méthode d'analyse est plus performante lorsqu'elle est appliquée à des systèmes déjà en exploitation et que l'on veut améliorer la politique de maintenance.

AMDEC a pour objectif :[5]

- Identifier les causes et les effets de l'échec potentiel d'un **procédé** ou d'un **moyen de production**.
- d'identifier les actions pouvant éliminer (ou du moins réduire) l'échec potentiel

#### I.3.2.1 Les étapes de la méthode AMDEC

La méthode s'inscrit dans une démarche en quatre étapes, ainsi une phase préparatoire qui consiste en une collecte de données pour réaliser l'étude, la mise sur pied d'un groupe de travail et la préparation des dossiers, tableaux, logiciels.[6, 7]

##### **ÉTAPE 01 : Initialisation**

Cette étape consiste à poser clairement le problème, définir le contenu et les limites de l'étude à mener et à réunir tous les documents et informations nécessaires à son bon déroulement. Ceci passe par les étapes suivantes :

1. Définition du système à étudier.
2. Définition de la phase de fonctionnement.
3. Définition des objectifs à atteindre.
4. Constitution d'un groupe de travail.
5. Mise au point des supports de l'étude.

##### **ÉTAPE 02 : Décomposition fonctionnelle**

Cette dernière consiste à identifier clairement les éléments à étudier et leurs fonctions à assurer tel que :

1. Découpage du système.
2. Identification des fonctions des sous-ensembles.
3. Identification des fonctions des éléments.

C'est dans ce contexte que nous avons présenté l'analyse fonctionnelle dans la section précédente et dont les résultats de la décomposition en composantes élémentaires de la machine étudiée serviront comme une préparation à l'application de la méthode AMDEC.

**ÉTAPE 03 : Analyse AMDEC** Cette étape consiste à identifier les dysfonctionnements potentiels ou déjà constatés d'une machine, mettre en évidence les points critiques et proposer des actions correctives pour y remédier. Cette analyse repose sur les phases qui suivent :

1. **Analyse des mécanismes de défaillances** : dans cette phase on a quatre opérations :
  - Identification des modes de défaillances.
  - Recherche des causes.
  - Recherche des effets.
  - Recensement des détections.
2. **Évaluation de la criticité** : Il s'agit de pouvoir évaluer la défaillance à travers plusieurs critères par l'attribution d'une note à chacun des critères. En règle générale, on utilise trois critères ou indices : la fréquence, la gravité et la détection.
  - L'indice de fréquence « **F** » ou d'occurrence « **O** » marque la probabilité que la cause se produise et qu'elle entraîne le mode de défaillance concerné. C'est aussi une estimation de la probabilité d'occurrence de la cause de défaillance considérée.
  - L'indice de gravité « **G** » s'intéresse à la gravité provoquée par l'effet. C'est aussi l'impact des effets des défaillances sur le produit ou une estimation de la sévérité de l'effet maximum de la défaillance.
  - L'indice de détection « **D, N** ou **ND** », plus souvent appelé risque de non-détection par souci de synthèse, marque la probabilité que la cause et le mode étant apparus, la défaillance atteigne l'utilisateur.

L'indice de criticité « **C** » est la résultante des facteurs de risques présentés ci-dessus. Il est déterminé par le produit des trois indices

$$C = ND \times F \times G \quad (\text{I.1})$$

Si chaque indice est noté de 1 à 4, la criticité peut évoluer de 1 à 64. Plus l'indice est grand, plus le risque lié aux défaillances potentielles est élevé. Une stratégie d'amélioration des produits consiste à traiter les criticités supérieures à un seuil donné.

Tableau I.1 – Gravité G.

1	Arrêt de la production inférieure à une heure.
2	Arrêt de la production inférieure à 4 heures.
3	Arrêt de la production inférieure à 1 jour.
4	Arrêt de la production supérieure à 1 jour.

Tableau I.2 – Fréquence F : indice d'apparition d'une défaillance.

1	Moins d'une fois par an
2	Moins d'une fois par mois
3	Moins d'une fois par semaine
4	Plus d'une fois par semaine

Tableau I.3 – Non-détection ND.

1	Détection efficace permettant une action préventive.
2	Système présente des risques de non-détection dans certains cas.
3	Système de détection peu fiable.
4	Aucune détection.

Tableau I.4 – Échelle de criticité.[5]

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

**Étape 4 : Synthèse** Cette étape consiste à effectuer un bilan de l'étude et à fournir les éléments permettant de définir et lancer, en toute connaissance de cause, les actions à effectuer suivant cette démarche :

- Hiérarchisation des modes de défaillances.
- Liste des points critiques.
- Liste des recommandations.

Ce bilan va être résumé dans le tableau structuré comme suit

Tableau I.5 – Tableau AMDEC

Date d'analyse	AMDEC MACHINE-ANALYSE DES MODES DE DÉFAILLANCE DE LEUR ET DE LEUR CRITICITE					Phase normale	PAGE :			
	Système						NOM :			
Élément	Fonctions	Mode de défaillance	Cause de défaillance	Effet de défaillance	Détection	Criticité				Actions
						F	G	N	C	

### I.3.2.2 Les différentes actions de l'AMDEC

La finalité de l'analyse AMDEC, après la mise en évidence des défaillances critiques, est de définir des actions de nature à traiter le problème identifié. Les actions sont de 3 types :

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

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

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

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

- Plan d'action.
- Désignation d'un responsable de l'action.
- Détermination d'un délai.
- Détermination d'un budget.
- Révision de l'évaluation après mise en place de l'action et retour des résultats.

## I.4 Concepts de fiabilité et ses lois de probabilité

La fiabilité, a sans doute, pris son développement depuis la dernière guerre mondiale. Elle est vite devenue une science à part entière dans les applications appartenant à de nombreux domaines. Elle a pour fondements mathématiques la statistique et le calcul des probabilités qui sont nécessaires à la compréhension et à l'analyse des données de fiabilité.

La défaillance (la non fiabilité) augmente les coûts d'après-vente (application des garanties, frais judiciaires,...etc.).

Construire plus fiable augmente les coûts de conception et de production, en pratique, le coût total d'un produit prend en compte ces deux tendances.

### I.4.1 Objectifs et intérêts de la fiabilité

L'analyse de la fiabilité constitue une phase indispensable dans toute étude de sûreté de fonctionnement. A l'origine, la fiabilité concernait les systèmes à haute

technologie (centrales nucléaires, aérospatial). Aujourd'hui, la fiabilité est devenue un paramètre clé de la qualité et d'aide à la décision, dans l'étude de la plupart des composants, produits et processus "grand public" : Transport, énergie, bâtiments, composants électroniques, composants mécaniques....

De nombreux industriels travaillent à l'évaluation et l'amélioration de la fiabilité de leurs produits au cours de leur cycle de développement, de la conception à la mise en service (conception, fabrication et exploitation) afin de développer leurs connaissances sur le rapport Coût/Fiabilité et maîtriser les sources de défaillance.

L'analyse de la fiabilité dans le domaine de la mécanique est un outil très important pour caractériser le comportement du produit dans les différentes phases de vie, mesurer l'impact des modifications de conception sur l'intégrité du produit, qualifier un nouveau produit et améliorer ses performances tout au long de sa mission [8].

#### I.4.2 Fonction de fiabilité $R(t)$ et Fonction de défaillance $F(t)$

Considérons un matériel dont on étudie la fiabilité. Soit  $Z$  la variable aléatoire qui à chaque matériel associe son temps de bon fonctionnement. On choisit un de ces matériels au hasard. Soit les événements A : « Le matériel est en état de bon fonctionnement à l'instant  $t$  » et B : « Le matériel est défaillant à l'instant  $t + \Delta t$  » On a alors :

$$P(A) = P(T > t) \quad \text{et} \quad P(B) = P(T \leq t + \Delta t) \quad (\text{I.2})$$

Donc

$$\begin{aligned} P(A \cap B) &= P(t < T < t + \Delta t) \\ &= F(t + \Delta t) - F(t) \\ &= (1 - R(t + \Delta t)) - (1 - R(t)) \\ &= R(t) - R(t + \Delta t) \end{aligned}$$

On appelle la fonction de défaillance  $F$  définie pour tout  $t \geq 0$

$$F(t) = P(T \leq t) \quad (\text{I.3})$$

La fonction  $F(t)$  représente la probabilité qu'un dispositif choisi au hasard ait une défaillance avant l'instant  $t$ . La [Figure I.5](#) donne l'allure de cette fonction.

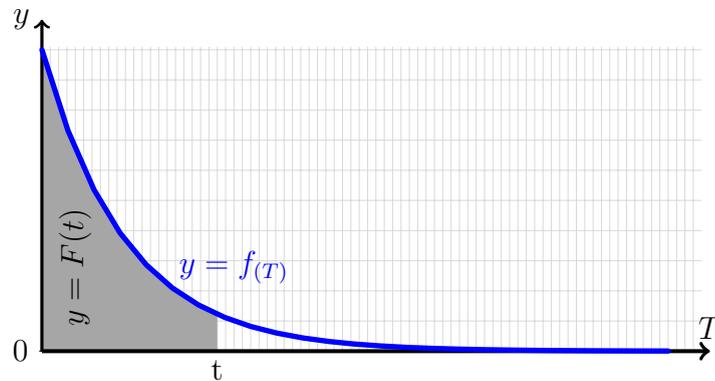


Figure I.5 – Fonction de défaillance.

tel que  $f(T)$  est la fonction de défaillance instantané

Cette fonction nous amène naturellement une fonction associée : la fonction de fiabilité  $R$  définie pour tout  $t \geq 0$  par :  $R(t) = 1 - F(t)$ . Le nombre  $R(t)$  représente la probabilité qu'un dispositif choisi au hasard dans la population n'ait pas de défaillance avant l'instant  $t$ . La Figure I.6 montre les deux fonctions associées.

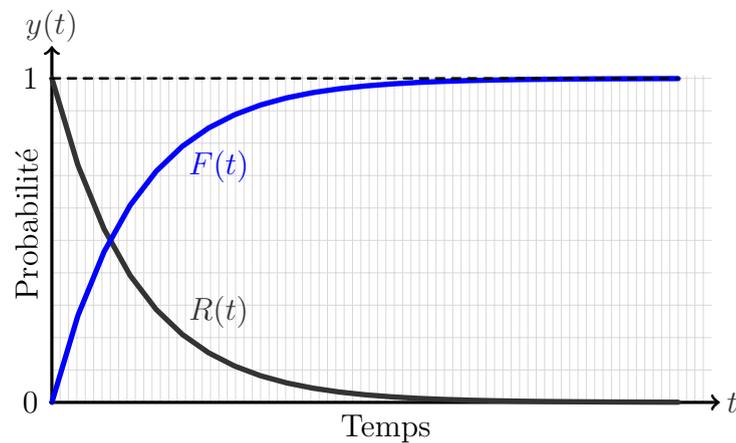


Figure I.6 – Courbe de la fonction de la fiabilité associée avec la fonction de défaillance

Le taux d'avarie moyen dans l'intervalle du temps  $[t; t + \Delta t]$  est alors :

$$\frac{R(t) - R(t + \Delta t)}{R(t)} \times \frac{1}{\Delta t} \quad (\text{I.4})$$

### I.4.3 Taux de défaillance instantané

C'est la probabilité ( $0 \leq R \leq 1$ ), un produit doit accomplir de manière satisfaisante une fonction requise, sous des conditions données et pendant une période de temps donné. L'écriture mathématique du taux de défaillance à l'instant  $t$ , noté  $\lambda(t)$ , défini sur  $R^+$  est la suivante :

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left( \frac{1}{\Delta t} \times \frac{R(t) - R(t + \Delta t)}{R(t)} \right) \quad (\text{I.5})$$

Physiquement le terme  $\lambda(t)$  et  $\Delta t$  mesurent la probabilité qu'une défaillance d'un dispositif se produise dans l'intervalle de temps  $[t; t + \Delta t]$  sachant que ce dispositif a bien fonctionné jusqu'à l'instant  $t$ .

$$\begin{aligned} \lambda(t) &= -\frac{dR(t)}{dt} \times \frac{1}{R(t)} \\ &= \frac{dF(t)}{dt} \times \frac{1}{R(t)} \\ &= \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1 - F(t)} \end{aligned}$$

où  $R$  est la fonction de fiabilité de ce matériel. On est alors amené à résoudre une équation différentielle du 1<sup>er</sup> ordre. En effet si  $\lambda$  est connu, la résolution de l'équation différentielle linéaire du 1<sup>er</sup> ordre :

$$R'(t) + \lambda(t)R(t) = 0 \quad (\text{I.6})$$

Donne la fonction de fiabilité  $R$  du matériel. On déduit alors la fonction de défaillance  $F$  qui est la fonction de répartition de la variable aléatoire de  $Z$  puis la densité de probabilité  $f$  de  $Z$  qui est la dérivée de variable  $F$ . On a alors :

$$R(t) = e^{-\int \lambda(x) dx} \quad \text{et} \quad F(t) = 1 - e^{-\int \lambda(x) dx} \quad (\text{I.7})$$

**Remarque :** la représentation des deux fonctions  $F$  et  $R$  sera comme celle dans la [Figure I.6](#).

### I.4.4 Types de fiabilité :

La fiabilité se distingue selon l'étape étudiée de la vie du système [8] :

1. **La fiabilité estimée ou intrinsèque :** est la fiabilité mesurée au cours d'essais spécifiques effectués dans le cadre d'un programme d'essai entièrement défini.
2. **La fiabilité prévisionnelle :** elle est obtenue à partir d'un modèle mathématique connaissant la fiabilité estimée de ces composants (modèles déductifs). Les propriétés du système complet sont déduites d'une connaissance détaillée des propriétés de ses composants.
3. **La fiabilité opérationnelle :** est la fiabilité mesurée sur des dispositifs en exploitation normale. Elle dépend des conditions réelles d'utilisation et du support logistique.

### I.4.5 Lois de probabilité les plus utilisées en fiabilité

Il est toujours possible d'associer à une variable aléatoire une probabilité et définir ainsi une loi de probabilité. Lorsque le nombre d'épreuves augmente indéfiniment, les fréquences observées pour le phénomène étudié tendent vers les probabilités et les distributions observées vers les distributions de probabilité ou loi de probabilité. Une loi de probabilité est un modèle représentant "au mieux", une distribution de fréquences d'une variable aléatoire. Les deux lois les plus utilisés en fiabilité sont, la loi exponentielle et la loi de WEIBULL.

#### I.4.5.1 La loi exponentielle

En raison des applications multiples de cette loi qui n'est autre qu'un cas particulier de la loi de Weibull, on présentera dans ce qui suit un large développement de cette loi avec plusieurs applications.

Nous allons étudier des phénomènes physiques où la durée de vie est l'intervalle de temps écoulé entre l'instant de la mise en fonctionnement ou de la naissance, et l'instant de la première panne ou de la mort.

La plupart des phénomènes naturels sont soumis au processus de vieillissement. Il existe des phénomènes où il n'y a pas de vieillissement ou d'usure. Il s'agit en général de phénomènes accidentels. Pour ces phénomènes, la probabilité, pour un objet d'être encore en vie ou de ne pas tomber en panne avant un délai donné sachant que l'objet est en bon état à un instant  $t$ , ne dépend pas de  $t$ . Par exemple, pour un verre en cristal, la probabilité d'être cassé dans les cinq ans ne dépend pas de sa date de fabrication ou de son âge. Par définition, on dit qu'une durée de vie est sans usure si la probabilité de survie à l'instant  $t$  ne dépend pas de  $t$ .

Les modèles de fiabilité basés sur le taux de panne aléatoire sont les plus utilisés.

#### Hypothèses :

- Le taux de défaillance  $\lambda(t)$  est indépendant de l'âge du système
- Pour le système qui opère sur demande, la panne à la  $n$ ème demande est indépendante de celles à la  $n - 1$  demande.
- Pour le système opérant en continu, ceci représente un  $\lambda(t)$  constant

Pour caractériser la durée de vie et mettre en évidence la notion de vieillissement. On montre en particulier l'utilité pratique de la loi exponentielle pour approcher la distribution des temps de panne. La densité de la loi exponentielle s'exprime par :

$$f(t) = \lambda \exp(-\lambda t) \quad (\text{I.8})$$

La fonction de répartition s'exprime :

$$F(t) = \int_{-\infty}^t f(t) dt = 1 - \exp(-\lambda t) \quad (\text{I.9})$$

donc la loi de fiabilité est :

$$R(t) = 1 - F(t) = \exp(-\lambda t) \quad (\text{I.10})$$

La moyenne des temps de bon fonctionnement **MTBF** est l'espérance mathématique de la densité  $f(t)$  et est un paramètre primordial estime la fiabilité et la disponibilité des systèmes et se calcul par l'expression :

$$MTBF = \int_{-\infty}^{+\infty} R(t) dt = \frac{1}{\lambda} \quad (\text{I.11})$$

**Remarque :** le modèle exponentielle est une loi simple, facile et rapide d'un seul paramètre  $\lambda$  utilisable dans l'étude de fiabilité lorsque le taux de défaillance  $\lambda$  est stable ou constant ( $\lambda = Cte$ ), autrement dit la loi répond lorsque le système atteint sa période de maturité.

