

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE POPULAIRE ET MINISTRE DE  
L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE



Université M'Hamed BOUGARA-Boumerdès  
Faculté d'Hydrocarbures et de la chimie



Département de Transport et équipements des Hydrocarbures

Mémoire de Fin d'Etudes  
En vue de l'obtention du diplôme :

# MASTER

**Domaine** : Sciences et technologies  
**Filière** : Hydrocarbures  
**Option** : Génie mécanique - Mécanique des unités pétrochimiques

**Présenté par :**

REBOULI Chams Eddine  
MENNAA Mohamed Fidaa El Islam

## Thème

---

**ANALYSE DE LA FIABILITE DE LA ZONE UTILITE DU COMPLEXE  
GNL2-Z**

---

Soutenu publiquement le 23/06/2024

Devant le jury :

	Nom et Prénom	Grade	Université/Affiliation
<b>Président</b>	: MEFTAH Siham	PR	UMBB
<b>Examineur</b>	: FARROUDJI Hichem	MCB	UMBB
<b>Examineur</b>	: HALIMI Djamel	MCA	UMBB
<b>Encadrante</b>	: HARKAT Yamina	MAA	UMBB

Boumerdes 2024

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE POPULAIRE ET MINISTRE DE  
L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA BOUMERDES



**Faculté des Hydrocarbures et de la Chimie**

**Département :** Transport et Equipement des Hydrocarbures

**Filière :** Hydrocarbures

**Spécialité :** Génie mécanique - Mécanique des unités pétrochimiques

## **Autorisation de soutenance**

**Mémoire de Fin d'Etudes**

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

# **MASTER**

## **Thème**

**ANALYSE DE LA FIABILITE DE LA ZONE UTILITE DU COMPLEXE  
GNL2-Z**

**Nom :**

REBOULI

MENNAA

**Prénom :**

Chams Eddine

Mohamed Fidaa El Islam

Le : .....

**Le promoteur :**



# Remerciements

*Louange à Allah, le Tout-Puissant, pour nous avoir accordé la force, la santé et la capacité nécessaires pour accomplir cette modeste tâche, et pour nous avoir permis de la mener à bien.*

*Nous ne saurions jamais assez remercier notre superviseur, Mme Harkat Y., Docteur, à la Faculté des Hydrocarbures et de la Chimie de l'Université de Boumerdès. Qu'elle trouve ici l'expression de notre haute considération et de notre profonde gratitude pour toutes ses qualités professionnelles et humaines, pour son aide précieuse et bénéfique, pour ses conseils avisés et pour ses directives constructives et objectives.*

*Nous exprimons nos sincères remerciements aux membres du jury pour avoir accepté d'examiner et d'évaluer ce travail. Nous tenons également à exprimer notre respectueuse gratitude à tous nos enseignants qui ont contribué à notre formation.*

*Nous remercions chaleureusement nos familles, en premier lieu nos parents, pour leur soutien moral, leurs encouragements et leur patience durant les étapes difficiles de notre parcours universitaire.*

*Nous garderons un précieux souvenir des moments passés à l'INH en compagnie de tous nos amis.*

*Nous tenons à leur exprimer notre profonde gratitude pour leur sympathie, leurs encouragements et leur gentillesse.*

*Enfin, nous adressons nos remerciements à tous ceux qui n'ont pas été mentionnés mais qui ont contribué de quelque manière que ce soit à l'élaboration et au bon déroulement de ce modeste travail.*

*REBOULI Chams Eddine  
MENNAA Mohamed Fidaa El Islam*





**A** ma très chère mère " **Souad** "

*Tu as toujours été pour moi un exemple de mère respectueuse, honnête et méticuleuse. Je tiens à honorer la femme que tu es. Grâce à toi, maman, j'ai appris le sens du travail et de la responsabilité. Je voudrais te remercier pour ton amour, ta générosité, ta compréhension... Ton soutien a été une lumière dans tout mon parcours. Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime et le respect que j'ai toujours eu pour toi. Ce modeste travail est le fruit de tous les sacrifices que tu as déployés pour mon éducation et ma formation. Je t'aime, maman, et j'implore le Tout-Puissant pour qu'il t'accorde une bonne santé et une vie longue et heureuse.*

**A** mon très cher père " **Aissa** "

*Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à mon cher père pour son soutien indéfectible tout au long de ma formation. Sa sagesse, son encouragement et sa patience m'ont été d'un précieux secours. Sa présence rassurante et ses conseils avisés ont été des sources d'inspiration et de motivation inestimables. Je lui suis infiniment reconnaissant pour tout le soutien moral et matériel qu'il m'a apporté. Merci, papa, pour avoir été mon pilier dans cette aventure académique.*

**A** mon frère " **Saif Eddine** "

*Je tiens à adresser mes plus sincères remerciements à mon frère pour son soutien. Sa présence encourageante, ses conseils éclairés et son soutien indéfectible ont été d'une aide précieuse. Son soutien moral et logistique ont été des atouts majeurs dans la réalisation de ce projet. Je lui suis profondément reconnaissant pour tout ce qu'il a fait pour moi. Merci, mon cher frère, pour ta présence et ton soutien constants.*

**A** toutes ces personnes je dédie ce modeste travail en termes

*d'amour et de profonde gratitude.*



**REBOULI Chams Eddine**



*Avec tous mes sentiments de respect. Avec l'expérience de ma reconnaissance, je dédie ma remise de diplôme et ma joie A mon paradis a la prunelle de mes yeux à la source de ma vie et mon bonheur, ma lune et le fil d'espoir qui allumer mon chemin. Ma moitié Maman.*

*A celui qui m'a fait un homme, ma source de vie, d'amour et d'affection. A mon support qui était toujours à mes cotes pour me soutenir et m'encourager, à mon prince papa.*

*A la mémoire de ma grand-mère et à grand-père, dont l'amour et la sagesse ont illuminé ma vie. Votre bienveillance et votre force m'ont inspiré chaque jour. Bien que vous ne soyez plus physiquement parmi nous, votre esprit continue de vivre à travers les précieux souvenirs et les leçons intemporelles que vous m'avez laissées. Votre héritage d'amour, de résilience et de dévouement est une source de réconfort et de motivation. Que votre repos soit paisible et votre mémoire éternellement chérie dans nos cœurs.*

*A mes freres et mes sœurs et ceux qui ont partage avec mor tous les moments d'émotion lors de la réalisation de ce travail*

*A tous les membres de ma grande famille.*

*A mon encadreurs Mm yamina harkat pour sa patience, sa diligence et sa réactivité lors de la préparation de ce mémoire.*

*A mon binôme REBOULI Chams Eddine pour son soutien moral sa patience et sa compréhension tout au long de ce projet.*

*A tous mes amies qui m'ont toujours encouragé, et à qui je souhaite plus de succès.*

*A tous qui m'aiment.*



*MENNAA Mohamed Fidaa El Islam*

# *T*able des matières



# SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION GENERALE :</b> .....	<b>1</b>
--------------------------------------	----------