#### I.4.5.2 La loi de Weibull

L'expression loi de Weibull recouvre en fait toute une famille de lois, certaines d'entre elles apparaissant en physique comme conséquence de certaines hypothèses. C'est en particulier le cas de la loi exponentielle ( $\beta = 1$ ) et converge vers loi normale cas de  $\beta = 3.6$ .

Sa densité de probabilité est :

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left( \frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \exp \left( - \left( \frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta} \right) \quad (\text{I.12})$$

Sa fonction de fiabilité est :

$$R(t) = \exp \left( - \left( \frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta} \right) \quad (\text{I.13})$$

Sachant que :  $\beta$  ,  $\eta$  et  $\gamma$  des paramètres de Weibull tel que :

$$\beta > 0, \eta > 0 \text{ et } \gamma \in ] - \infty; +\infty[$$

### I.4.6 Fiabilité par le modèle de **WEIBULL**

#### I.4.6.1 Définition

C'est une loi de fiabilité à trois paramètres qui permet de prendre en compte les périodes où le taux de défaillance n'est pas constant (jeunesse et vieillesse).

Les paramètres utilisés sont :

**Le paramètre de forme  $\beta$  :** ce paramètre donne des indications sur le mode des défaillances et l'évolution du taux de défaillances dans le temps, (tel que  $\beta > 0$ )).

$\beta < 1$	$\beta = 1$	$\beta > 1$
$\lambda(t)$ décroissant en fonction de $t$	$\lambda(t)$ constant	$\lambda(t)$ croissant en fonction de $t$

**Le paramètre d'échèle  $\eta$  :** ce paramètre prend l'unité du temps et permet d'utiliser le papier d'Allan Plait quelque soit l'ordre de grandeur de  $t$ . Il n'a donc pas à être interprété. ( $\eta > 0$ ).

**Le paramètre de position  $\gamma$  :**

Si  $\gamma < 0$ , une défaillance est déjà présente avant la collecte de donnée.

Si  $\gamma = 0$ , une probabilité de défaillance sera présente dès la mise en service du système.

Si  $\gamma > 0$ , la probabilité de défaillance dans les premières utilisations du système est nulle.

**Calculs des indices de fiabilité :** La fiabilité se caractérise par : fonction de défaillance  $F(t)$ , fonction de fiabilité  $R(t)$ , densité de probabilité  $f(t)$ , taux de défaillance  $\lambda(t)$  et la MTBF temps de bon fonctionnement entre deux défaillances consécutives.

**Le taux de défaillance  $\lambda$  :** la défaillance d'un équipement peut être caractérisée par un taux appelé le taux de panne noté  $\lambda(t)$ . Il est défini comme étant la probabilité conditionnelle que l'équipement tombe en panne entre les instants  $t$  et  $t + \Delta t$  sachant qu'il a survécu jusqu'à l'instant  $t$ .

D'après l'Équation I.6 les expressions mathématiques de chaque paramètre sont :

— **Taux de défaillance :**

$$\begin{cases} \lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \\ = \frac{\beta}{\eta} \times \left( \frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \end{cases} \quad (\text{I.14})$$

— **Fonction de fiabilité :**

$$R(t) = \exp \left[ - \left( \frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta} \right] \quad (\text{I.15})$$

— **Fonction de défaillance :**

$$F(t) = 1 - R(t) = 1 - \exp \left[ - \left( \frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta} \right] \quad (\text{I.16})$$

— **Densité de probabilité :**

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \times \left( \frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \times \exp \left[ - \left( \frac{t - \gamma}{\eta} \right)^\beta \right] \quad (\text{I.17})$$

— **Temps de bon fonctionnement :**

$$MTBF = \gamma + \eta \times \Gamma \left( 1 + \frac{1}{\beta} \right) \quad (\text{I.18})$$

Les valeurs de la fonction  $\Gamma$  sont tirées directement dans la table (voir l'[Annexe A](#)).

#### I.4.6.2 Domaine d'application

La distribution de Weibull est souvent utilisée dans le domaine de l'analyse de la durée de vie, grâce à sa flexibilité car elle permet de représenter au moins approximativement une infinité de lois de probabilité.

#### I.4.7 La courbe en baignoire

La détermination de façon expérimentale de cette courbe nécessite un grand nombre de données s'étalant sur une période couvrant la plage de la durée de vie des matériels. Ainsi, cette courbe ne pourra être déterminée dans sa totalité pour des mécanismes de technologie récente, ou pour des systèmes ne présentant pas de patrimoine statique suffisante, seule une partie de cette courbe sera mise en évidence ,néanmoins, il peut sous certaines conditions être tire des conclusions de politique de maintenance à suivre de faibles patrimoines statiques.

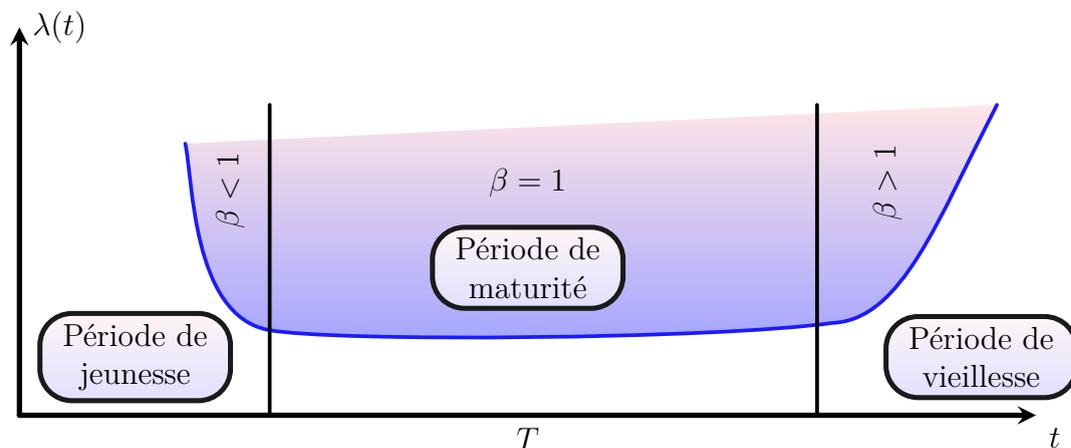


Figure I.7 – (La courbe en baignoire )la fonction de taux de défaillance en fonction du temps

— **Phase 1 :** La période de jeunesse ou de rodage, où le taux de défaillance est élevé au début de la vie du dispositif ensuite, il diminue assez rapidement

avec le temps (taux de défaillance décroissant) Les causes sont : défaut de fabrication, contrôle de qualité, conception, assemblage.

- **Phase 2** : La période de bon fonctionnement (maturité), où le taux de défaillance est approximativement constant, c'est la période de vie utile (ou période des pannes fortuites). Les causes sont : environnement, erreur humaine, catastrophes naturelles.
- **Phase 3** : La période de vieillissement le taux de défaillance est croissant, cette période correspond à une dégradation irréversible des caractéristiques du matériel, d'où une usure progressive.

## I.5 La maintenabilité et la disponibilité

Le schéma ci-dessous montre les états successifs que peut prendre un système réparable :

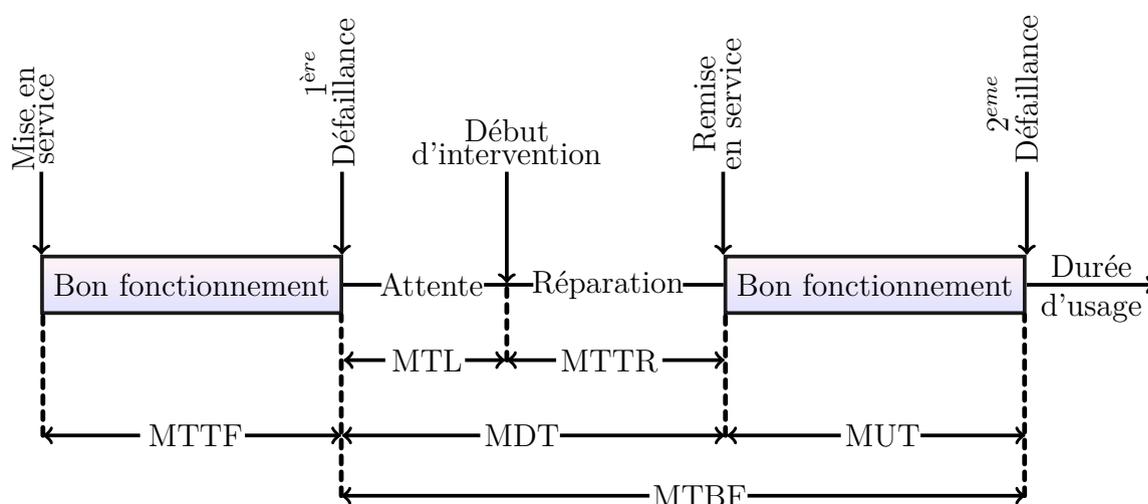


Figure I.8 – Temps de fonctionnement d'un système réparable

### I.5.1 Maintenabilité

Dans des conditions données, la maintenabilité est l'aptitude d'un bien à être maintenu ou rétabli dans un état où il peut accomplir une fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, en utilisant des procédures et des moyens prescrits. [8]

C'est aussi la probabilité de rétablir un système dans des conditions de fonctionnement spécifiées, en des limites de temps désirées, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, en utilisant des procédures et des moyens prescrits.

La maintenabilité peut se caractériser par sa *MTTR* (*Mean Time To Repair*) ou encore **M**oyenne des **T**emps **T**echniques de **R**éparation.

$$MTTR = \frac{\sum \text{Temps d'intervention pour } (n) \text{ pannes}}{\text{Nombre de pannes}} \quad (\text{I.19})$$

## I.5.2 La disponibilité

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. [9]

### I.5.2.1 Types et Quantification de disponibilité

Il existe deux types :

1. Disponibilité intrinsèque
2. Disponibilité opérationnelle

**Disponibilité intrinsèque :** elle exprime le point de vue du concepteur. Ce dernier a conçu et fabriqué le produit en lui donnant un certain nombre de caractéristiques intrinsèques, c'est à dire des caractéristiques qui prennent en compte les conditions d'installation, d'utilisation, de maintenance et d'environnement, supposées idéales. Elle est exprimé par :

$$D_i = \frac{MUT}{MUT + MTTR} \quad (\text{I.20})$$

**Disponibilité opérationnelle :** Il s'agit de prendre en compte les conditions réelles d'exploitation et de maintenance. C'est la disponibilité du point de vue de l'utilisateur. Le calcul de  $D_o$  fait appel aux paramètres  $MUT$ ,  $MTTR$  et  $MTL$  sauf que ces 3 paramètres ne sont plus basés sur les conditions idéales de fonctionnement mais sur les conditions réelles (historiques d'exploitation).

$$D_o = \frac{MUT}{MUT + MTTR + MTL} = \frac{MUT}{MUT + MDT} \quad (\text{I.21})$$

## Conclusion

Ce chapitre traite les notions élémentaires de la maintenance et de la fiabilité. De plus, Il montre clairement les méthodes à utiliser dans la prochaine étude technologique. Ces méthodes sont à la base des méthodes d'analyse et d'aide à la décision, elles donnent des indicateurs qui aident à prendre des bonnes décisions, qui vont construire un bon futur.

Nous avons ainsi présenté les différentes méthodes existantes pour étudier et analyser un système complexe, à savoir, la méthodes d'analyse dysfonctionnelle par l'AMDEC qui permet d'identifier et recenser les différents modes de défaillance d'un système.

# Chapitre II

## Maintenance Basée sur la Fiabilité MBF/OMF

### Introduction

Dans ce chapitre, on illustre une présentation de la démarche connue par Maintenance Basée sur la Fiabilité **MBF**, qui peut nous mener à l'optimisation des actions de maintenance. La finalité de la démarche est de cibler les actions de maintenance à mettre en place pour une rentabilité optimale.

L'application de la **MBF** pour les équipements dans l'industrie nécessite l'identification des éléments critiques, ainsi que leurs modes de défaillances et par la suite la détermination d'un plan d'action de maintenance optimal. La **MBF** est une approche qui utilise les différents outils issus des méthodes déjà bien connues telles que la matrice de criticité et les grilles d'analyse de modes de défaillance, de leurs effets et de leurs criticité (AMDEC).

### II.1 Présentation de la méthode OMF/MBF

#### II.1.1 Historique et l'origine de la méthode

C'est le secteur aéronautique qui a été précurseur en élaborant la méthode MSG (Maintenance Steering Group) à la fin des années 1960 pour définir les programmes de maintenance préventive des avions. Elle est à l'origine de la RCM (Reliability Centered Maintenance) développée aux États-Unis pour l'aviation militaire, puis reprise et adaptée par les exploitants de centrales nucléaires. Une norme de la en a repris les principes sous l'appellation francisée de MBF (Maintenance Basée sur la Fiabilité) pour en assurer une large diffusion à l'ensemble des secteurs industriels. Pour une présentation générale de ces méthodes et de leur historique, on pourra se reporter à l'article « Méthodes d'optimisation des stratégies de maintenance ». C'est en 1990 que, sur la base du MSG et de la RCM, EDF a commencé à développer la méthode d'optimisation de la maintenance par la fiabilité (OMF) pour réviser la maintenance préventive de ses centrales. Les premières études pilotes ont eu des résultats encourageants en montrant la faisabilité et les avantages de cette méthode.

Elles ont donc conduit à prendre la décision de l'appliquer sur une grande échelle à ensemble des installations. Ensuite, l'analyse de nombreux systèmes a permis de démontrer l'intérêt économique de ces études. La méthode n'est pas restée cantonnée au nucléaire et, après avoir subi diverses adaptations, elle a été appliquée aux lignes de transport d'électricité et aux turbines à gaz. Puis la démarche a été complétée pour y inclure une analyse des matériels «*passifs*» tels que les tuyauteries et les supportages. Cette approche qui tient compte des particularités de ce type de matériel est appelée «*OMF-structures* ». L'intérêt suscité par ces développements a fait tache d'huile et la méthode a été à nouveau adaptée pour être appliquée aux centrales conventionnelles, aux micro-turbines à combustion, aux éoliennes, aux aménagements hydrauliques, aux systèmes de compression d'air, etc. Enfin, les principes de l'OMF ont été utilisés pour considérer la maintenance et le soutien logistique dans la phase de conception des futurs réacteurs nucléaires. Les résultats de ces travaux sont devenus des recueils d'informations qui peuvent servir à alimenter de nouvelles études comme par exemple la définition des stocks de pièces de rechange, les effets sur la maintenance de nouveaux modes d'exploitation, la prévision de la durée d'exploitation de matériels ou de systèmes, etc [10].

### II.1.2 Définition

**RCM** : est une stratégie de maintenance globale d'un système technologique utilisant une méthode d'analyse structurée permettant d'assurer la fiabilité inhérente à ce système.

**MBF** : est une méthode destinée à établir un programme de maintenance préventive permettant d'améliorer progressivement le niveau de disponibilité des équipements critiques. une méthode reposant essentiellement sur la connaissance précise du comportement fonctionnel et dysfonctionnel des systèmes.

### II.1.3 Objectifs

#### Objectifs principaux

- Améliorer la disponibilité des équipements sélectionnés comme critiques par leur influence sur la sécurité, sur la qualité et par leur impact sur les flux de production.
- Améliorer la disponibilité implique la réduction des défaillances techniques par la mise en place d'un plan préventif « allant à l'essentiel », mais aussi la réduction des durées de pertes de production par une nouvelle répartition des tâches entre production et maintenance.

#### D'autres objectifs sont :

- la maîtrise des coûts par l'optimisation du plan de maintenance préventive, en faisant porter l'effort de prévention « au bon endroit au bon moment », donc par élimination de tâches préventives constatées improductives ;
- la mise en oeuvre d'une démarche structurée, par analyse systématique de chaque mode de défaillance qui permet de justifier les décisions prises ;

- la mise en oeuvre d'une démarche participative au niveau des groupes de travail MBF ou au niveau des tâches réparties entre production et maintenance ;
- la rapidité des résultats associés à une faible perturbation de l'organisation en place, par opposition à la TPM qui est une démarche globale de management à objectifs sur le long terme.

## II.2 Méthodologie de la MBF/OMF

Les différentes étapes générale de la méthodologie envisagée sont présentées à la Figure II.1

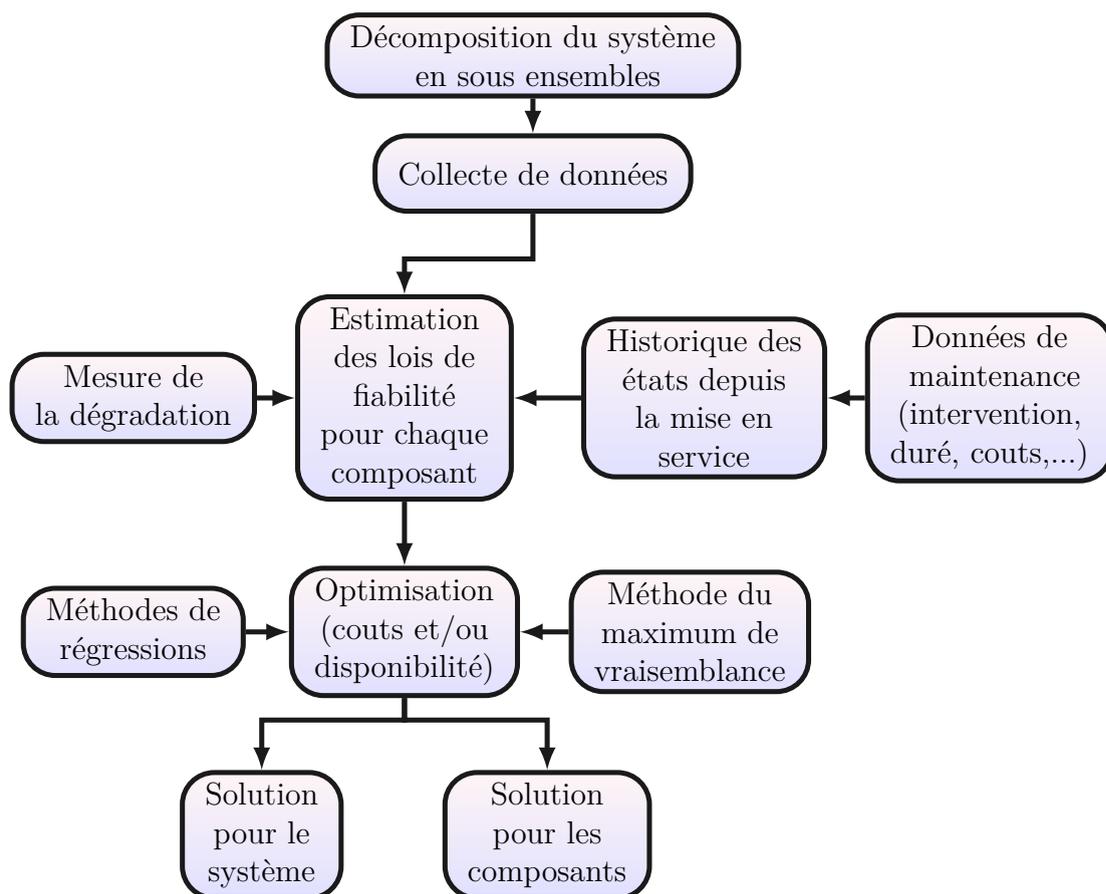


Figure II.1 – Schéma synoptique de la méthodologie

### II.2.1 Représentation du système à étudier en schémas blocs

De manière générale, un système est modélisé comme un ensemble d'éléments dont l'état de bon fonctionnement conditionne celui du système. Pour ce faire, on a recours à une analyse des modes de défaillance qui va conduire à un modèle topologique du système où chaque élément est représenté par un bloc. Ceux-ci sont associés

en série lorsque la défaillance d'un seul élément provoque la défaillance de l'ensemble. Par contre, pour qu'une association en parallèle soit défaillante, il faut que tous ses éléments le soient également. D'autres types de configurations sont envisageables, notamment pour modéliser une redondance ou un élément de secours.

## II.2.2 Collecte des données

L'étape suivante consiste à collecter des données pour chaque machine du système. Ces données peuvent être provenir d'un historique d'événements ou de mesures de dégradation. Dans le premier cas, les états de la machine sont enregistrés depuis sa première mise en service (mise en marche, première panne, maintenance, remise en marche, arrêt pour inspection, remise en marche, deuxième panne,...). Il peut parfois arriver que l'historique soit incomplet (données manquantes entre deux événements), les méthodes mises en œuvres doivent donc être capables de prendre en compte les données censurées. Dans le deuxième cas, les données de dégradation mesurées peuvent soit provenir d'inspections ponctuelles réalisées manuellement ou être enregistrées en continu à l'aide d'un dispositif de monitoring (VA. Koupnov) dans [11]. On distingue également les cas où la dégradation est directement mesurable ainsi que des cas où elle est mesurée d'une façon indirecte par l'intermédiaire de variables explicites de la dégradation (Co-variables).

## II.2.3 Estimation de la loi de fiabilité de chaque composant

La caractérisation de la fiabilité d'un équipement peut être obtenue selon trois approches qui se distinguent par le type de données qu'on dispose [Figure II.2](#). Ces données d'après (Fleurquin et al) peuvent correspondre à des temps de défaillance issus d'un historique de pannes (modèles statistique sur base d'un historique d'événements), à des mesures de la dégradation physique prélevées au cours du temps dont on connaît la loi de dégradation (modèles physique de défaillance), ou bien à l'évolution de variables explicites de la dégradation (suivi d'un indicateur de dégradation) [12].

Les méthodes d'estimation des lois de fiabilité à partir de ces données sont des méthodes de régression soit des méthodes de maximum de vraisemblance. Dans le premier cas, le principe consiste à linéariser la loi de fiabilité paramétrique que l'on souhaite ajuster et d'identifier les paramètres par une régression linéaire.

Dans le second cas, l'idée est d'estimer les paramètres de la loi de fiabilité qui maximisent la vraisemblance et de retrouver les temps de défaillances observées.

L'approche basée sur la fiabilité permet également de calculer la durée de vie résiduelle moyenne de l'équipement, c'est-à-dire l'espérance mathématique du temps de bon fonctionnement. Cette information est une donnée principale pour mettre en œuvre une politique de maintenance appropriée [13].

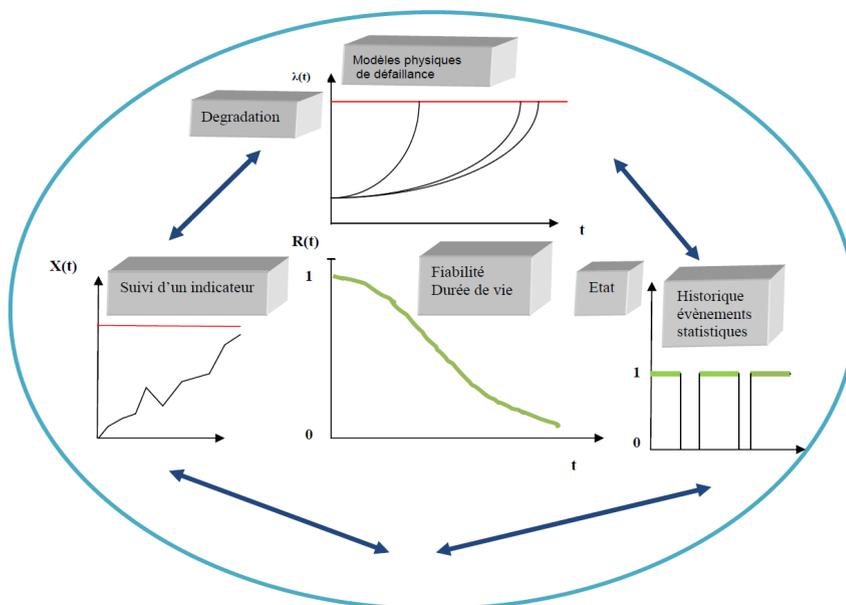


Figure II.2 – Trois approches pour l'estimation de la fiabilité et de la durée de vie.[13]

## II.2.4 Optimisation de la maintenance

Lorsque la fiabilité de chaque composant a été identifiée, la dernière étape consiste à déterminer la périodicité de la maintenance préventive optimale. Pour cela, les données de maintenance sont nécessaires. Parmi ces données on recense :[13]

- la possibilité de faire du correctif ou uniquement du préventif ;
- les coûts fixes du préventif et du correctif ;
- les coûts variables du préventif et du correctif, c'est-à-dire les couts indirectes liées aux pertes production ;
- la durée des interventions de la maintenance préventive et corrective ;
- la fréquence d'inspection de chaque composant ;
- le degré de réparation après une intervention de maintenance.

## II.3 L'application des études d'optimisation de maintenance basée sur la fiabilité (OMF)

L'application des études d'optimisation de maintenance basée sur la fiabilité (OMF) passe par plusieurs étapes :[13]

1. L'analyse fonctionnelle (représentations du fonctionnement des systèmes étudiés)
2. L'analyse de dysfonctionnement des systèmes (identification des modes de défaillance des équipements)
3. L'analyse du retour d'expérience (rassembler les données essentielles pour établir les choix de maintenance)

4. La quantification de la criticité des composants du système (fournir les informations nécessaires à l'évaluation de la criticité des modes de défaillances)
5. La sélection des tâches de maintenance (proposition des tâches élémentaires justifiées pour couvrir les modes de défaillance significatifs et écrire le programme de maintenance préventive)

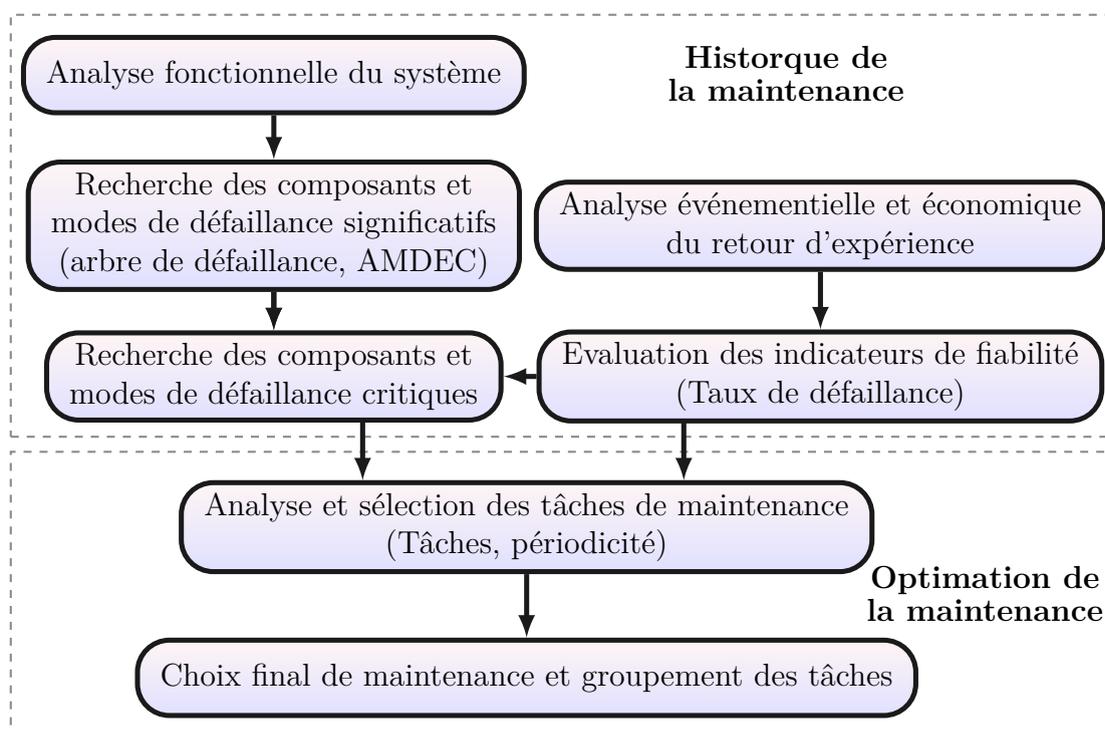


Figure II.3 – Méthode d'optimisation de la maintenance basée sur la fiabilité

A partir du retour d'expérience (*REX*), on détermine ce qui est passé aux équipements ou composants en termes de fiabilité, disponibilité et coûts, et les actes de maintenance ou modification réalisées.

Durant la phase d'évaluation des risques on envisage les événements graves qui pourraient se passer, et on met en œuvre les techniques d'analyse de fonctionnement et de dysfonctionnement pour prévenir les défaillances jugées grave et qui ont de forte chance de se produire, afin d'envisager des tâches de maintenance préventive. Durant la phase d'optimisation de la maintenance on détermine les tâches à effectuer ainsi que leurs fréquences de réalisation.

### II.3.1 Évaluation des stratégies de maintenance de type OMF

Une stratégie de maintenance peut être définie comme une règle de décisions qui établit la séquence des actions de maintenance à entreprendre en fonction du niveau

de dégradation de l'équipement et des seuils acceptables d'exploitation. Chaque action de maintenance permet de spécifier l'utilisation des ressources appropriées.

Un coût est encouru pour effectuer chaque action de maintenance. Les performances d'un programme de maintenance défini par le processus OMF peuvent être obtenues après plusieurs années d'application, et entraîner éventuellement des modifications pour la mise en œuvre d'un programme.

Pour éviter d'attendre à nouveau plusieurs années d'application avant d'obtenir ces informations, il semble nécessaire de pouvoir prédire l'évolution de la fiabilité des équipements et ainsi les conséquences de la mise en place du nouveau programme, comme il est montré sur la [Figure II.4](#).

La modélisation du programme de maintenance, traduit l'objectif visé et les contraintes techniques et économiques en fonction des variations de décisions et des paramètres qui caractérisent la stratégie de maintenance considérée, et permet, entre autres, d'établir les conditions d'existence et d'unicité d'une stratégie optimale et d'effectuer des analyses de sensibilité.

La prise en compte, dans le modèle, de tous les facteurs ayant un impact significatif sur la tenue de l'équipement et sur sa performance peut conduire à des modèles analytiques complexes et parfois difficiles à résoudre.[\[13\]](#)

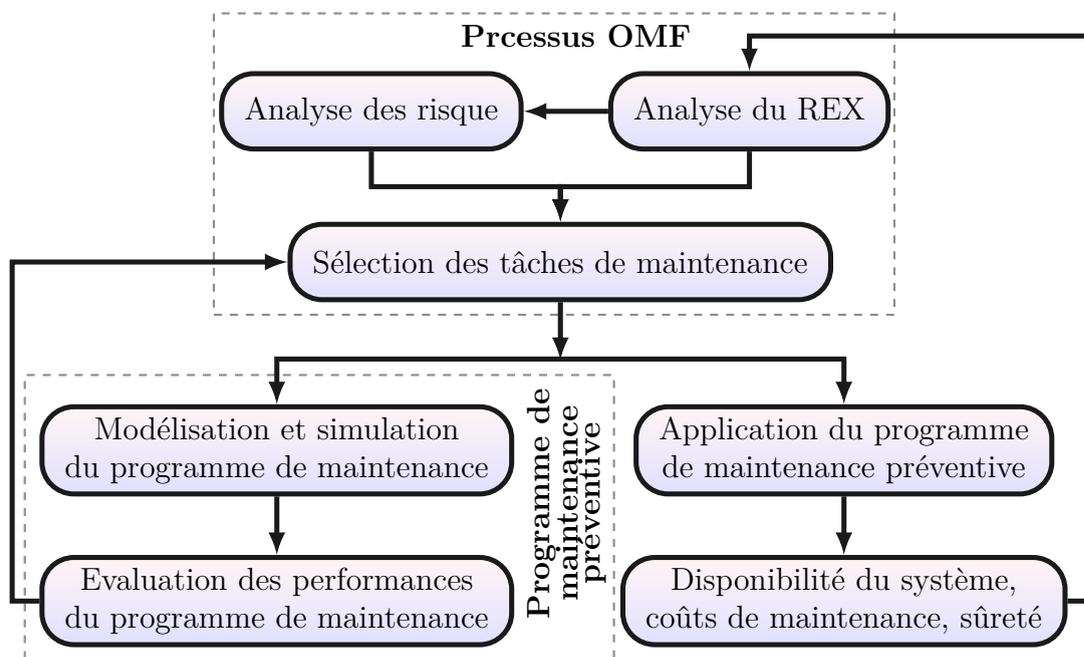


Figure II.4 – Évaluation des performances de maintenance de type OMF

### II.3.2 Exploitation et comportement des équipements

Il est nécessaire de décrire la globalité du comportement des équipements, comme le montre la [Figure II.5](#) ; de manière à faire apparaître l'impact des conditions d'utili-

sation sur l'évolution des dégradations et ainsi l'occurrence des modes de défaillance en prenant en compte les tâches de maintenance réalisées.