## ◆————◆ *Chapitre I* ◆————◆

<b>I. PRESENTATION DU COMPLEXE GNL2/Z</b> .....	<b>3</b>
I.1. Introduction .....	3
I.2. Le complexe GNL2/Z : .....	3
I.2.1 Pourquoi et comment liquéfier le gaz naturel : .....	3
I.2.2 Historique et situation géographique : .....	4
I.2.3 L'organigramme général du complexe .....	5
I.2.4 Carte technique du complexe : .....	6
I.3. Description générale du procédé : .....	7
I.3.1 1 <sup>ère</sup> Zone (Utilités) : .....	7
I.3.1.1 Unité de chloration : .....	7
I.3.1.2 Station de pompage d'eau de mer : .....	7
I.3.1.3 L'unité de dessalement : .....	8
I.3.1.4 Circuit d'eau potable : .....	8
I.3.1.5 Circuit fermé de refroidissement à l'eau douce : .....	8
I.3.1.6 Chaudières : .....	9
I.3.1.7 L'air et l'azote .....	9
I.3.2 2 <sup>ème</sup> Zone (Process) : .....	10
I.3.2.1 Section de Traitement du gaz naturel : .....	11
I.3.2.2 Section fractionnement : .....	12
I.3.3 3 <sup>ième</sup> Zone (Terminal) : .....	13
I.3.3.1 Stockage du GNL : .....	13
I.3.3.2 Chargement du GNL : .....	14

## ◆————◆ *Chapitre II* ◆————◆

<b>II. GENERALITES SUR LA MAINTENANCE</b> .....	<b>16</b>
II.1. Introduction .....	16
II.2. Notion sur la maintenance : .....	16
II.2.1 Définition de la maintenance : .....	16
II.2.2 Le rôle de la maintenance : .....	16
II.2.3 Importance de la maintenance dans l'entreprise .....	16
II.2.4 Les objectifs de la maintenance : .....	17
II.2.4.1 Les objectifs de coût : .....	17
II.2.4.2 Les objectifs opérationnels : .....	17
II.3. Les différents types de maintenance : .....	17
II.3.1 Maintenance préventive : .....	18

II.3.1.1 Les Buts de la maintenance préventive : .....	18
II.3.1.2 Les différents types de maintenance préventive : .....	18
II.3.2 La maintenance corrective : .....	19
II.3.2.1 Les différents types de maintenance corrective : .....	19
II.4. Les indicateurs de la maintenance : .....	20
II.5. Le choix des méthodes de la maintenance : .....	20
II.6. Les niveaux de maintenance .....	20
II.7. Analyse qualitative de la défaillance : .....	21
II.8. Description de la Défaillance : .....	22
II.8.1 Définition de la Défaillance : .....	22
II.8.2 Causes de défaillance : .....	22
II.8.3 Les modes de défaillances : .....	23
II.8.4 Classification des défaillances .....	23
II.8.4.1 Classification de la défaillance en fonction de la vitesse d'apparition.....	23
II.8.4.2 Classification de la défaillance en fonction du degré.....	23
II.8.5 Classification de la défaillance par rapport aux conséquences : .....	23
II.8.6 Analyse des défaillances : .....	24
II.9. Méthodes d'analyse prévisionnelle 20/80 (Pareto) : .....	24
II.9.1 Définition : .....	24
II.9.2 Diagramme de Pareto (Principe 20/80) : .....	24

### ◆ ◆ ◆ *Chapitre III* ◆ ◆ ◆

<b>III. L'ANALYSE DE LA FIABILITE DES SYSTEMES .....</b>	<b>27</b>
III.1. Introduction : .....	27
III.2. Approche systémique de la modélisation de fiabilité des systèmes : .....	27
III.3. Objectifs et intérêts de la fiabilité en mécanique : .....	27
III.4. Fiabilité : .....	28
III.4.1 Définition : .....	28
III.4.2 Types de la fiabilité : .....	29
III.4.3 Notions de variable aléatoire, densité de probabilité et fonction de répartition : ..	30
III.4.3.1 Variable aléatoire : .....	30
III.4.3.2 Densité de probabilité $f(t)$ : .....	30
III.4.3.3 Fonction de répartition (de défaillance) $F(t)$ : .....	31
III.4.3.4 Fonction de fiabilité .....	32
III.4.4 Les Loi de probabilité utilisées dans la fiabilité : .....	32
III.4.4.1 Lois Discrètes : .....	32
III.4.4.2 Lois continues : .....	32
III.4.5 Les indices de fiabilité : .....	33
III.4.5.1 MTBF (Mean Time Between Failures): .....	33
III.4.5.2 Taux de défaillance $\lambda(t)$ : .....	33
III.4.5.3 MTTF : .....	34
III.4.5.4 MTTR : .....	34
III.4.6 Les différentes phases du cycle de vie d'un produit.....	34

III.4.7 Calcul de fiabilité :.....	35
III.4.7.1 Système en série :.....	35
III.4.7.2 Système en parallèle : .....	35
III.4.7.3 Systèmes mixtes :.....	36
III.5. La Loi de Weibull :.....	37
III.5.1 Définition :.....	37
III.5.2 Signification des paramètres du modèle de WEIBULL : .....	37
III.5.2.1 Paramètre de forme $\beta$ : .....	37
III.5.2.2 Paramètre d'échelle $\eta$ : .....	38
III.5.2.3 Paramètre de position $\gamma$ : .....	38
III.5.3 Description du Papier fonctionnel de weibull : .....	39
III.5.4 Echelles utilisées sur le papier de Weibull : .....	39
III.5.5 Description de la méthode et exploitation de la loi de Weibull :.....	40
III.5.6 Trois cas peuvent se présenter .....	40
III.5.6.1 Les points s'alignent : .....	40
III.5.6.2 Les points sont représentés par une courbe :.....	41
III.5.7 Les points ne peuvent être représentés ni par une courbe ni par une droite. ....	41
III.6. Les tests d'adéquations.....	41
III.6.1 Test de Kolmogorov Smirnov : .....	41

## ◆ ◆ ◆ *Chapitre IV* ◆ ◆ ◆

### **IV. CALCULER LA FIABILITE DE LA ZONE UTILITE DU COMPLEXE GNL2-Z .....44**

IV.1. Introduction : .....	44
IV.2. Collecte des données : .....	44
IV.3. Modélisation de la zone utilité du complexe GNL2-Z :.....	44
IV.4. Analyse prévisionnelle des dysfonctionnements :.....	45
IV.4.1 Méthodes d'analyse prévisionnelle 20/80 (Pareto) : .....	45
IV.4.2 Analyse et résultats.....	46
IV.5. Etude De la fiabilité des équipmants.....	46
IV.5.1 Identification des paramètres de weibull.....	47
IV.5.1.1 Compresseur d'air (2020JB) :.....	47
IV.5.1.2 Compresseur d'air (2020JC) :.....	48
IV.5.1.3 Compresseur d'air (2020JD) : .....	48
IV.5.1.4 Chaudière (770UE) :.....	49
IV.5.1.5 Pompe eau de mer (2200JA) :.....	50
IV.5.1.6 Turbogénérateur (2070JA) : .....	51
IV.5.2 Test d'adéquation (Kolmogorov Smirnov) .....	52
IV.5.2.1 Compresseur d'air (2020JB) :.....	52
IV.5.2.2 Compresseur d'air (2020JC) :.....	53
IV.5.2.3 Compresseur d'air (2020JD) : .....	53
IV.5.2.4 Chaudière (770UE) :.....	53
IV.5.2.5 Pompes eau de mer (2200JA) :.....	54