En connaissant les effets des conditions d'exploitation sur les performances du système, on peut quantifier l'impact d'une modification envisagée et décider alors d'optimiser le profil d'utilisation ou d'adapter le programme de maintenance aux nouvelles conditions de fonctionnement.

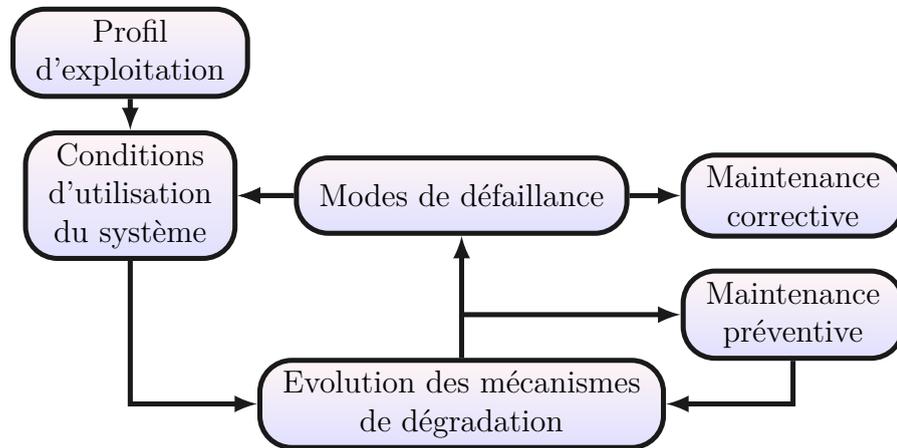


Figure II.5 – Relations entre le profil d'exploitation et le comportement de matériels d'un système maintenu

## Conclusion

Au cours de ce chapitre, nous avons passé en revue toutes les caractéristiques des études de fiabilité des systèmes plus particulièrement méthode d'optimisation de la maintenance basée sur la fiabilité. Le principal objectif de ce chapitre est de maîtriser la méthodologie afin de trouver une solution optimale pour le système à étudier dans le prochain chapitre.

# Chapitre III

## Optimisation de la Maintenance par la fiabilité cas d'une centrifugeuse discontinue

### Introduction

Ce chapitre est consacré sur l'application de la démarche de la maintenance basée sur la fiabilité pour la centrifugeuse discontinue qui fait appel aux divers outils de management et technique que nous avons vu dans les parties précédentes. Donc il est primordial de présenter et d'appliquer avant des méthodes pour l'analyse fonctionnelle et dysfonctionnelle qui sont des étapes nécessaires dans la démarche et qui nous permettront de comprendre le principe de fonctionnement et la décomposition fonctionnelle du système. En suite l'étude de fiabilité pour avoir une vue globale sur l'état de fonctionnement, on finira par un plan de maintenance préventif qui va contribuer sur l'organisation et l'optimisation des tâches de maintenance afin d'améliorer la disponibilité de la machine.

La centrifugeuse discontinue autrement appelée turbine discontinue est l'un des équipements les plus stratégiques au sein de l'entreprise CeVital qui se trouve dans la raffinerie du sucre, atelier de turbinage cristallisation HP.(voir [Annexe B](#))

### III.1 Le choix d'équipements à étudier

Pour appliquer la démarche, on aura besoin de données, ce pour cela on a proposé un équipement qu'on a déjà vu dans notre stage en licence.

Notre choix s'est porté sur la turbine discontinue S651N (Centrifugeuse-discontinue). En effet ce choix est motivé par les considérations suivantes :

- Selon le stage qu'on a effectué en licence au sein de l'entreprise de CeVital-Béjaïa plus précisément dans la raffinerie du sucre 3500T, les turbines discontinues sont parmi les équipements qui subissent trop de pannes dans l'entreprise.

- La raffinerie du sucre 3500T plus particulièrement dans la phase de cristallisation du sucre dans l'atelier de turbinage de haut produit(HP), composée de 7 turbines discontinues référencées par (S651N, S655N, S653N, S652N, S657N, S656N, S654N), la **turbine discontinue-S651N** est la plus critique parmi les sept.
- L'étude et analyse d'une seule turbine peut être appliquée ou généralisée aux 6 autres, puisque, elles sont de même famille, ont la même date de mise en service et les conditions d'exploitations sont les mêmes.

### III.2 Collecte de données

Pour collecter les données nécessaires à la présente étude, nous nous sommes basés sur :

- notre projet de fin de cycle licence.
- notre ancien rapport de stage.

Nous rappelons que lors de la collecte de données durant la réalisation de notre projet de fin de cycle (licence), nous avons consulté les documents suivant :

- Le fichier historique, ces documents sont archivés par le bureau méthode sous un logiciel *Coswin8i*.
- documentation technique de l'équipement.
- Avis des ingénieurs de maintenance.
- Site internet de constructeur de la machine (BMA).

### III.3 Description générale des éléments constitutifs de la centrifugeuse discontinue

La turbine discontinue de marque BMA est globalement composée de :[\[14\]](#)

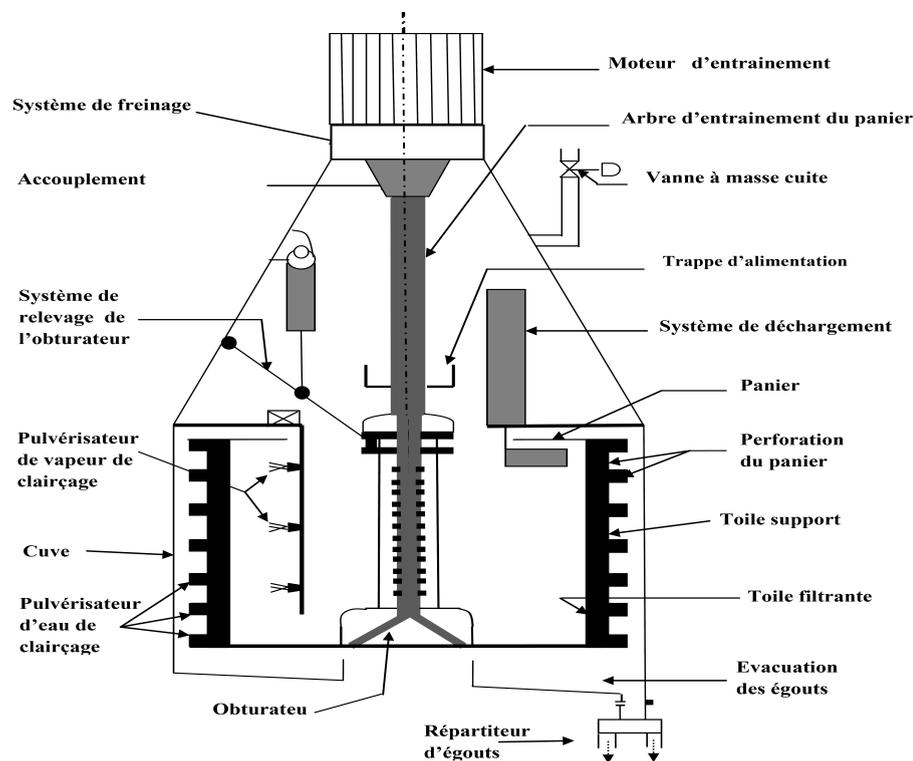


Figure III.1 – Différents éléments de la centrifugeuse. [14]

### III.3.1 Cuve de la turbine avec charpente de support

Ces deux éléments constituent le bâti fixe et l'ensemble porteur de la turbine. Outre la réception, le raccordement de la charpente de support et des ensembles déchargeur élément d'étanchéité du dispositif d'amenée de la masse cuite, contrôle automatique de chargement, système de clairçage et séparateur des égouts.

### III.3.2 Panier et arbre

C'est un cylindre en acier, renforcé par des cerclages en acier appelés frettes, que augmente sa résistance. Il est perforé et doit résister à des forces considérables. Pendant la centrifugation, le poids de la masse cuite peut être multiplié par 1500. Il est également équipé de toile qui va permettre la séparation du sucre et des égouts.

L'arbre du panier a pour rôle d'entraîner le panier en rotation. Son diamètre important est prévu pour transmettre le couple moteur extrêmement élevé.

### III.3.3 Centrage

Le dispositif de centrage se compose d'une douille cylindrique fixée sur l'arbre, d'une bague à quatre rouleaux qui, pendant le service, roulent sur la douille, ainsi que de la réception extérieure transmettant les forces produites au couvercle.

### **III.3.4 Entraînement**

L'entraînement est composé de la tête d'entraînement avec deux roulements permettant le regraissage, d'une rotule semi-sphérique pour permettre les mouvements d'oscillation et de ressorts en caoutchouc pour les amortir, de l'accouplement, du frein, de l'alarme d'oscillations et des transmetteurs de vitesse.

### **III.3.5 Support**

Le support est composé d'une tête avec quatre pieds de support carrés. La tête est destinée à recevoir l'accouplement et le frein, de manière à ce qu'aucune poussière de freinage ne puisse sortir.

### **III.3.6 Déchargeur**

Le déchargeur a pour fonction d'évacuer le produit du panier en l'abimant le moins possible. Pour des raisons de protection des cristaux, la vitesse de déchargement de la turbine doit être maintenue à un niveau aussi faible que possible (entre 50 et 70 tr/mn).

### **III.3.7 Obturateur**

L'obturateur est un cône en tôle avec bague de centrage montée. La vanne de fond fermée réalise l'étanchéité du panier de la turbine dans chaque phase du cycle de travail. Le vérin de manœuvre de la vanne de fond est un vérin pneumatique à double effet. Les fonctions d'alimentation en masse cuite, déchargeur et obturateur sont liées entre elles par l'intermédiaire de la commande.

### **III.3.8 Palpeur de niveau**

La régulation automatique de la quantité de masse cuite alimentée se fait par l'intermédiaire du palpeur de niveau fixé sur le couvercle de la cuve. Au début du process de chargement, le palpeur est libéré par cylindre pneumatique et, sous la pression d'un ressort, commence son chemin vers la paroi du panier. La couche de masse cuite fait retourner le bras du palpeur. Une fois l'épaisseur de couche préfixée atteinte, un détecteur de valeur limite émet le signal pour l'achèvement du process de chargement (il faut tenir compte d'un égouttement postérieur de masse cuite dû au temps de fermeture de la vanne de chargement). L'impulsion donnée sert en même temps à amorcer le vérin pneumatique qui entraîne le mouvement du bras du palpeur vers le centre du panier.

### **III.3.9 Dispositif de chargement**

Le dispositif de chargement se compose de la tubulure pour le raccordement au malaxeur de distribution, de la vanne de chargement à commande pneumatique, du positionneur, de l'unité des fins de course, de la trémie de chargement et du clapet de sécurité.

### III.3.10 Dispositif de clairçage à l'eau

Le dispositif de clairçage à l'eau est composé de la rampe de clairçage à l'eau, du flexible de raccordement orientable et de la vanne d'arrêt à commande pneumatique. Le dispositif de clairçage a pour fonction d'asperger à un moment prévu pendant une durée déterminée une quantité définie de fluide auxiliaire (eau, vapeur) sur le produit se trouvant dans le panier. Les impuretés adhérentes sont ainsi évacuées. En outre, les toiles sont lavées à la fin de chaque cycle.

### III.3.11 Dispositif de clairçage à la vapeur

Si le clairçage à la vapeur est réalisé avec de la vapeur surchauffée, celui-ci s'effectue avant tout en vue d'un séchage préalable du produit. Dû à la température élevée, une grande partie de l'humidité s'évapore de façon à ce qu'une humidité résiduelle réduite du produit est atteinte. Le dispositif de clairçage à la vapeur peut également être utilisé pour un réchauffement préalable de la centrifugeuse

### III.3.12 Dispositif de nettoyage

Dispositif de nettoyage automatique dans la sortie de sucre. Il est possible d'installer un dispositif de nettoyage dans le cône de sortie de produit qui empêche de façon efficace la formation d'incrustations. Il s'agit d'une tôle vibratoire conique raccordée avec la cuve moyennant des ressorts et actionnée par des moteurs pneumatiques de vibration. Le dispositif de nettoyage devrait être actionné à peu près toutes les 2 à 3 h, c-à-d. à intervalles de 50 cycles, mais peut être ajusté librement.

### III.3.13 Séparateur des égouts

Il a pour fonction l'évacuation de la liqueur mère égouts pauvre et l'égout riche.

### III.3.14 Dispositifs de surveillance

Les turbines sont équipées de différents dispositifs de surveillance. Ces dispositifs sont : Système de contrôle des oscillations, Détecteur de vibration, Surveillance de la vitesse de rotation.

### III.3.15 Le moteur

Il assure la rotation du panier à des vitesses différentes suivant les phases du cycle. Il est lié rigidement au bâti. L'arbre du moteur et celui du panier sont accouplés élastiquement pour permettre l'absorption des vibrations du balourd éventuel. Le moteur présente les caractéristiques suivantes : ABB - moteur asynchrone de 250 KW - 1744 trs/mn et  $\cos(\phi) = 0,8$ .

### III.3.16 Alimentation en masse cuite

L'alimentation en masse cuite conduit la masse cuite directement depuis la No-chere jusqu'au panier de la turbine via la goulotte à clapet et le dispositif auxiliaire de distribution. La vision fermée garantit une amenée sans impuretés de la masse cuite.

## III.4 Les étapes de fonctionnement

Les centrifugeuses discontinues travaillent de façon entièrement automatique et par cycles. Un cycle se compose de :[14]

1. Chargement
2. Accélération
3. Clairçage
4. Essorage
5. Freinage
6. Déchargement
7. Lavage des tamis.

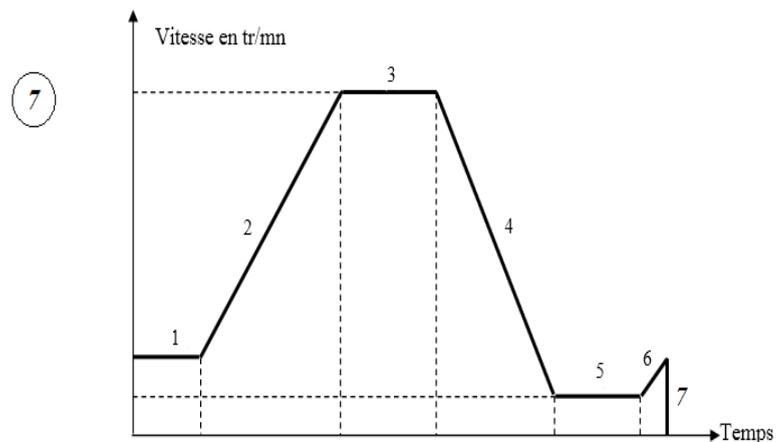


Figure III.2 – Cycle de fonctionnement.

Pour plus de détail (voir l'[Annexe G](#) )

## III.5 Analyse fonctionnelle

### III.5.1 L'analyse fonctionnelle par le diagramme Bête à corne

la méthode d'expression du besoin repose sur les trois questions suivantes :

- A qui le produit rend-il le service ?
  - A celui qui l'utilise : l'entreprise CeVital.
- Dans quel but ?
  - Pour satisfaire le besoin exprimé : séparer les cristaux du sucre de l'égout.
- Sur quoi le produit agit-il ?
  - la matière d'œuvre : la masse cuite.

Le diagramme des prestations (bête à corne) est le schéma normalisé de l'expression du besoin.

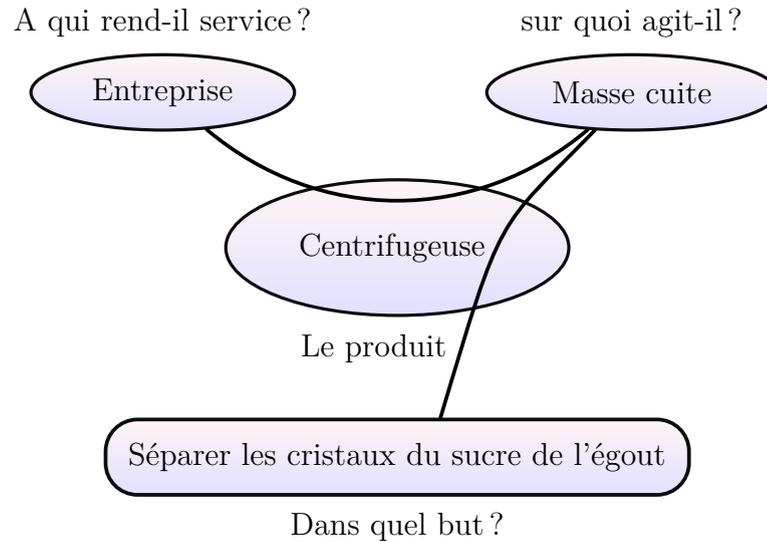


Figure III.3 – Bête à corne de la centrifugeuse

### III.5.2 L'analyse fonctionnelle par le diagramme pieuvre(externe)

L'analyse fonctionnelle du besoin par le diagramme de pieuvre permet de caractériser les fonctions de service attendues et générées par l'usage du produit.

- Les fonctions principales (FP) : les fonctions pour lesquelles le produit a été créé.
- Les fonctions contraintes (FC) : traduisent des réactions ou des adaptations à des éléments du milieu extérieur.

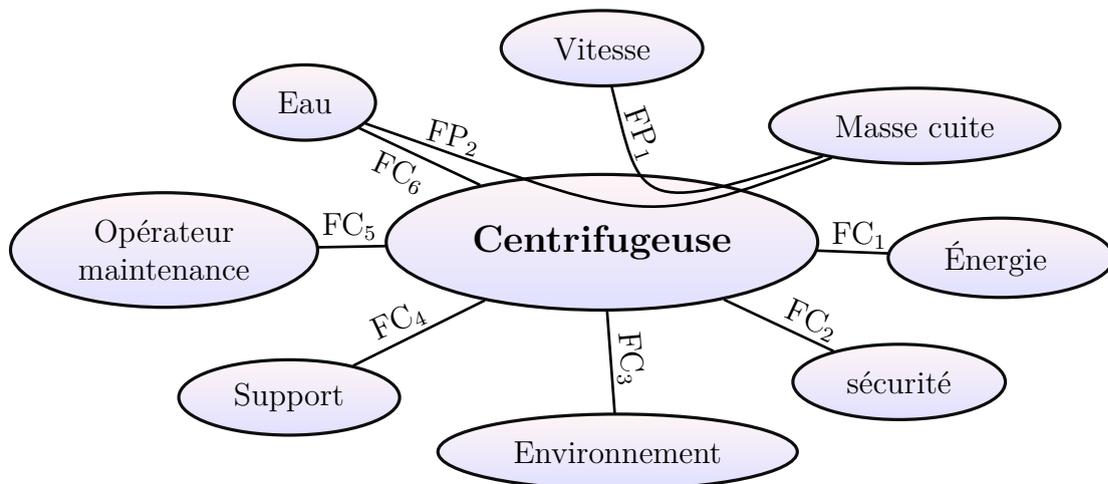


Figure III.4 – L'analyse fonctionnelle par le diagramme pieuvre

Les fonctions principales et contraintes sont définies dans le [Tableau III.1](#) :

FP <sub>1</sub>	Essorer la masse cuite par la force centrifuge générée par la reptation à grande vitesse
FP <sub>2</sub>	Claircer le sucre cristallisé en envoyant de l'eau et de la vapeur
FC <sub>2</sub>	Assurer la sécurité des personnes
FC <sub>1</sub>	Être alimenté en énergie électrique
FC <sub>6</sub>	Permettre de lavage du tamis à la fin de chaque cycle
FC <sub>3</sub>	Être opérationnel sous les conditions de pression ,humidité et corrosion usuelle
FC <sub>4</sub>	Se fixer et s'adapter à un support en assurant la diminution des risques causés par les vibrations
FC <sub>5</sub>	Possibilité de superviser et intervenir par un opérateur de maintenance en cas de besoin

Tableau III.1 – Les fonctions principales et contraintes

### III.5.3 L'analyse fonctionnelle interne par le diagramme SADT

Il s'agit cette fois de l'étude des fonctions de service réalisées à partir des solutions techniques proposées par l'entreprise pour réaliser le produit.

Le modèle de représentation prend la forme d'actigrammes, rectangle basé sur les activités ou les fonctions du système.

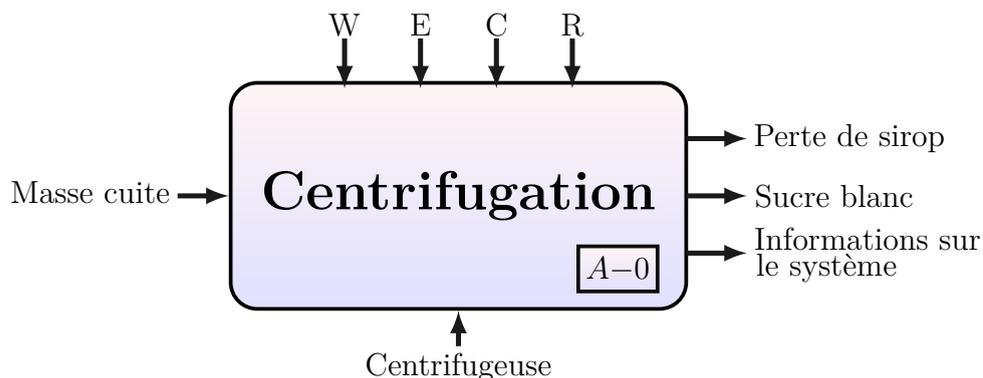
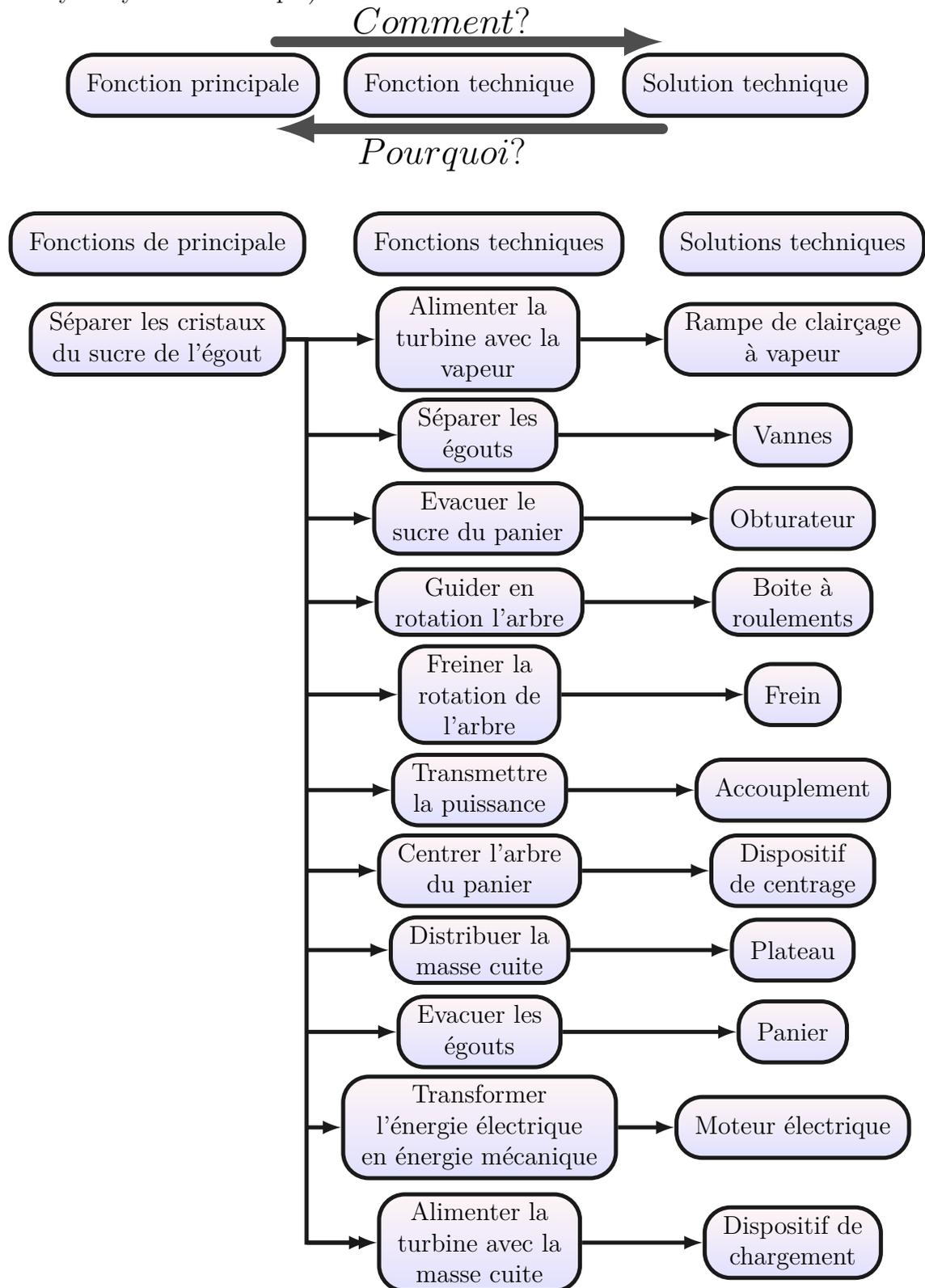


Figure III.5 – Diagramme SADT de la centrifugeuse

- W : Contrainte énergétique (énergie électrique et pneumatique) .
- C : Contrainte de configuration (information sur le fonctionnement) .
- R : Contrainte du réglage (programme).
- E : Contrainte d'exploitation (réglage).

### III.5.4 Analyse fonctionnelle par le diagramme FAST (interne)

Les solutions techniques sont déterminées à l'aide du diagramme FAST (Function Analysis System Technique) suivant :



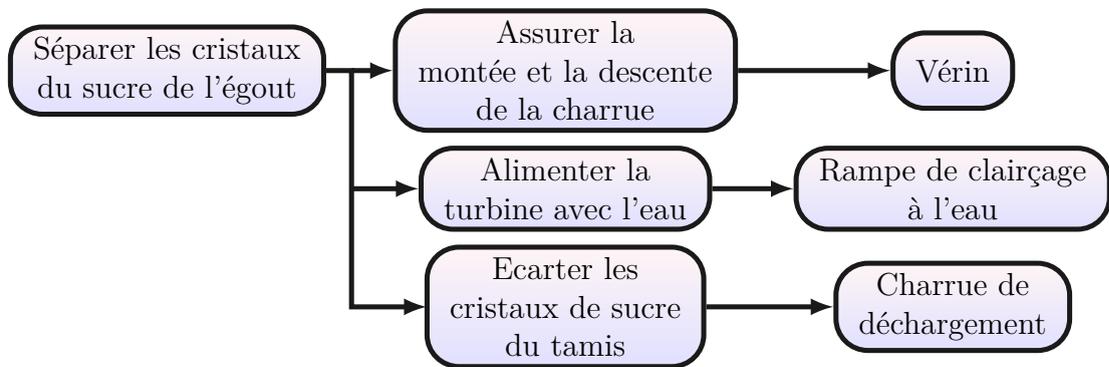


Figure III.6 – Diagramme FAST de la centrifugeuse discontinue

### III.6 Analyse AMDEC

Dans la continuité de ce travail, nous proposons une démarche systématisée pour passer du modèle fonctionnel à l'analyse dysfonctionnelle correspondante. Cette démarche s'appuie sur l'analyse des modes de défaillance par la méthode intitulée « Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leurs Criticité » dont l'acronyme est « AMDEC ».

Tableau III.2 – Table AMDEC de la centrifugeuse discontinue

Date d'analyse : 15/08/20	AMDEC MACHINE-ANALYSE DES MODES DE DÉFAILLANCE DE LEUR ET DE LEUR CRITICITE					Phase normale				PAGE :
	Système : Centrifugeuse discontinue									NOM :
Élément	Fonctions	Mode de défaillance	Cause de défaillance	Effet de défaillance	Détection	Criticité				Actions
						F	G	N	C	
Moteur asynchrone 250 KW 1744 tr/mn	Transformer l'énergie électrique en énergie manique	Bobinage grillé	Surintensité	Arrêt du moteur, arrêt de la turbine	Mesure de la résistance des enroulements	2	3	2	12	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Rebobinage du moteur</li> <li>● Changement des roulements</li> <li>●Usinage de la portée de roulement</li> </ul>
			absence de phase	Arrêt du moteur, arrêt de la turbine	Mesure de la résistance des enroulements	2	3	2	12	
			Court-circuit	Arrêt du moteur, arrêt de la turbine	Mesure de la résistance des enroulements	2	3	2	12	
		Usure des roulements	fin de la durée de vie	Arrêt du moteur, arrêt de la turbine	Contrôle du bruit	2	3	2	12	
		Usure de l'arbre	Désalignement	Vibration du moteur, arrêt de l'arbre	Contrôle du bruit et des vibrations	2	3	2	12	
Arbre	Transmettre le couple du moteur au panier	Arrachement de la matière ou déformation	Balourd	Arrêt de la turbine	Contrôle visuel	2	3	3	18	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Contrôle systématique de l'arbre</li> <li>●Changement de l'arbre</li> </ul>

Charrue de déchargement	Écarter les cristaux du sucre du tamis	Endommagement des roulements	Chocs	Arrêt de la charrue	Contrôle visuel	2	3	3	18	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Changement systématique des roulements</li> <li>● Contrôle de la charrue</li> <li>● Redressage/changement de la charrue</li> </ul>
		Déformation de la charrue	Chocs	Arrêt de la charrue	Contrôle visuel	3	3	3	18	
Tête d'entraînement	Guider en rotation l'arbre du panier	Desserrage des goujons	Vibration	Endommagement des roulement, blocage de l'arbre	Contrôle visuel	2	3	4	24	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Contrôle systématique des goujons</li> </ul>
		Endommagement des ressorts	Vibration	Endommagement des roulement, blocage de l'arbre	Contrôle visuel	2	3	4	24	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Changement des goujons</li> <li>● Contrôle systématique des ressorts</li> </ul>
		Usure des roulement	Vibration	Blocage de l'arbre du panier, arrêt de la turbine	Contrôle du bruit	2	3	4	24	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Changement des ressorts</li> </ul>
			Durée de vie	Blocage de l'arbre du panier, arrêt de la turbine	Contrôle du bruit	2	3	4	24	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Contrôle systématique des roulements</li> </ul>
			Manque de Graissage	Blocage de l'arbre du panier, arrêt de la turbine	Contrôle du bruit	2	3	4	24	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Graissage des roulements</li> </ul>
Rampe de clairçage à l'eau	Éliminer par lavage la plus grande partie des égouts	Usure des buses	Fatigue	Mauvaise qualité de clairçage	Contrôle	2	2	2	8	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Changement des buses</li> </ul>
		Déformation de la rampe	Chocs	Mauvaise qualité de clairçage	Contrôle visuel	2	2	2	8	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Soudage ou changement de la rampe</li> </ul>

Boite à Roulements	Guider en rotation l'arbre du panier	Usure des roulements	Manque de la graisse	Blocage de l'arbre arrêt du panier	Contrôle du bruit	2	3	3	18	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Graissage des roulements</li> <li>●Changement systématique des roulement</li> <li>●Contrôle et graissage des roulements</li> </ul>
			Durée de vie	Blocage de l'arbre arrêt du panier	Contrôle du bruit	2	3	3	18	
			Vibrations	Blocage de l'arbre d'arrêt du panier	Contrôle du bruit	2	3	3	18	
		Cassure des roulements	Vibrations	Blocage de l'arbre, arrêt du panier	Contrôle du bruit	2	3	3	18	
Accouplement	Transmettre la puissance entre l'arbre moteur et l'arbre du panier	Endommagement de la couronne dentée	Fatigue	Arrêt de l'arbre du panier	Contrôle	2	3	2	12	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Changement de la bague intermédiaire élastique</li> </ul>
Dispositif de chargement	Alimenter la turbine de la masse cuite	Usure de la manchette de la vanne	Fatigue	Fuite de la masse cuite	Contrôle	2	2	2	8	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Changement la manchette de la vanne</li> <li>●Nettoyage de la trémie de chargement</li> <li>●Changement de la pochette de joint du vérin</li> </ul>
		Obturation de la trémie de chargement	Collage de la matière	Mauvaise alimentation	Contrôle	2	2	2	8	
		Usure des joints du vérin	Frottement	Fuite d'air	Contrôle	2	2	2	8	
Plateau de distribution	Distribuer la masse cuite	Déformation du plateau	Surcharge	Mauvaise distribution de la matière sur le tamis	Contrôle visuel	2	3	2	12	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Changement du plateau</li> </ul>