---

IV.5.2.6 Turbogénérateur (2070JA) : .....	54
IV.5.3 Détermination des indices de fiabilité .....	54
IV.5.3.1 Compresseur d'air (2020JB) : .....	54
IV.5.3.2 Compresseur d'air (2020JC) : .....	56
IV.5.3.3 Compresseur d'air (2020JD) : .....	58
IV.5.3.4 Pompes eau de mer (2200JA) : .....	59
IV.5.3.5 Chaudière (770UE) : .....	61
IV.5.3.6 Turbogénérateur (2070JA) : .....	63
IV.5.4 Calcul du temps souhaitable pour une intervention systématique.....	64
IV.5.4.1 Compresseur d'air (2020JB) : .....	64
IV.5.4.2 Compresseur d'air (2020JC) : .....	65
IV.5.4.3 Compresseur d'air (2020JD) : .....	65
IV.5.4.4 Pompes eau de mer (2200JA) : .....	65
IV.5.4.5 Chaudière 400T/h (770UE) : .....	65
IV.5.4.6 Turbogénérateur (2070JA) : .....	65
IV.6. Conclusion.....	66
 <b>CONCLUSION GENERALE : .....</b>	 <b>68</b>

## LISTE DES FIGURES

<i>Chapitre I</i>	
Figure I. 1 Complexe GL2/Z. ....	3
Figure I. 2 Plan d'implantation du complexe GNL2/Z.....	4
Figure I. 3 L'organigramme du complexe GNL2/Z.....	5
Figure I. 4 les zones de complexe GNL2/Z.....	7
Figure I. 5 le bassin récepteur d'eau de mer.....	8
Figure I. 6 La Chaudière (770UA).....	9
Figure I. 7 Schéma synoptique d'un train de procédé.....	10
Figure I. 8 L'unité de démercurisation. ....	11
Figure I. 9 Photo montrant les réservoirs de stockage.....	13
<i>Chapitre II</i>	
Figure II. 1 les types de maintenance. ....	17
Figure II. 2 maintenance systématique. ....	18
Figure II. 3 diagramme de Pareto.....	25
<i>Chapitre III</i>	
Figure III. 1 Sureté de fonctionnement FMD.....	28
Figure III. 2 Chronogramme Pour les matérielles réparables.....	28
Figure III. 3 Chronogramme pour les matériels non réparables. ....	29
Figure III. 4 Les facteurs de la fiabilité d'un équipement.....	30
Figure III. 5 Densité de probabilité. ....	31
Figure III. 6 Fonction de défaillance. ....	31
Figure III. 7 Probabilité $P(a < X < b)$ .....	32
Figure III. 8 les deux fonctions associées (défaillance et fiabilité). ....	32
Figure III. 9 Evolution du taux de défaillance en courbe (baignoire).....	35
Figure III. 10 Diagramme en série.....	35
Figure III. 11 Diagramme en parallèle.....	35
Figure III. 12 Diagramme de fiabilité pour un système série-parallèle. ....	36
Figure III. 13 Diagramme de fiabilité pour un système parallèle-série. ....	36
Figure III. 14 Influence de $\beta$ sur la densité de probabilité, la fiabilité et le taux de défaillance .....	38
Figure III. 15 Influence de $\eta$ sur la densité de probabilité.....	38

Figure III. 17 Influence de  $\gamma$  sur la densité de probabilité. .... 39

Figure III. 18 Papier de Weibull. .... 40

Figure III. 19 Courbe en papier de weibull. .... 41

*Chapitre IV*

Figure IV. 1 Schéma de la zone utilité ..... 44

Figure IV. 2 Diagramme 20/80 de Pareto ..... 46

Figure IV. 3 Papier de weibull Compresseur d'air (2020JB) ..... 47

Figure IV. 4 Papier de weibull Compresseur d'air (2020JC) ..... 48

Figure IV. 5 Papier de weibull Compresseur d'air (2020JD) ..... 49

Figure IV. 6 Papier de weibull Chaudière (770UE). .... 50

Figure IV. 7 Papier de weibull Pompe eau de mer (2200JA) ..... 51

Figure IV. 8 Papier de weibull Turbogénérateur (2070JA) ..... 52

Figure IV. 9 La Courbe Taux De Défaillance Compresseur d'air (2020JB). .... 56

Figure IV. 10 La Courbe De Fonction Fiabilité Compresseur d'air (2020JB). .... 56

Figure IV. 11 La Courbe Taux De Défaillance Compresseurs d'air (2020JC). .... 57

Figure IV. 12 La Courbe De Fonction Fiabilité Compresseurs d'air (2020JC). .... 57

Figure IV. 13 La Courbe Taux De Défaillance Compresseur d'air (2020JD). .... 59

Figure IV. 14 La Courbe De Fonction Fiabilité Compresseur d'air (2020JD). .... 59

Figure IV. 15 La Courbe Taux De Défaillance Pompes eau de mer (2200JA). .... 61

Figure IV. 16 La Courbe De Fonction Fiabilité Pompes eau de mer (2200JA). .... 61

Figure IV. 17 La Courbe Taux De Défaillance Chaudière (770UE). .... 62

Figure IV. 18 La Courbe De Fonction Fiabilité Chaudière (770UE). .... 62

Figure IV. 19 La Courbe De Fonction Fiabilité Turbogénérateur (2070JA). .... 64

Figure IV. 20 La Courbe Taux De Défaillance Turbogénérateur (2070JA). .... 64

## LISTE DES TABLEAUX

<i>Chapitre I</i>	
Tableau I. 1 Description des départements.....	5
Tableau I. 2 description du complexe.....	6
<i>Chapitre II</i>	
Tableau II. 1 les indicateurs de maintenance. ....	20
Tableau II. 2 Les niveaux de maintenance.....	21
Tableau II. 3 types de causes conduisant à une défaillance.....	22
Tableau II. 4 types de causes conduisant à une défaillance.....	22
Tableau II. 5 Classification de la défaillance par rapport aux conséquences.....	23
<i>Chapitre III</i>	
Tableau III. 1 les attributs de sureté de fonctionnement pour les lois usuelles.....	33
Tableau III. 2 Test de Kolmogorov-Smirnov, valeurs de DN ; $\alpha$ .....	Erreur ! Signet non défini.
<i>Chapitre IV</i>	
Tableau IV. 1 Historiques des pannes du pompe eau de mer 2200JA. ....	45
Tableau IV. 2 La Méthode Pareto Pour la zone utilité.....	45
Tableau IV. 3 Application du modèle de weibull Compresseur d'air (2020JB).....	47
Tableau IV. 4 Application du modèle de weibull Compresseur d'air (2020JC). ....	48
Tableau IV. 5 Application du modèle de weibull Compresseur d'air (2020JD). ....	48
Tableau IV. 6 Application du modèle de weibull Chaudière (770UE).....	49
Tableau IV. 7 Application du modèle de weibull Pompe eau de mer (2200JA). ....	50
Tableau IV. 8 Application du modèle de weibull Turbogénérateur (2070JA).....	51
Tableau IV. 9 Test de Kolmogorov Smirnov Compresseur d'air (2020JB).....	52
Tableau IV. 10 Test de Kolmogorov Smirnov Compresseur d'air (2020JC). ....	53
Tableau IV. 11 Test de Kolmogorov Smirnov Compresseur d'air (2020JD). ....	53
Tableau IV. 12 Test de Kolmogorov Smirnov Chaudière (770UE).....	53
Tableau IV. 13 Test de Kolmogorov Smirnov Pompes eau de mer (2200JA). ....	Erreur ! Signet non défini.
Tableau IV. 14 Test de Kolmogorov Smirnov Turbogénérateur (2070JA).....	54
Tableau IV. 15 Étude de modèle de weibull Compresseur d'air (2020JB).....	55
Tableau IV. 16 Étude de modèle de weibull Compresseur d'air (2020JC).....	57
Tableau IV. 17 Étude de modèle de weibull Compresseur d'air (2020JD).....	59
Tableau IV. 18 Étude de modèle de weibull Pompes eau de mer (2200JA).....	61

---

<b>Tableau IV. 20 Étude de modèle de weibull Turbogénérateur (2070JA) .....</b>	<b>64</b>
---	-----------

## GLOSSAIRE

### C

**CO<sub>2</sub>** : Gaz carbonique

### D

**D** : Disponibilité

**Dn.  $\alpha$**  : L'erreur de référence

### F

**FMD** : Fiabilité, maintenabilité, disponibilité

**F(t)** : Fonction de défaillance

**f(t)** : Densité de probabilité

### H

**HM** : Heures de marche

**HAA** : Heures d'arrêt accidentel

**He** : Hélium

### G

**GL** : Gaz Liquéfié

**GN** : Gaz Naturel

**GNL** : Gaz Naturel Liquéfié

**GNT** : Gaz Naturel Traité

### L

**LRU** : Lowest Replaceable Unit

### M

**MTTR** : Mean Time to Repair = Temps moyen de réparation

**MTBF** : Mean Time Between Failure = Temps moyen entre deux défaillances

**MDT** : Mean down time = Temps d'arrêt

**MUT** : Mean up time = Temps de se lever

### N

**N(i)** : Le nombre des pannes

**NAC** : Nombre d'arrêt accidentel

### R

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

### S

**SRU** : Single Replaceable Unit

### T

**TBF** : Temps de bon fonctionnement

## SYMBOL

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

**$\beta$**  : Paramètre de forme

**$\gamma$**  : Paramètre de position

**$\eta$**  : Paramètre d'échelle

# Résumé

---

”

*« Ce qui se dit en trois mots  
n'est jamais si bien dit en  
quatre ; et un bon livre n'est  
pas celui qui dit tout, mais qui  
fait beaucoup penser »*

*- André Chénier -*

“



## Résumé :

Le mémoire "Analyse de la Fiabilité de la Zone Utilité du Complexe GNL2-Z" examine la fiabilité des équipements critiques de la zone utilité du complexe GNL2-Z. En tant que zone essentielle pour démarrer le complexe de liquéfaction et le transport du gaz naturel, la zone utilité est cruciale pour le fonctionnement des unités de liquéfaction. Elle est soumise à des contraintes qui affectent sa fiabilité. Ce mémoire analyse la fiabilité de cette zone en identifiant les équipements critiques par l'utilisation de la loi de Pareto et en appliquant la loi de Weibull afin de déterminer les indices de fiabilité, ce qui aide à choisir la stratégie de maintenance appropriée.

**Mots-clés :** Fiabilité, taux de défaillance, loi de Pareto, loi de Weibull, la maintenance.

## Abstract :

The thesis "Reliability Analysis of the Utility Zone of the GNL2-Z Complex" examines the reliability of the critical equipment in the utility zone of the GNL2-Z complex. As an essential zone for initiating the liquefaction complex and the transport of natural gas, the utility zone is crucial for the operation of liquefaction units. It is subject to constraints that affect its reliability. This thesis analyzes the reliability of this zone by identifying critical equipment using the Pareto law and applying the Weibull law to determine reliability indices, which helps in selecting the appropriate maintenance strategy.

**Keywords:** Reliability, failure rate, Pareto law, Weibull law, maintenance.

## ملخص:

تناول البحث "تحليل موثوقية منطقة المرافق لمجمع GNL2-Z" موثوقية المعدات الحيوية في منطقة المرافق لمجمع GNL2-Z. باعتبارها منطقة أساسية لبدء عملية الإسالة ونقل الغاز الطبيعي، تُعد منطقة المرافق ضرورية لتشغيل وحدات الإسالة. تخضع هذه المنطقة لقبود تؤثر على موثوقيتها. يحل هذا البحث موثوقية هذه المنطقة من خلال تحديد المعدات الحيوية باستخدام قانون باريتو وتطبيق قانون ويبيل لتحديد مؤشرات الموثوقية، مما يساعد في اختيار استراتيجية الصيانة المناسبة.

**الكلمات المفتاحية:** الوثوقية، معدل الفشل، قانون باريتو، قانون ويبيل، الصيانة.

# *I*ntroduction générale

---

”

*« D'une image d'un objet, le cerveau humain retire une multitude d'information, est-il possible de doter une machine d'une telle capacité d'analyse ? » - Jean Serra-*

“



## Introduction générale :

Le secteur énergétique joue effectivement un rôle crucial dans le développement économique et social des nations. En Algérie, le gaz naturel (GN) représente une part importante des exportations énergétiques. Toutefois, le transport du gaz naturel vers des destinations éloignées où le transport par pipelines est impossible ou trop coûteux représente un défi majeur. Heureusement, des complexes tels que GNL2-Z offrent une solution à ce problème en permettant la liquéfaction du gaz pour son transport par navires méthaniers vers les ports de destination. La fiabilité des infrastructures de ces complexes est essentielle pour garantir une production continue et sécurisée, minimisant ainsi les risques de pannes et les coûts associés.

La zone utilité du complexe GNL2-Z est une composante clé de l'infrastructure globale, fournissant les services nécessaires au bon fonctionnement des unités de liquéfaction de gaz. Cependant, cette zone est soumise à diverses contraintes opérationnelles et environnementales qui peuvent affecter sa fiabilité. L'analyse de la fiabilité de cette zone est donc primordiale pour assurer une optimisation des performances et une réduction des interruptions de service.

Dans ce contexte, le rôle de la fonction maintenance prend une dimension encore plus importante. Elle permet d'augmenter la disponibilité et la fiabilité des équipements à la production, de réduire les pannes par des interventions périodiques et de contribuer à la réduction des accidents par le maintien adéquat du niveau de sécurité des équipements.

Ce mémoire vise à analyser la fiabilité de la zone utilité du complexe GNL2-Z, identifier les principales faiblesses et les points critiques susceptibles de provoquer des pannes. Pour atteindre ces objectifs, Notre étude comprend une revue documentaire des normes et des meilleures pratiques en matière de fiabilité industrielle, la collecte et l'analyse de données opérationnelles de la zone utilité telle qu'une analyse prévisionnelle par la loi de Pareto pour déterminer les équipements critiques et l'application de techniques d'analyse de la fiabilité en utilisant la loi Weibull.

Le mémoire est structuré en quatre chapitres principaux : le premier chapitre présente le complexe GNL2-Z, avec une description générale du complexe et un focus sur la zone utilité. Le deuxième chapitre traite des généralités sur la maintenance, en exposant l'analyse qualitative et quantitative des défaillances. Le troisième chapitre aborde les notions de fiabilité et les lois statistiques utilisées, telles que la loi de Weibull, et l'utilisation des tests d'adéquation. Enfin, le quatrième chapitre est consacré à l'application numérique, où les analyses précédentes sont mises en œuvre pour évaluer et améliorer la fiabilité de la zone utilité par le biais de stratégies de maintenance appropriées.