Dispositif de centrage	Assurer le centrage de l'arbre du panier	Cassure de la tige du vérin	Surcharge	Décentrage de l'arbre	Contrôle	2	2	2	8	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Changement du vérin</li> <li>● Changement de la pochette de joint du vérin</li> <li>● Changement des galets</li> </ul>
		Usure des joints du vérin	Frottements	Fuite d'air	Contrôle	2	2	2	8	
		Usure des galets	Frottements	Décentrage de l'arbre	Contrôle	2	2	3	8	
Obturateur	Évacuer le sucre du panier	Usure des articulations du vérin	Frottement	Fuite d'air	Contrôle	3	3	2	18	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Changement de la pochette de joint du Vérin</li> <li>● Changement du vérin</li> <li>● Changement des plaques de guidage</li> </ul>
		Déformation des tiges de guidage	Chocs	Arrêt de l'évacuation	Contrôle	3	3	3	27	
		Usure de la plaque de guidage	Frottement	Désalignement du vérin, mauvais évacuation	Contrôle	3	3	3	27	
		Usure de la garniture mécanique du rotor	Frottement	Arrêt du fonctionnement du vérin, arrêt de l'évacuation	Contrôle	3	3	3	27	
Vérin de levage	Assurer la montée et la descente de la charrue	Cassure de la tige du vérin	Chocs	Arrêt de la charrue	Contrôle visuel	2	2	2	8	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Changement du vérin</li> <li>● Changement de la pochette de joint du vérin</li> <li>● Débouchage des orifices</li> </ul>
		Usure des joints du vérin	Frottements	Fuite d'air, arrêt du vérin, arrêt de la charrue	Contrôle visuel	2	2	2	8	
		Bouchage des orifices quitter	Pénétration de la matière	Arrêt du vérin, arrêt de la charrue de déchargement	Contrôle visuel	2	2	2	8	

Panier	Évacuer les égouts	Fissuration du panier	Chocs entre le panier et la jupe	Fuite du sucre	Contrôle	1	3	2	6	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Changement du panier</li> <li>●Contrôle systématique du tamis</li> </ul>
Rampe de clairçage à vapeur	Alimenter le système avec la vapeur	Déformation	Chocs	Mauvaise qualité de clairçage	Contrôle visuel	2	2	2	8	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Soudage ou changement de la rampe</li> </ul>
Frein	Freiner la rotation de l'arbre moteur	Usure des joints du vérin	Frottement	Fuite d'air	Contrôle	2	2	2	8	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Changement de la pochette de joint de vérin</li> <li>●Changement du sabot</li> <li>●Changement du disque à frein</li> </ul>
		Usure du sabot	Frottement	Mauvais freinage de l'arbre du panier	Contrôle	2	2	2	8	
		Usure du disque à frein	Frottement	Mauvais freinage de l'arbre du panier	Contrôle	2	2	2	8	
séparateur des égouts	Séparer l'égout pauvre et l'égout riche	Usure de la manchette des vannes	Fatigue	Fuite de l'égout	Contrôle	2	3	2	12	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Contrôle des manchettes</li> <li>●Changement de la manchette</li> </ul>

### III.6.1 Récapitulatif de l'AMDEC

Après avoir évalué la criticité des éléments par la table d'AMDEC, on a recensé les éléments par plage, selon le niveau de criticité, Il est recommandé d'engager des actions et des mesures pour chaque élément, comme indiqué dans le [Tableau III.3](#) :

Tableau III.3 – Récapitulatif de l'AMDEC

Niveau de criticité	Éléments	Actions
$C < 16$	Panier	●Maintenance corrective
	Vérin de levage	
	Séparateur d'égout	
	Rampe de clairçage à l'eau	
	Rampe de clairçage à vapeur	
	Dispositif de centrage	
	Dispositif de chargement	
	Plateau de distribution	
	Frein	
	Accouplement	
Moteur		
$16 \leq C < 32$	Tête d'entraînement	●Maintenance systématique ●Maintenance conditionnelle
	Boite à roulements	
	Arbre	
	Charrue de déchargement	
	Obturateur	

### III.6.2 Interprétation et recommandations

Selon le [Tableau III.3](#), nous remarquons que la majorité des éléments se situent dans la première plage de criticité qui est faible ( $C < 16$ ), ces éléments ne nécessitent aucune attention particulière, à la limite nous nous pouvons contenter à la maintenance corrective.

Les éléments suivants (Tête d'entraînement, Boite à roulement, Arbre, Déchargeur, Obturateur) enregistrent une criticité moyenne ( $16 \leq C < 32$ ). Par conséquent pour ces éléments nous recommandons une maintenance préventive systématique et conditionnelle. C'est pour cela que nous avons proposé un plan de maintenance préventif pour ces éléments dans la suite de ce mémoire.

Enfin l'équipement ne présente aucun élément de criticité élevée ( $C \geq 32$ )

## III.7 Étude de fiabilité

Pour appliquer cette étude, nous avons recensé, tous les temps de bon fonctionnement entre les deux défaillances successives et les temps de réparation de la turbine

discontinue(S651N) en heure et pour les deux années 2016 et 2017 à partir de l'historique de cet équipement.

L'historique représente tous les différents types d'actions correctives des composants soit hydraulique, mécanique, pneumatique, électrique ou automatique.

### III.7.1 Recensement de données :

Grâce à l'historique de la turbine discontinue(S651N), nous avons pu extraire les temps de bon fonctionnement et les temps techniques de réparation en heure qui sont classées dans le [Tableau III.4](#) par ordre croissant :

Tableau III.4 – Liste des TBF et des TTR

i	TBF(h)	TTR(h)	i	TBF(h)	TTR(h)	i	TBF(h)	TTR(h)
1	19	0,5	22	70,73	15	43	220	0,5
2	20	3	23	72,13	1,5	44	229,6	1
3	20,8	2,5	24	73,8	1	45	233,77	1,5
4	21	2	25	79,26	0,33	46	244,26	3,5
5	24,19	2,5	26	88,43	11	47	252,1	0,5
6	25,41	11,75	27	89,3	2,5	48	276,5	1
7	25,5	10	28	99,21	5	49	280,9	1
8	28,62	2,5	29	110,13	6	50	306,22	1
9	28,72	3	30	115,51	1,5	51	306,8	0,5
10	29,37	11	31	125,82	11	52	323,7	1,5
11	29,7	1	32	126,98	2	53	406,6	7,5
12	32,16	2	33	138,72	0,5	54	432,13	1
13	32,2	1,5	34	141,09	12	55	470,01	0,5
14	34,2	8,5	35	176,59	3,5	56	489,94	1
15	37,8	2,5	36	182,26	8	57	516	4
16	41,51	25	37	187,63	2,5	58	527,2	0,5
17	50,75	0,5	38	192,46	2	59	596,55	14,5
18	62,38	6	39	199,34	1	60	605	1,5
19	63,21	1	40	209,11	2,5	61	687,76	1,5
20	66,5	3,5	41	210,43	2,5			
21	67,08	4,5	42	219,42	1,5			

### III.7.2 Détermination de la loi de fiabilité

Selon le [Tableau III.4](#) et à l'aide de la distribution de Weibull sur logiciel Ellistat (voir [Annexe C](#)), nous pouvons déduire les paramètres de la loi weibull en choisissant méthode de maximum vraisemblance.

Conformément au graphe de Weibull les points sont presque alignés, ce qui permet de conclure que le paramètre de position est nul ( $\gamma = 0$ ), le paramètre d'échelle  $\eta \simeq 187.08$  heures et le paramètre de forme  $\beta = 1.08$ .

$\gamma$	$\eta$	$\beta$
0	187.08	1.08

### Remarque

Puisque  $\beta > 1$ , on déduit que le taux de défaillance  $\lambda(t)$  est croissant en fonction du temps, c'est-à-dire les composants du système commencent à se dégrader.

### III.7.3 Fonction de fiabilité $R(t)$ , la fonction de défaillance $F(t)$ et fonction de taux de défaillance $\lambda(t)$

Selon l'Équation I.15, I.16 et I.14 et pour une durée du temps de bon fonctionnement en heure  $t$  on a :

$$R(t) = \exp\left(-\left(\frac{t}{187.08}\right)^{1.08}\right) \quad (\text{III.1})$$

$$F(t) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{t}{187.08}\right)^{1.08}\right) \quad (\text{III.2})$$

$$\lambda(t) = \left(\frac{1.08}{187.08}\right) \left(\frac{t}{187.08}\right)^{0.08} \quad (\text{III.3})$$

#### III.7.3.1 La courbe de la fonction fiabilité et la fonction de défaillance

A partir de la fonction de la fiabilité III.1 et la fonction de défaillance III.2 nous avons pu tracer les courbes suivantes sur l'intervalle  $t \in [0; 1000h]$  à l'aide d'un logiciel L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X :

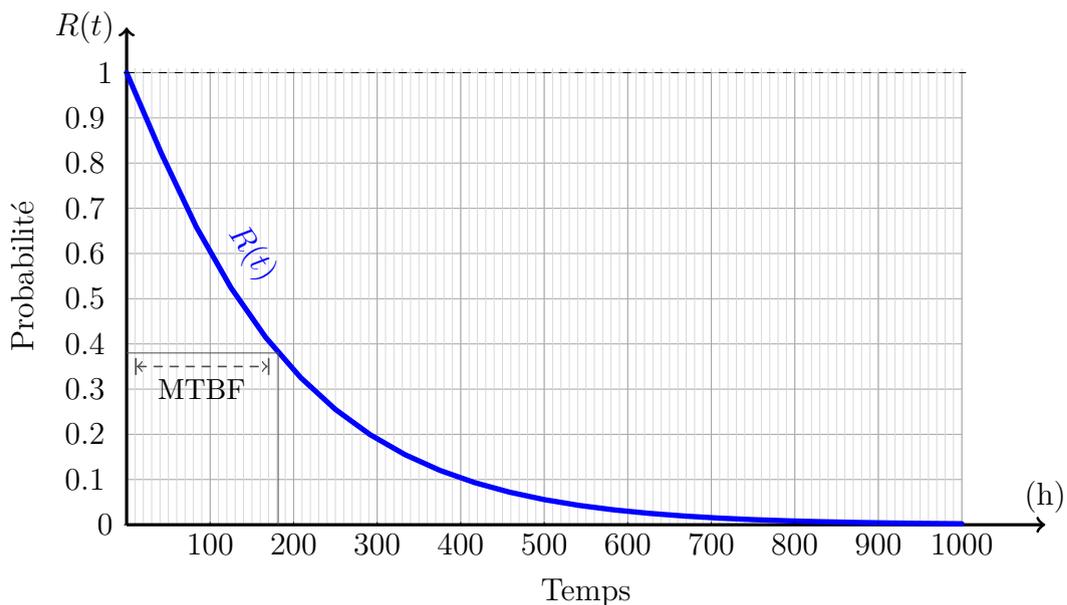


Figure III.7 – Fiabilité en fonction du temps

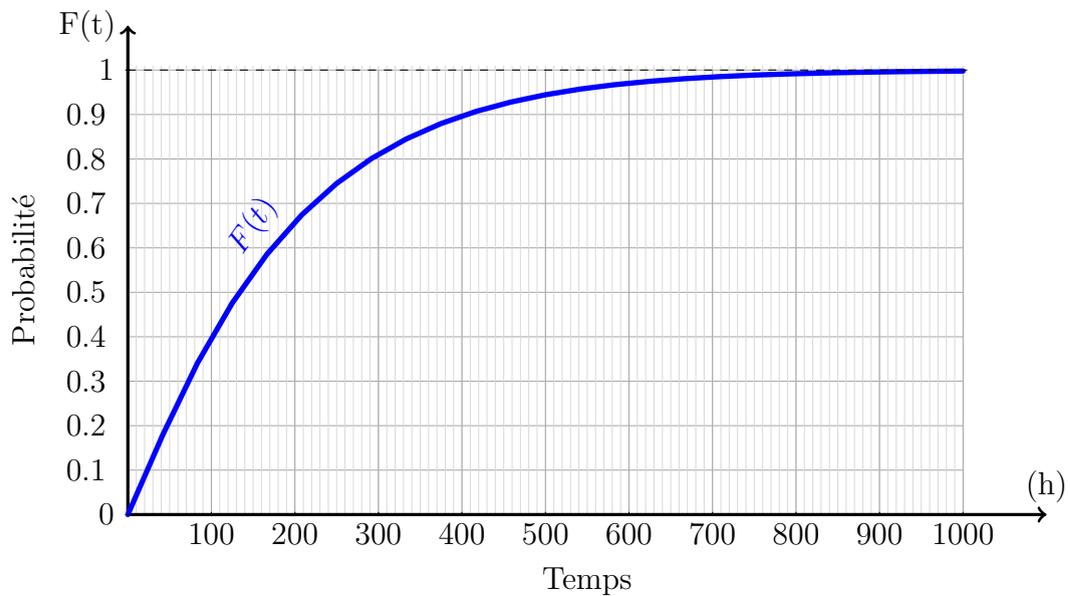


Figure III.8 – Évolution de la probabilité de défaillance en fonction du temps.

### III.7.4 Détermination des indicateurs de fiabilité, de maintenabilité et Disponibilité

#### III.7.4.1 MTBF

Conformément au Tableau de *Gamma* (voir [Annexe A](#)) nous avons :

$$\begin{aligned}
 MTBF &= \gamma + \eta \times \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \\
 MTBF &= 0 + 187.08 \times \Gamma\left(1 + \frac{1}{1.08}\right) \\
 MTBF &= 187.08 \times \Gamma(1.93) \\
 \boxed{MTBF \simeq 181.47 \text{ heures}}
 \end{aligned}$$

#### III.7.4.2 $R(t=MTBF)$ :

$$\begin{aligned}
 R(t = MTBF) &= \exp\left(-\left(\frac{MTBF}{\eta}\right)^\beta\right) \\
 &= \exp\left(-\left(\frac{181.47}{187.08}\right)^{1.08}\right) \\
 \boxed{\simeq 38\%}
 \end{aligned}$$

#### III.7.4.3 MTTR :

$$\begin{aligned}
 MTTR &= \frac{1}{N} \sum TTR \\
 \boxed{MTTR \simeq 3.96 \text{ heures}}
 \end{aligned}$$

### III.7.4.4 La disponibilité D :

$$D = \frac{MUT}{MUT + MTTR}$$

$$D \simeq 97.86\%$$

### III.7.5 Interprétation des résultats

- $R(t = MTBF) = 38\%$  ce qui montre que la turbine discontinue(S651N) a 38% de chance sur 100 de survie autrement dit 62 % de chance de tomber en panne avant le MTBF. Qui est une valeur suffisante.
- $D \simeq 98\%$  ce qui veut dire l'équipement est disponible.
- Selon la [Figure III.7](#) et [III.8](#) on déduit que la fiabilité diminue en fonction du temps, par contre la fonction de défaillance augmente en fonction du temps et proportionnellement inverse à la fiabilité

### III.7.6 Recommandations pour améliorer la fiabilité de la centrifugeuse discontinue

Puisque les composants de la centrifugeuse discontinue commencent à se dégrader, on recommande une maintenance préventif en réduisant leur périodicité du préventif. Pour ce faire, on doit procéder aux méthodes d'optimisation.

## III.8 Optimisation de la périodicité

L'allure de dégradation est la perte des performances d'un composant est conforme à la [Figure III.9](#).

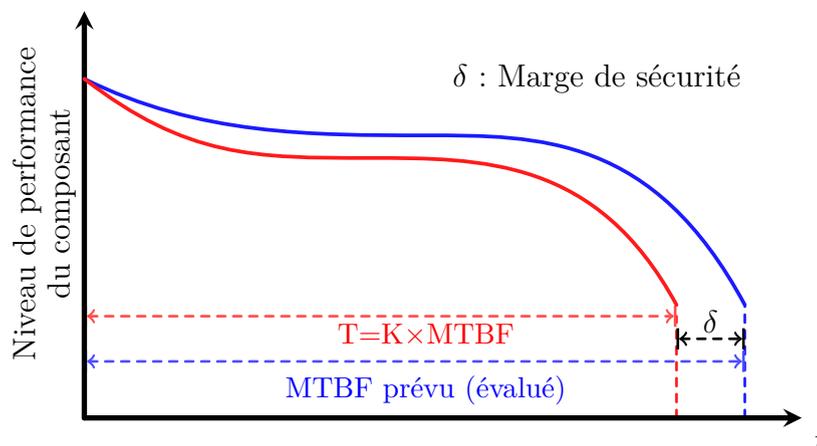


Figure III.9 – La performance d'un composant en fonction du temps.  
le choix de coefficient  $T$  se déterminent à partir :

- du niveau de préventif déterminé, à partir de critères techniques et économiques, par la politique de maintenance choisie pour l'ensemble concerné (choix de  $K$  pour  $T = K \times MTBF$ ).
- Incidence économique du choix de  $K$  :  
Le plus souvent ( $0.35 < K < 0.65$ ) pour les composants ayant une criticité moyenne et ( $0.65 < K < 1$ ) pour les composants de faible criticité. Plus on choisit  $K$  petit, moins il y a de correctif résiduel. Par contre, on intervient plus souvent.