En étudiant les équipements critiques affectant la performance de la zone utilité. Enfin, des recommandations seront proposées basées sur les analyses effectuées pour améliorer la fiabilité de cette zone.



# Chapitre I

---

*Présentation du complexe  $\mathbb{G}\mathbb{N}\mathbb{L}_2/\mathbb{Z}$*

”

*« La théorie, c'est quand on sait  
tout et que rien ne fonctionne.  
La pratique, c'est quand tout  
fonctionne et que personne ne  
sait pourquoi »  
-Albert Einstein-*

“



## I. Présentation du complexe GNL2/Z

### I.1. Introduction

Dans le cadre de l'objectif stratégique de valorisation des ressources en gaz naturel (GN), principalement du gisement de Hassi R'Mel, des usines de Gaz Naturel Liquéfié (GNL) ont été construites en Algérie, dont le but principal est de faciliter l'exportation et le transport du GNL vers l'étranger via des méthaniers. En effet, la liquéfaction de 600 Nm<sup>3</sup> de gaz naturel conduit à la production de 1 m<sup>3</sup> de GNL, soit une réduction de volume de 600 fois.

### I.2. Le complexe GNL2/Z :

Le complexe GNL2/Z est un complexe de GNL construit par SONATRACH. Il fait partie d'une chaîne complète conçue pour extraire, traiter, transporter et liquéfier le gaz naturel provenant des champs de Hassi R'Mel. Le produit final, le GNL (Gaz Naturel Liquéfié), doit être expédié par navires méthaniers vers les ports de destination. Il s'agit donc du seul mode possible pour transporter le gaz naturel vers des destinations lointaines où le transport par pipelines s'avère impossible ou plus coûteux. Le complexe GNL2/Z est organisé en plusieurs départements, disposant d'un personnel qualifié pour la gestion et l'entretien de l'usine. L'entretien rationnel des installations augmente leur durée de service et évite une grande partie des pannes et des troubles de fonctionnement. [1]

Il a pour mission de produire du gaz naturel liquéfié, avec la possibilité de l'extraction d'autres gaz industriels. C'est un complexe de liquéfaction de gaz naturel construit pour le compte de SONATRACH. La réalisation du complexe a été confiée à la société Pullman Kellogg (PK). [2]



Figure I. 1 Complexe GNL2/Z.

### I.2.1 Pourquoi et comment liquéfier le gaz naturel :

La faible densité du gaz naturel est le principal obstacle à son transport par bateau. La solution à ce problème est de le transformer en état liquide, donc plus dense, facilement transportable. Cette opération consiste à refroidir le gaz naturel à une température de -162 °C. Par ce procédé, on réduit six cent vingt-cinq (625) fois le volume du gaz. Il peut ainsi être transporté par des navires équipés de cuves cryogéniques, qui le conservent dans son état liquide à très basse température, jusqu'au port de destination où il sera remis en l'état gazeux.



## Présentation du complexe GNL2/Z

Le gaz naturel est traité, puis liquéfié dans une unité de liquéfaction appelée train de liquéfaction. Il est composé essentiellement de méthane, d'éthane, de propane, et d'azote. Le gaz est d'abord débarrassé des faibles quantités d'huile accumulées dans les stations de compression, du mercure, du gaz carbonique et de toute trace d'humidité, qui se solidifient aux températures les plus basses et boucheraient les équipements et les tuyauteries, et entraîneraient l'arrêt des installations. Les produits lourds (butane, propane, C<sub>5</sub>) seront extraits au cours du traitement pour être commercialisés. Le gaz est liquéfié par la suite, par un abaissement progressif et continu de la température jusqu'à -162 °C pour son stockage et son chargement. [3]

### I.2.2 Historique et situation géographique :

Le complexe de liquéfaction du gaz naturel (GNL2/Z) de SONATRACH, est situé à l'ouest de l'Algérie (40 Km à l'est d'Oran dans le village de Béthioua) et à 700 Km des gisements de Hassi R'mel, Il s'étend sur une superficie de soixante-douze (72) hectares. Cette position stratégique permet l'exportation du produit GNL par voie marine et l'utilisation de l'eau de mer dans les différents processus de production et de lutte antiincendie (**Figure I.2**).

L'historique de sa réalisation et de son entrée en production présente comme suit :

Signature du contrat .....	09 février 1976
Ouverture du chantier .....	15 mars 1977
Pose de la première pierre .....	21 février 1978
Première production du GNL .....	20 janvier 1981
Première expédition du GNL .....	29 janvier 1981
Rénovation du complexe .....	1992 à 1996



Figure I. 2 Plan d'implantation du complexe GNL2/Z.



Présentation du complexe GNL2/Z

I.2.3 L'organigramme général du complexe

Le complexe est composé de différents départements et services représentés dans le diagramme ci-dessous. Chaque département a ses propres fonctions pour réaliser son objectif.

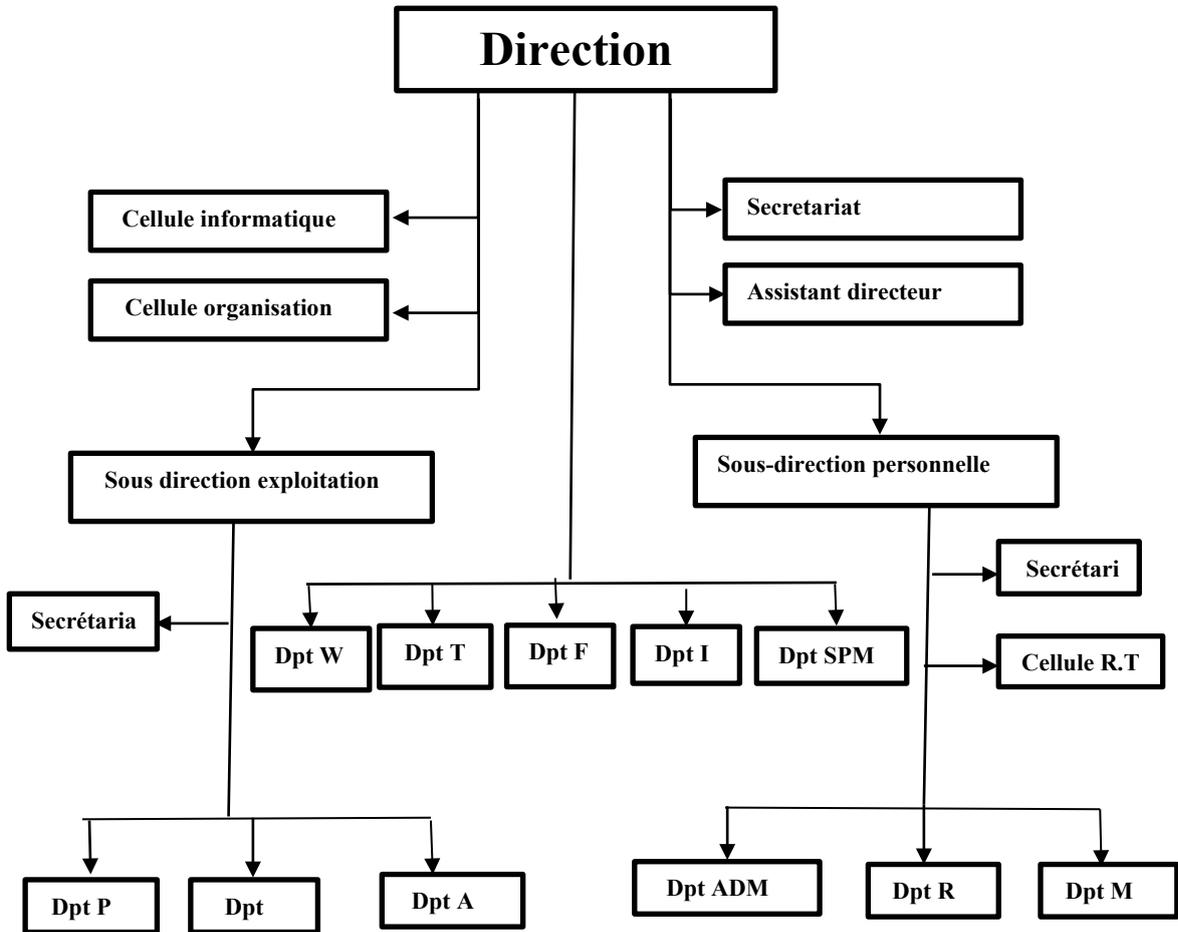


Figure I. 3 L'organigramme du complexe GNL2/Z.

Description des départements :

Tableau I. 1 Description des départements.

Code	Désignation	Code	Désignation
I	Sécurité	ADM	Administration
F	Finance	A	Approvisionnement
T	Technique	G	Maintenance
M	Moyens Généraux	P	Production
R	Ressource Humain	R.T	Relations de Travail



## Présentation du complexe GNL2/Z

### I.2.4 Carte technique du complexe :

Le complexe GNL2/Z fait partie des six complexes de liquéfaction qui appartient à l'activité (EN AVAL) de l'entreprise SONATRACH national et a pour mission de traiter le gaz naturel transporté par gazoduc en provenance de Hassi R'mel en gaz naturel liquéfié GNL avec possibilité d'extraction du propane, du butane et de la gazoline, ce gaz est ensuite transporté dans les méthaniers (bateau transportant du méthane) à destination de l'étranger.

A la sortie des puits, le gaz naturel est un mélange d'hydrocarbures légers dont la teneur en méthane prépondérante ( $\geq 80\%$ ). Il contient également en proportion décroissante des traces d'hydrocarbures lourds, en plus d'éléments non combustibles tels que le  $\text{CO}_2$  (gaz carbonique) et le He (hélium).

Le complexe GNL2/Z se compose de 6 trains de liquéfaction identique chacun à une capacité de production de  $9000 \text{ m}^3$  de GNL par jour.

Le tableau suivant donne une description du complexe :

**Tableau I. 2 description du complexe.**

<b>Situation Géographique</b>	Situé sur la côte, à 40 km de la ville d'Oran, dans la daïra de Béthioua.
<b>Surface</b>	S'étend sur une superficie de 72 hectares, dont que 56 hectares occupé par les installations.
<b>Constructeur</b>	Inc. Pull Man Kellogg (USA) dans le cadre d'un contrat clé dans la main.
<b>Objectif</b>	Traitement du GN qui signifie la séparation et la transformation dans GNL.
<b>Source De provision</b>	Les champs de gaz de Hassi R'mel.
<b>Produit</b>	Le gaz naturel Liquéfié. Gazoline.
<b>Capacité de production</b>	17.5 millions $\text{m}^3$ / année de GNL & 123.000 tonnes / année de Gazoline.
<b>Nombre de trains</b>	Six (06) trains qui traitent $9000 \text{ m}^3$ de GN / Jour en moyenne.
<b>Production D'électricité</b>	3*18 MW (associé dans le réseau SONALGAZ).
<b>Pris d'eau de mer</b>	6*33.000 $\text{m}^3$ /h.
<b>La production d'eau a distillé</b>	6*45 $\text{m}^3$ /h.
<b>Production de vapeur</b>	21 chaudières de 136 T / h, et 04 autre de 400 T/h dans le processus qui produit de la vapeur haute pression nécessaire à l'entraînement des turbines et des compresseurs.
<b>Capacité de stockage</b>	3 réservoirs de $100.000 \text{ m}^3$ & deux (02) ferrys de gazoline de $45.000 \text{ m}^3$ chacun.

<b>Clients</b>	Gaz de France (France). Distrigaz (Belgique & USA). Sonatrading (USA). Panhandal (USA). ENI (Italie).
----------------	---

### I.3. Description générale du procédé :

L'usine de liquéfaction de gaz naturel GNL2/Z comprend six trains de liquéfaction identiques et fonctionnant en parallèle. Le gaz naturel d'alimentation est distribué à chacun des trains par un réseau de canalisation.

Le complexe GNL2/Z est constitué trois (03) zones essentielles :

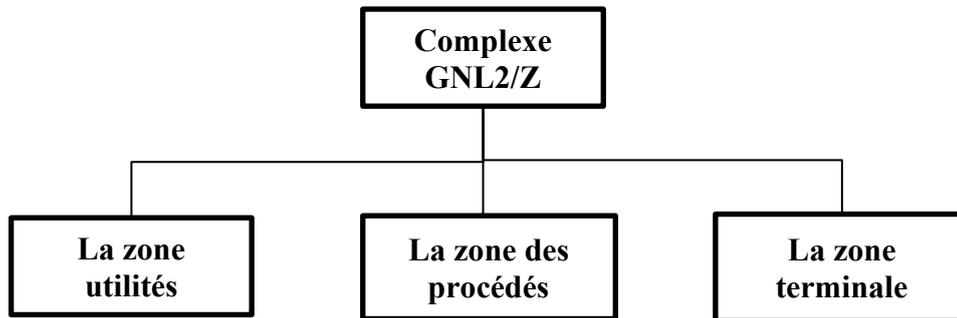


Figure I. 4 les zones de complexe GL2/Z.

#### I.3.1 1<sup>ère</sup> Zone (Utilités) :

La zone des utilités est conçue essentiellement pour fournir toutes sortes d'énergie et répondre aux besoins des 6 trains de production du complexe. Elle est la zone la plus importante au sein de l'usine, car elle assure le démarrage et la marche normale des trains de liquéfaction. Cela signifie assurer la production de vapeur, d'énergie électrique, d'air, d'azote, et d'eau de refroidissement, ainsi que l'évacuation des effluents. [4]

La zone utilités est essentiellement autonome ; les seules fournitures extérieures sont l'eau potable de la SONADE et l'énergie électrique de secours de la SONELGAZ. Le gaz combustible, provenant du train, est le gaz naturel combustible fourni par gazoduc depuis Hassi R'Mel.

##### I.3.1.1 Unité de chloration :

Le chlore utilisé pour la chloration de l'eau de mer est livré sous forme liquide dans des cylindres, puis est transformé à l'état gazeux par des évaporateurs avant d'être dissous par les chlorateurs dans un faible courant d'eau de mer prélevé à la station de pompage. La solution obtenue est injectée soit au niveau de la prise d'eau de mer, soit au niveau du puits d'aspiration de chaque pompe de la station de pompage.