Pour appliquer cette méthode, nous avons recensé, tous les temps de bon fonctionnement entre les deux défaillances successives des composants critique en heure et pour les deux années 2016 et 2017 à partir de l'historique de la machine qui sont classées dans le [Tableau III.5](#) :

Tableau III.5 – Estimation de la période optimale

éléments	TBF (h)	MTBF évalué (h)	Criticité	K	Périodicité T(J)
Arbre	9336	4728	18	0,65	128
	264				
	4584				
Déchargeur	2136	1653,6	18	0,65	44.8
	312				
	1992				
	1104				
	2952				
	24				
	1656				
	72				
	504				
	5784				
Obturateur	3696	2796	27	0,4	46.6
	1896				
Tête d'entraînement	7056	1785	24	0,5	37.2
	864				
	168				
	1032				
	4248				
	432				
	456				
	24				
Boite à roulements	14952	14952	18	0,65	405

### III.8.1 Plan de maintenance préventif pour les éléments critiques

Tableau III.6 – Plan de maintenance préventif pour les éléments critiques.

découpage en sous-ensemble	Opération préventive à réaliser	F(j)	MP		État	
			S	C	A	F
Tête d'entraînement	Vérifier l'échauffement du paliers et l'absence d'un signe de défaillance du roulement	1	X			X
	Graisser le palier	37.2	X		X	
Déchargeur	Contrôler l'union (la mariée) entre la partie supérieure du déchargeur et la cuve de la centrifugeuse	44.8	X		X	
	Contrôler l'union entre la charrue et la partie supérieure du déchargeur	44.8	X		X	
	Contrôler la position du déchargeur par rapport au tamis	44.8	X		X	
	Contrôler le jeu de la charrue du déchargeur par rapport à la paroi du panier, fond du panier et haut du panier	44.8	X		X	
	Graisser la glissière du déchargeur	44.8	X		X	
Arbre	Surveiller l'arbre par un capteur vitesse	/		X		X
	Vérifier l'alignement de l'arbre et effectuer un contrôle de CND en cas d'une anomalie	128	X			X
Boite à roulement	Vérifier l'état de lubrifiant systématiquement	30		X		X
	Graisser la boite à roulement	405	X		X	
Obturateur	Contrôler l'état de surface examiné dans la sortie du sucre du panier et sur l'obturateur et les nettoyer des incrustations de produit	1	X			X
Instrumentation	Contrôler la fixation et le fonctionnement correct des fin de cours des vérins	30	X		X	
	Contrôler le fonctionnement correct du contrôleur d'oscillation	30	X		X	
	Contrôler le fonctionnement correct de l'interrupteur de vibration	30	X		X	
Générale	Inspecter visuellement et acoustiquement la centrifugeuse en service afin de vérifier leur sécurité en service	1	X			X

## **Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons appliqué la démarche de la maintenance basée sur la fiabilité en commençant par une analyse fonctionnelle et une décomposition dysfonctionnelle afin d'identifier les éléments du système et les fonctions assurées par ces derniers. Ensuite une analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leurs criticités qui nous a permis de classer les éléments selon leurs criticités en deux classes, la première avec une faible criticité qui ne nécessite que des actions correctives, la deuxième avec une criticité moyenne qui nécessite des actions préventives.

Enfin L'étude de fiabilité a été faite pour maîtriser le comportement et avoir une vue globale sur l'état de fonctionnement de la machine afin de contribuer à la bonne gestion et l'optimisation des tâches de maintenance grâce à un plan de d'actions proposé.

# Conclusion générale

La mission principale d'une entreprise économique est de maximiser ses bénéfices. Pour ce faire, l'entreprise doit adopter une politique de maintenance qui minimise les défaillances éventuelles dans la chaîne de production. La fiabilité est justement l'une des études indispensables pour connaître l'état du système afin qu'une entreprise puisse prendre des bonnes décisions et choisir une politique de maintenance adéquate sur ses outils de production, soit des actions préventive pour réduire au mieux les pannes probables, des actions correctives ou des actions d'amélioration.

Ce projet à pour objectif l'application de la méthode d'optimisation de la maintenance basée sur la fiabilité d'une centrifugeuse discontinue, dont le but est de proposer des solutions, recommandations et un plan de maintenance qui permettront la diminution du nombre de pannes, l'amélioration de la fiabilité et la disponibilité et l'augmentation la productivité du système étudié.

Nous avons entamé ce projet par la décomposition fonctionnelle du système en sous-systèmes et en éléments ainsi que leur principe de fonctionnement. nous avons également effectué une analyse qualitative et quantitative en analysant l'historique de la machine. Le résultat de cette méthode nous a permis d'établir une étude AMDEC du système, enfin une étude de la fiabilité nous a permis de connaître l'état du matériel et de choisir une politique de maintenance adéquate.

A l'aide des paramètres déterminés par logiciel Ellistat, nous avons détecté que le taux de défaillance de l'équipement commence à s'accroître, ce qui est due à la vieillesse de ses composants . L'analyse des différentes courbes tracées à l'aide du logiciel  $\text{\LaTeX}$  nous a permis de suivre l'allure de la fiabilité et de défaillance de l'équipement qui peuvent nous prédire l'état du système en fonction du temps.

D'après nos propres investigations et analyses, nous avons identifié les éléments de la centrifugeuse discontinue, qui sont tous répartis dans deux classe, celle de faible criticité qui ont pas besoin d'attention et celle de moyenne criticité qui nécessite du préventif. Dans ce contexte nous avons associé une étude fiabilité pour maîtriser le comportement fonctionnel de la machine, nous avons déduit que ce dernier est fiable et disponible mais le taux de défaillance commence à accroître en quelque sorte es composants commencent à se dégrader. Enfin nous avons proposé un plan de maintenance préventif optimal pour les éléments critiques, qui facilitera l'organisation de la maintenances également garantira sans doute un fonctionnement meilleur au future.

# Bibliographie

- [1] Documentation AFNOR, recueil des normes françaises 2001.
- [2] E.AIT MOKHTAR. Modèle de maintenance : Modélisation de l'efficacité de la maintenance. Béjaia, *Université Abderahmane Mira-Béjaia*, master maintenance industrielle, Cours, 2019-2020, 2p.
- [3] R.LAGGOUNE, Chateaufeuf A. & Aissaani D (2010). maintenance opportune des systèmes multi-composants : modélisation, optimisation, incertitude et application industrielle.
- [4] F.FERHANE ,K.Lounis.Étude de fiabilité des équipements critiques de la raffinerie de sucre 3000T « Cevital-Bejaia ». projet de fin d'étude, master, Maintenance industrielle. Université Abderrahmane Mira de Bejaia, 2015/2016.
- [5] R.LAGGOUNE. Stratégie de maintenance : AMDEC. Béjaia, *Université Abderahmane Mira-Béjaia*, master maintenance industrielle, Cours, 2018/2019, 3p.
- [6] P. LYONNET, Fiabilité, Diagnostic et maintenance prédictive des systèmes. Livre, Lavoisier, 2012.
- [7] J. KELADA, La méthode AMDEC. Cours, École des HCE, 1994.
- [8] R.LAGGOUNE. Fiabilité des systèmes. Béjaia, *Université Abderahmane Mira-Béjaia*, master maintenance industrielle, Cours, 2018/2019.
- [9] R.LABRECQUE, N.DESROCHERS, Organisation de la maintenance de la machinerie de production dans l'industrie manufacturière : Étude préliminaire, Secteurs de formation Électrotechnique Fabrication mécanique Mécanique d'entretien, Livre Québec, 1999.
- [10] A.DESPUJOLS , Optimisation de la maintenance par la fiabilité (OMF), Techniques de l'ingénieur, 2004.
- [11] V.A. KOPNOV, Optimal degradation processes control by two policies. Reliability Engineering and Design, 196(2) pp 219-231 mars 2000.
- [12] E.DELOUX , B.CASTANIER, and C.BERENGUER Optimisation de la politique de maintenance pour un système à dégradation graduelle stressé, 7ème Congrès international pluridisciplinaire Qualité de Sécurité de Fonctionnement, 20, 21 et 22 mars 2007, volume 1, pages 142-149, Tanger (Maroc), 2007.
- [13] D.HALIMI, «Contribution à l'amélioration de la maintenance préventive des machines dynamiques dans l'industrie des hydrocarbures», Thèse de doctorat en Fiabilité et Maintenance industrielle, UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES, 2013/2014.

- [14] A.SADKINE, M.FEDALLA, projet de fin de cycle, Licence, Contribution à l'amélioration de la politique de maintenance basée sur l'étude de fiabilité. Dergana, ENST, 2017.
- [15] A.CHEBILA, A.IRNATENE, L'utilisation des chaines de Markov pour la prédiction de la fiabilité du turboréacteur CFM 56-7B.projet de fin d'étude. Dergana, ENST, 2016/2017.
- [16] François Manchy, Jean-pierre vernier, livre,maintenance méthode et organisation,3<sup>e</sup> édition,paris,2000,2003,2010.

# Annexe A

Tableau III.7 – Table de la loi gamma. [8]

x	$\Gamma(x)$	x	$\Gamma(x)$	x	$\Gamma(x)$	x	$\Gamma(x)$
1.00	1.00000	1.25	0.90640	1.50	0.88623	1.75	0.91906
1.01	0.99433	1.26	0.90440	1.51	0.88659	1.76	0.92137
1.02	0.98884	1.27	0.90250	1.52	0.88704	1.77	0.92376
1.03	0.98355	1.28	0.90072	1.53	0.88757	1.78	0.92623
1.04	0.97844	1.29	0.89904	1.54	0.88818	1.79	0.92877
1.05	0.97350	1.30	0.89747	1.55	0.88887	1.80	0.93138
1.06	0.96874	1.31	0.89600	1.56	0.88964	1.81	0.93408
1.07	0.96415	1.32	0.89464	1.57	0.89049	1.82	0.93685
1.08	0.95973	1.33	0.89338	1.58	0.89142	1.83	0.93969
1.09	0.95546	1.34	0.89222	1.59	0.89243	1.84	0.94261
1.10	0.95135	1.35	0.89115	1.60	0.89352	1.85	0.94561
1.11	0.94739	1.36	0.89018	1.61	0.89468	1.86	0.94869
1.12	0.94359	1.37	0.88931	1.62	0.89592	1.87	0.95184
1.13	0.93993	1.38	0.88854	1.63	0.89724	1.88	0.95507
1.14	0.93642	1.39	0.88785	1.64	0.89864	1.89	0.95838
1.15	0.93304	1.40	0.88726	1.65	0.90012	1.90	0.96177
1.16	0.92980	1.41	0.88676	1.66	0.90167	1.91	0.96523
1.17	0.92670	1.42	0.88636	1.67	0.90330	1.92	0.96878
1.18	0.92373	1.43	0.88604	1.68	0.90500	1.93	0.97240
1.19	0.92088	1.44	0.88580	1.69	0.90678	1.94	0.97610
1.20	0.91817	1.45	0.88565	1.70	0.90864	1.95	0.97988
1.21	0.91558	1.46	0.88560	1.71	0.91057	1.96	0.98374
1.22	0.91311	1.47	0.88563	1.72	0.91258	1.97	0.98768
1.23	0.91075	1.48	0.88575	1.73	0.91466	1.98	0.99171
1.24	0.90852	1.49	0.88595	1.74	0.91683	1.99	0.99581
						2.00	1.00000

# Annexe B

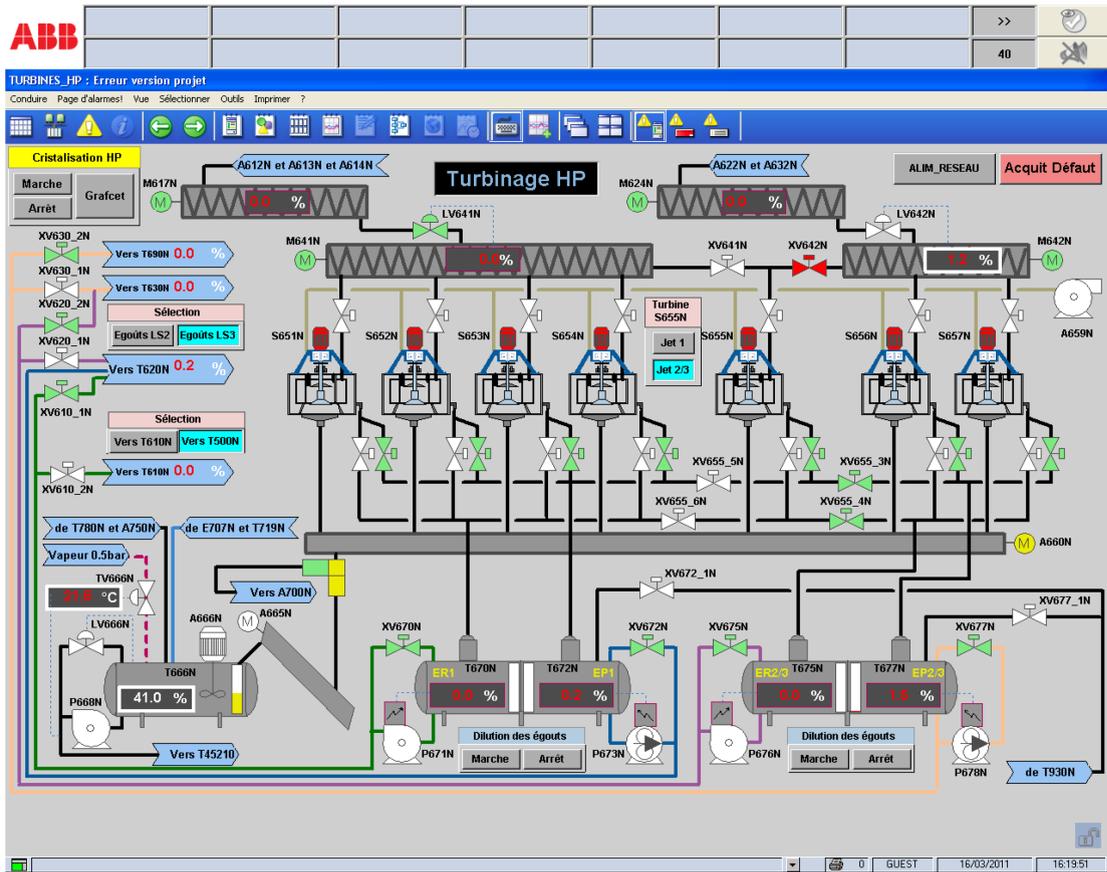
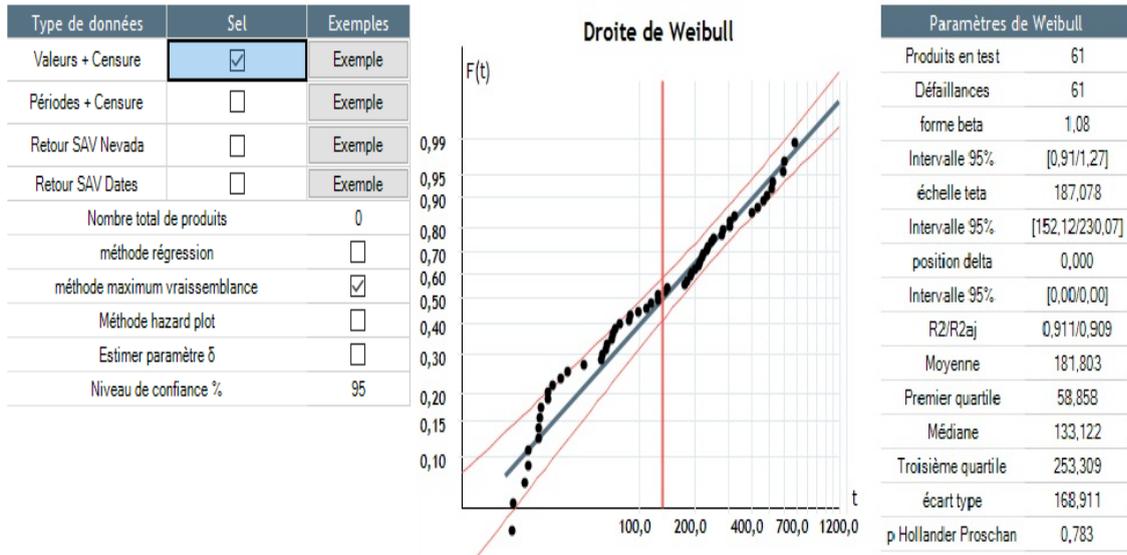