##### I.3.1.2 Station de pompage d'eau de mer :

La station contient six pompes (5 fonctionnent en marche normale) aspirant l'eau chlorée du bassin d'eau de mer commun au GNL2/Z et au GNL1/Z pour la refouler dans deux bacs collecteurs avec des boîtes de distribution qui alimentent les utilités et les trains. Les six pompes sont actionnées chacune par un moteur électrique de 4,5 MW et ont un débit de l'ordre de 33

000 m<sup>3</sup>/h chacune. Une turbopompe auxiliaire est mise en place en cas d'incident des pompes principales ; cette pompe fournit aux utilités l'eau nécessaire pour assurer la continuité de l'alimentation en eau de mer.

Pour éviter d'endommager des équipements, un filtre rotatif est placé à l'aspiration de chaque pompe et est nettoyé automatiquement par des pompes de lavage.

Le réseau incendie est alimenté par une pompe électrique en marche normale et une pompe de secours diesel en cas d'incident sur la première.

Un système d'injection de produit chimique (sulfate de fer) situé à l'aspiration des pompes permet d'éviter la corrosion des tuyauteries.



Figure I. 5 le bassin récepteur d'eau de mer.

#### I.3.1.3 L'unité de dessalement :

L'unité de dessalement, constituée de trois dessaleurs, produit l'eau distillée d'appoint nécessaire aux chaudières de GNL2/Z avec une teneur en sels dissous inférieure à 2 ppm. Il est possible d'alimenter également, en cas de besoin, l'usine GNL2/Z. En marche normale, le dessaleur produit 45 m<sup>3</sup>/h d'eau distillée ; en cas d'augmentation de la demande en eau distillée (plusieurs adoucisseurs de condensats en régénération, alimentation de GL2/Z, etc.), les 3 dessaleurs peuvent fonctionner en même temps.

L'eau distillée est produite par évaporation, condensation sous vide de l'eau de mer chlorée provenant de la boîte de distribution passant au travers des dessaleurs multi-étage. Elle est ensuite stockée dans un bac d'une autonomie de 8 jours (8710 m<sup>3</sup>) pour GNL2/Z et GNL1/Z en fonctionnement normal. Trois turbopompes assurent l'alimentation en eau distillée des chaudières GNL2/Z depuis le bac de stockage qui sert également l'appoint de GNL1/Z en cas de besoin. Un système d'injection d'acide sulfurique permet le détartrage périodique des dessaleurs (environ tous les 3 mois).

#### I.3.1.4 Circuit d'eau potable :

La SONADE fournit en eau potable les installations sanitaires de GNL2/Z et le réseau nécessaire au fonctionnement de GNL2/Z par l'intermédiaire d'un bac de stockage d'une autonomie de 7 jours (635 m<sup>3</sup>), condition prévue entre le réseau de GNL2/Z et celui de GNL1/Z.

#### I.3.1.5 Circuit fermé de refroidissement à l'eau douce :

L'eau douce sert à refroidir toutes les pièces d'équipement qui ne tolèrent pas l'eau de mer



## Présentation du complexe GNL2/Z

trop corrosive. L'eau utilisée est l'eau distillée et neutralisée chimiquement, laquelle est ensuite refroidie par l'eau de mer. Un ballon tampon de 33 m<sup>3</sup> alimente le circuit.

### I.3.1.6 Chaudières :

La production de vapeur nécessaire au fonctionnement de l'usine est assurée par (6) chaudières haute pression de 62 bar pour les utilités. Pour les trains de liquéfaction, (18) chaudières haute pression sont utilisées. Le combustible utilisé est soit de la gasoline provenant du procédé, soit un mélange gaz naturel/gaz combustible du procédé (**Figure I.7**).



**Figure I. 6 La Chaudière (770UA).**

- **Distribution de vapeurs utilités :**

Les chaudières haute pression produisent la vapeur 62 bars qui alimentent les 3 turbines à condensation total des 3 turbo alternateurs.

- **Energie électrique :**

L'énergie électrique est principalement fournie par (3) turbogénérateurs de 20 MW chacun. Deux de ces trois turbogénérateurs suffisent aux besoins de production normale pour toute l'usine. En cas de panne, le réseau **SONELGAZ** assure une production d'énergie électrique de secours, d'une puissance de 5 MW.

En cas de défaillance de cette source, un turbogénérateur diesel d'une puissance de 2 MW se mettra en marche automatiquement.

Une connexion entre **GNL2/Z** et **GNL1/Z** permet d'utiliser une partie de l'énergie électrique d'un complexe pour alimenter l'autre (puissance de 6 MW).

### I.3.1.7 L'air et l'azote

- **L'air :**

Le système de production d'air instrument et d'air service est composé de quatre compresseurs, dont deux actionnés par turbine et deux par moteur électrique, de deux sécheurs (en marche normale l'un fonctionne pendant que l'autre est en régénération), de filtres et de deux réservoirs d'air communs à l'air instrument et à l'air de service.

Les deux réservoirs d'air peuvent fournir 50 % de la demande en air de toute l'usine pendant 10 minutes en cas de défaillance complète de tous les compresseurs.

- **L'azote :**



## Présentation du complexe GNL2/Z

L'azote est utilisé sous forme gazeuse pour purger les circuits et pour certaines opérations de liquéfaction (tests à blanc, appoint MCR, etc.).

Il est obtenu sous forme gazeuse ou liquide dans l'unité d'azote à partir du fractionnement de l'air liquéfié. Il est stocké sous forme liquide à  $-173^{\circ}\text{C}$  et à une pression de 9,3 bars.

L'unité d'azote comprend un compresseur d'air, une « boîte froide » regroupant plusieurs équipements permettant de fractionner l'air liquéfié, un bac de stockage et un vaporiseur.

L'unité peut fournir en marche normale  $161 \text{ m}^3/\text{h}$  d'azote gazeux et  $53 \text{ m}^3/\text{h}$  d'azote liquide.

### I.3.2 2<sup>ème</sup> Zone (Process) :

Cette zone est composée essentiellement de six (06) trains de liquéfaction identiques fonctionnant en indépendance où chacun comprend un nombre d'équipements montés principalement en série, assurant ainsi la transformation du GN de l'état gazeux à l'état liquide.

Chaque train dispose des sections suivantes :

- Section de traitement du gaz naturel.
- Section de séparation et liquéfaction.
- Section de fractionnement.

Le diagramme suivant montre un schéma synoptique d'un train de procédé.