Figure III.10 – Atelier de turbinage cristallisation HP[14]

# Annexe C



*Figure III.11 – La distribution de weibull par logiciel Ellistat*

## Annexe D

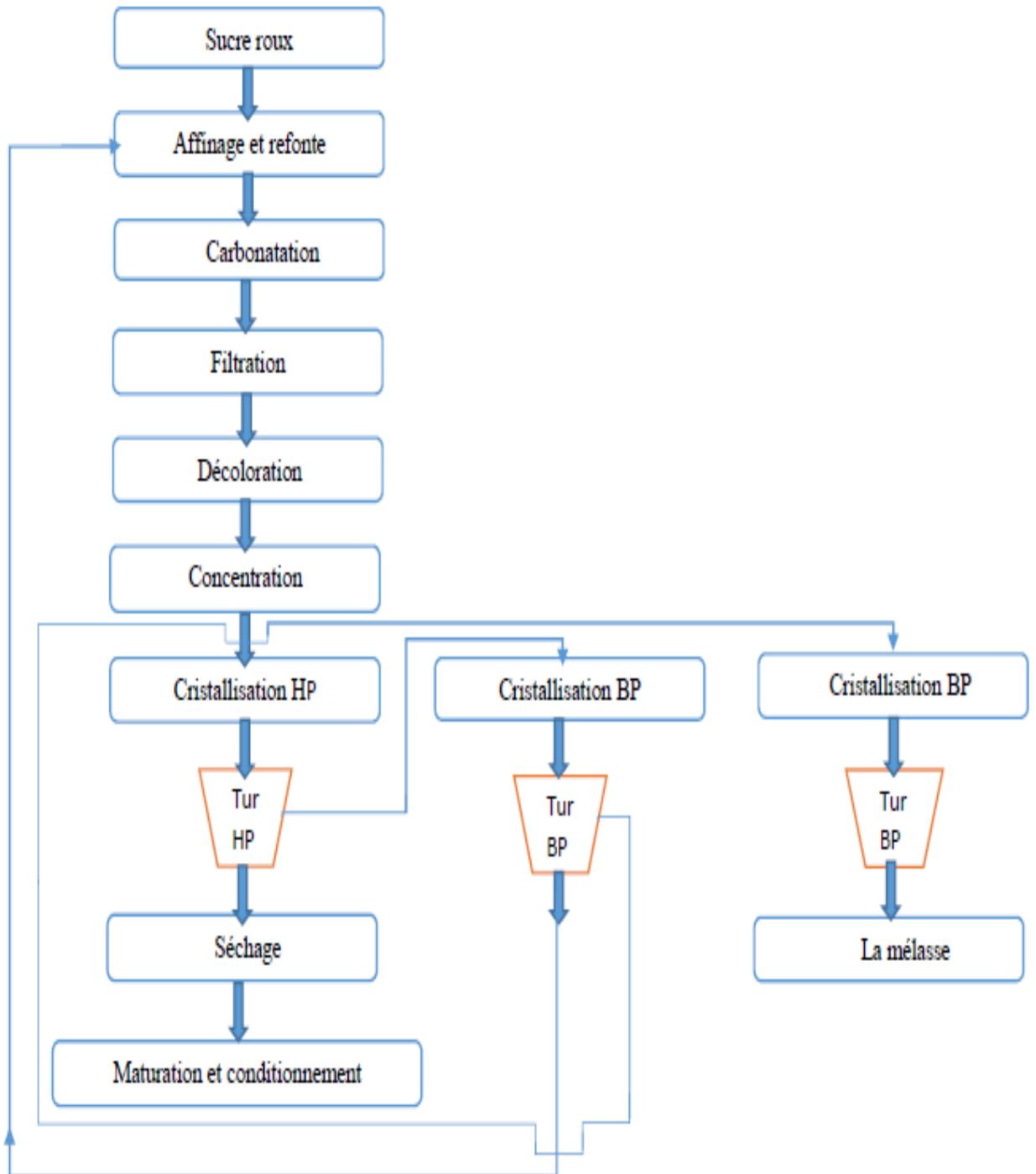


Figure III.12 – Processus de raffinage de sucre.[14]

# Annexe E

## Détermination des paramètres de WEIBULL à l'aide d'un papier WEIBULL

L'historique de fonctionnement du matériel permet de déterminer les temps de bon fonctionnement, donc des fréquences cumulées de défaillance  $F(t)$ . La détermination des paramètres de WEIBULL permet d'ajuster la loi de probabilité à la distribution statistique relevée.

Nous portons le point sur un papier de fonctionnement spécial, le nuage des points ainsi formé sera alors ajusté par une courbe dite courbe de WEIBULL, selon des méthodes de redressement et de régression que nous allons énoncer.

Pour l'estimation des paramètres de WEIBULL( $\eta, \beta, \gamma$ ), on utilise un papier à échelle fonctionnelle dit papier de WEIBULL

Notons que le graphique à échelle fonctionnelle utilisé est gradué de façon suivante :[\[15\]](#)

- En ordonnée on lit  $\frac{1}{1 - F(t)} \times 100(\%)$
- En abscisse on lit  $\ln(t)$

Dans cette estimation il est possible de distinguer trois cas de  $\gamma$  permettant par la suite de mesurer  $\beta$  et  $\eta$  [\[16\]](#)

- $\gamma = 0$  : L'équation obtenue permet de tracer une droite ;
- $\gamma > 0$  : L'équation obtenue permet de tracer une courbe convexe comme il est montré dans la [Figure III.14](#) ;
- $\gamma < 0$  : L'équation obtenue permet de tracer une courbe concave [Figure III.14](#).

Pour les deux derniers cas, il est nécessaire au préalable de redresser la courbe et la considérer comme une droite. Ensuite, une deuxième droite parallèle est menée à la première et passe par l'origine des axes  $X$  et  $Y$ . La 1ère ligne droite coupe la ligne  $A$  et l'intersection indique la valeur de  $\eta$ . La 2ème ligne droite coupe la ligne  $B$  et l'intersection indique la valeur de  $\beta$ .

Les données d'étude des fiabilités proviendront le plus souvent des fiches historiques de défaillance. Dans tous les cas, nous calculerons par ordre croissant le nombre de  $TBF$  avec l'échantillon qu'on a choisi.

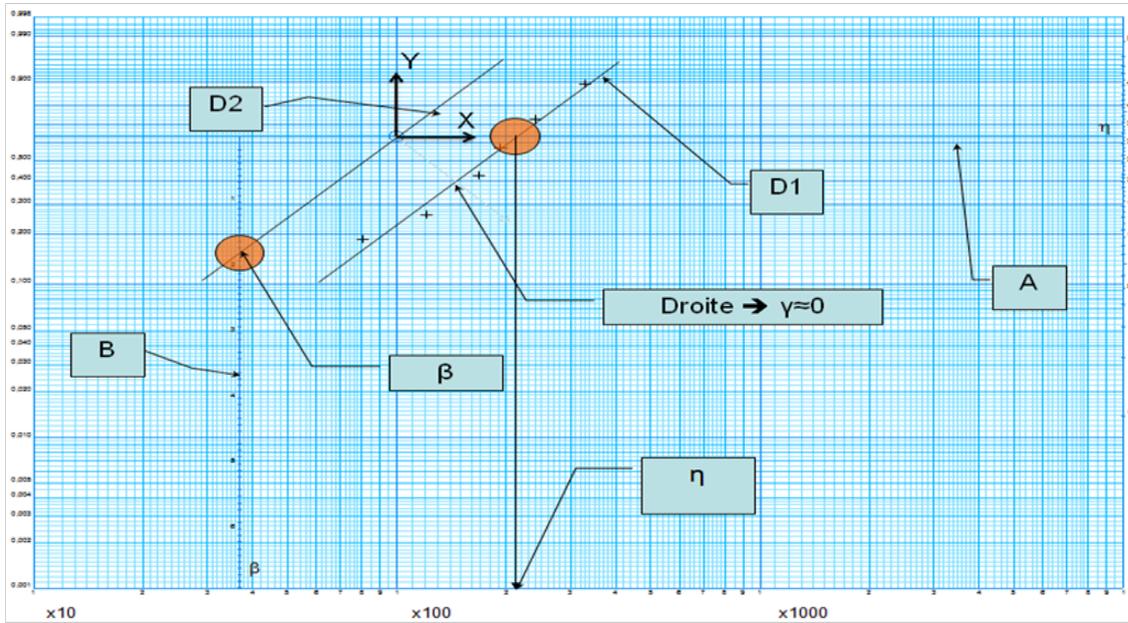


Figure III.13 – Structure du papier de WEIBULL. [15]

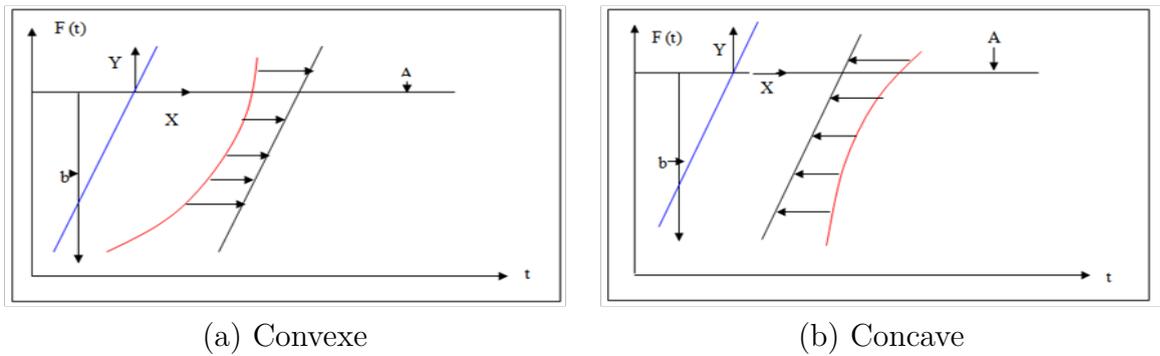


Figure III.14 – Cas d'une courbe concave et convexe. [15]

⇒ Si  $N > 50$ , on applique la méthode des rangs bruts, nous regroupons les  $TBF$  par classes :

$$F(i) = \frac{i}{n} \quad (III.4)$$

⇒ Si  $20 < N < 50$ , on utilise alors la formule d'approximation des rangs moyens :

$$F(i) = \frac{i}{n+1} \quad (III.5)$$

⇒ Si  $N < 20$ , on utilise alors la formule d'approximation des rangs médians :

$$F(i) = \frac{i - 0.3}{n + 0.4} \quad (\text{III.6})$$

# Annexe G

## Les fonctions des composant de la turbine discontinue

### Chargement

La période de chargement est définie entre le moment où la vitesse de chargement N2 est atteinte, depuis l'ouverture de clapet à masse cuite, l'engagement de contrôle de chargement automatique, le papillon de la vanne alimentatrice en masse cuite s'ouvre, jusqu'à ce que le panier de la turbine soit rempli, le clapet à masse cuite soit fermé et le contrôle de chargement automatique dégagé.

Durant le chargement du panier, la masse cuite adhère à ses parois intérieures sous l'effet des forces centrifuge pour créer un gâteau. Ce gâteau est plus au moins uniforme suivant la viscosité de la masse cuite et la vitesse de chargement. La répartition inégale des masses cuites peut conduire au balourd lorsque des forces centrifuges importantes se concentrent en une surface limitée conduisant à des oscillations suivant une amplitude grandissante.

### Accélération

Temps depuis la fin du chargement jusqu'à ce que la vitesse d'essorage final N4 (1175tr/min) soit atteinte. Durant l'accélération les forces centrifuges poussent l'eau mère (égout pauvre) qui est dirigée vers le circuit des égouts pauvres.

### Clairçage

#### Clairçage à vapeur

A 350 tr/mn un clairçage à la vapeur de 3 secondes environ est opéré dans le but de favoriser la porosité entre les cristaux de sucre nécessaire à évacuation de l'eau mère.

#### Clairçage d'eau

A 900 tr/mn un clairçage à l'eau chaude est opéré afin d'enlever la pellicule d'eau mère adhérent aux cristaux. Pour que le clairçage soit efficace, il faut que l'égout soit suffisamment évacué et que la couche de sucre ne soit pas tassée, ce qui est le cas vers 850-950 tr/mn. la durée du clairçage est importante. C'est compromis entre :

- Un temps court ; la pellicule n'est que partiellement éliminée ;
- Un temps long ; le sucre est refondu de manière excessive.

Au clairçage, l'eau refond une partie du sucre. L'égout s'enrichit et alors appelé égout riche. Celui-ci est dirigé vers le circuit des égouts riches.

## **Essorage final**

Temps entre l'atteinte de la vitesse d'essorage final N4 et l'amorçage de la décélération. C'est la durée de l'essorage final. Cette durée doit être suffisamment longue pour évacuer l'égout riche, mais pas trop long car, si le sucre sèche, il devient très difficile à décharger du panier.

## **Décélération**

Temps entre la fin de l'essorage final et le début de déchargement. Le freinage électrique est déclenché afin d'amener la turbine à la vitesse de déchargement N2.

## **Déchargement**

Temps entre le début de déchargement N1 (70tr/min) et l'accélération vers la vitesse de chargement. Une succession d'opération a lieu pour permettre le déchargement sucre encore humide sur le tapis vibrant qui le convoie en section 7 : le séchage.

## **Lavage écran et préparation au chargement**

Temps entre la fin de fin déchargement N1 et la fin l'accélération vers la vitesse de chargement N2. Après déchargement le panier est vidé un fin écran de sucre persiste d'où la nécessité d'un lavage du panier afin d'éviter le colmatage progressif de la toile et qui pourrait entraîner, pour les cycles suivants, des risques de balourd et de dégradation de la qualité du sucre.

La turbine est alors prête à reprendre un cycle ou à s'arrêter. Un cycle doit se dérouler en environ 3 minutes.

## ملخص

عملنا مكرس لتحسين الصيانة من خلال الموثوقية لأجهزة الطرد المركزي. قمنا بتحليل العملية بواسطة *bête corne* والأخطبوط وطريقة SADT و FAST و خلل النظام بطريقة AMDEC بالإضافة إلى تاريخ أعطال المعدات لمدة عامين متتاليين (٦١٠٢ و ٧١٠٢). بفضل هذه الدراسة، تمكنا من نمذجة موثوقية المعدات خلال فترة التشغيل. في نهاية المطاف، تم تقديم الحلول والتوصيات لتحسين توافر أجهزة الطرد المركزي من أجل زيادة الإنتاج. أخيراً، أكملنا موجزنا بخطة صيانة لتنظيم وتسهيل صيانة أجهزة الطرد المركزي.

## Résumé

Notre travail est consacré sur l'optimisation de la maintenance par la fiabilité pour une centrifugeuse discontinue. on a analysé le fonctionnement par la méthode bête à corne, pieuvre, SADT et FAST et le dysfonctionnement du système par la méthode AMDEC ainsi qu'on a analysé l'historique des pannes de l'équipement pour deux ans successifs (2016 et 2017). Grâce à cette étude, nous avons pu modéliser la fiabilité de l'équipement pendant la période de fonctionnement. En fin de compte, on a proposé des solutions et de recommandations pour améliorer la disponibilité de la centrifugeuse discontinue, afin d'accroître la production. Enfin, nous avons complété notre mémoire par un plan de maintenance pour organiser et faciliter la maintenance.

## Abstract

Our work is devoted to optimizing maintenance through reliability for a batch centrifuge. we analyzed the operation by the horn bar diagram method, octopus diagram, SADT and FAST and the dysfunction of the system by the FMECA method as well as we analyzed the history of equipment failures for two successive years (2016 and 2017). Thanks to this study, we were able to model the reliability of the equipment during the period of operation. Ultimately, solutions and recommendations were offered to improve the availability of the batch centrifuge, in order to increase production. Finally, we completed our brief with a maintenance plan to organize and facilitate maintenance.