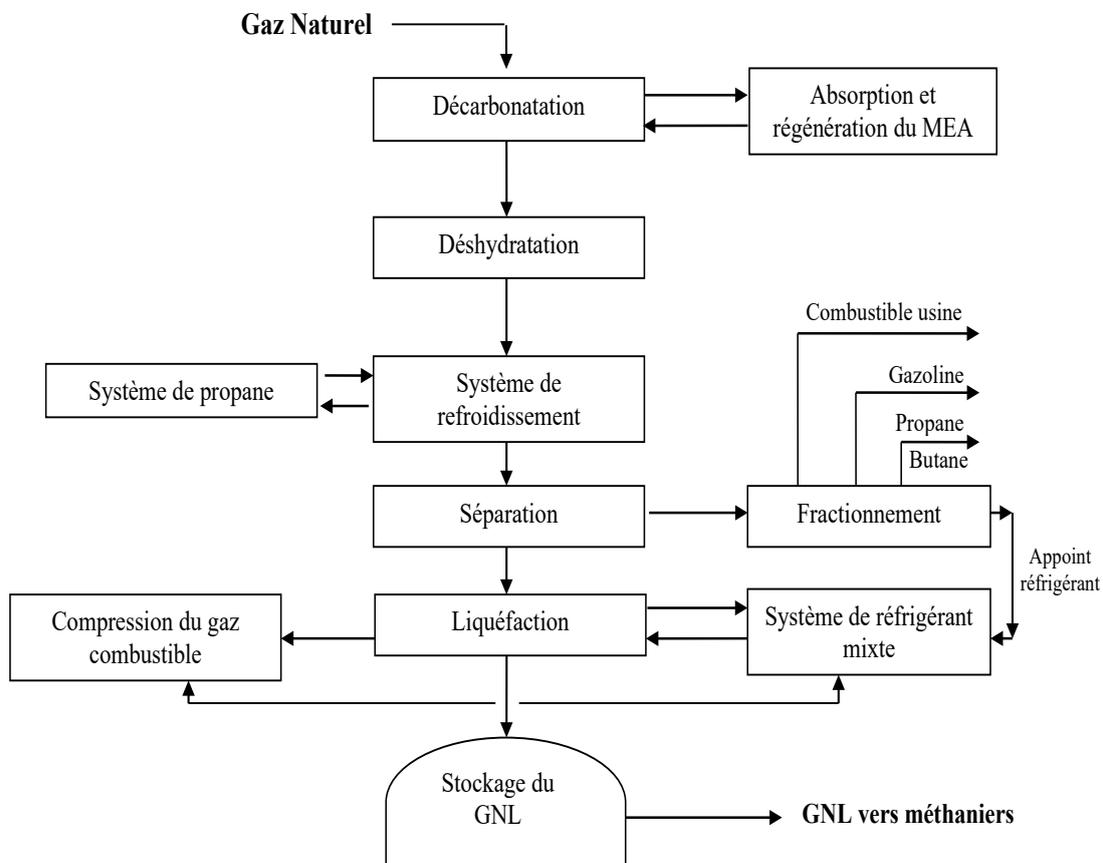


Figure I. 7 Schéma synoptique d'un train de procédé.



### I.3.2.1 Section de Traitement du gaz naturel :

- **Prétraitement :**

À l'entrée du train, le gaz brut passe par un ballon séparateur (X31F). Pour séparer les hydrocarbures liquides en suspension dans le gaz naturel, un moussage est créé, et les élimine vers le système de rejet liquide.

- **Démercurisation :**

L'unité de démercurisation est installée en amont de la section de décarbonatation du gaz naturel. Elle est conçue pour réduire la concentration de mercure dans le gaz d'alimentation par adsorption dans le démercuriseur (X42 D). Le mercure attaque le métal des équipements par effet de corrosion.

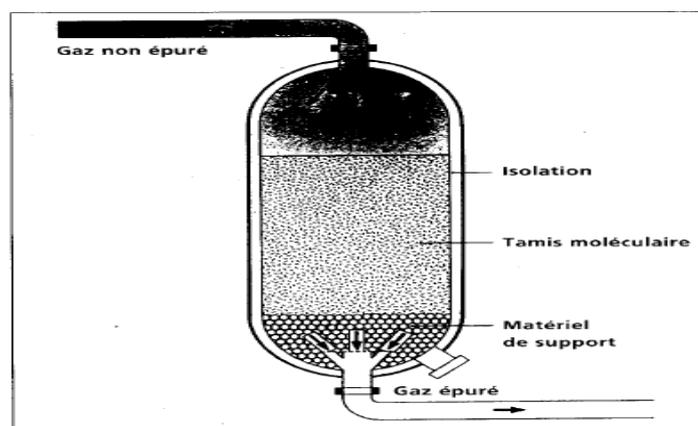


Figure I. 8 L'unité de démercurisation.

- **Décarbonatation :**

Le gaz d'alimentation pénètre dans la colonne d'absorption à 29 plateaux (X31E) par le bas sous une pression de 41 bars, à contre-courant de la solution de MEA (monoéthanolamine) pauvre.

Il sera débarrassé du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) jusqu'à une teneur inférieure à 70 ppm en tête de colonne, puis dirigé vers la section de déshydratation.

La solution de MEA quitte le fond de la colonne sous forme de solution de MEA riche pour se diriger vers la section de régénération de MEA.

L'élimination du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) du gaz naturel est nécessaire afin d'éviter sa congélation et le blocage dans la partie froide de l'usine. Étant donné que la température de liquéfaction du gaz naturel est à -160 °C, le CO<sub>2</sub> se solidifiera à une température de -56 °C et à une pression atmosphérique.

### I.3.2.2. Section de séparation et de liquéfaction

- **Section de séparation :**

Cette section a pour rôle l'extraction des hydrocarbures lourds contenus dans le gaz naturel. L'opération est assurée par un simple pré-refroidissement du gaz naturel avec du propane réfrigérant dans une installation d'échange thermique.



- **Section liquéfaction :**

Elle est assurée par l'échangeur principal en utilisant le MCR comme fluide réfrigérant. À la sortie de l'échangeur cryogénique, le GNT sort à une température de  $-148\text{ °C}$  sous forme de GNL.

L'échangeur principal liquéfie le gaz naturel traité (GNT) en utilisant le MCR comme réfrigérant.

Le GNT pénètre en bas de l'échangeur principal et progresse vers le haut où il traverse les douches de MCR et quitte l'échangeur sous forme liquide à une pression de 25 bars et une température de  $-148\text{ °C}$ .

La liquéfaction du GNT se fait en deux temps : d'abord, le GNT pénètre dans le faisceau central de l'échangeur principal où il est réfrigéré à  $-110\text{ °C}$  par échange thermique avec les faisceaux MCR liquide et MCR vapeur, puis le gaz partiellement condensé est liquéfié complètement dans le faisceau froid de l'échangeur principal par échange thermique avec le MCR.

Il se dirige vers l'échangeur à  $-148\text{ °C}$  et sous une pression de 24 bars, en se combinant à la sortie avec un courant de propane et d'éthane en provenance du fractionnement, refroidi dans l'échangeur de rejet.

Ce mélange liquide/gaz est détendu dans une vanne jusqu'à 1,5 bar et sa température est abaissée à  $-158\text{ °C}$ . Il subit une deuxième détente jusqu'à 1 bar dans le ballon déazoteur (X02E) pour éliminer l'azote dissous dans la phase liquide du gaz naturel liquéfié.

Les composants légers, essentiellement l'azote, sont extraits par vaporisation et passent par ascension vers la colonne.

La phase liquide GNL débarrassée de l'azote est récupérée au fond du déazoteur où l'acheminement vers le stockage est assuré à l'aide des pompes.

### **I.3.2.2 Section fractionnement :**

Le système de fractionnement sépare les hydrocarbures les plus lourds éliminés du courant de gaz naturel dans la section de séparation et prépare les constituants nécessaires à l'alimentation interne des diverses sections de l'usine :

- Ethane d'appoint pour le réfrigérant mixte MCR et le GNL.
- Propane d'appoint pour le système propane, le MCR et le GNL.
- Butane d'appoint pour le GNL d'alimentation de l'échangeur principal.
- Gazoline comme combustible des chaudières et éventuellement comme produit commercialisable.
- Gaz combustible de procédé pour les chaudières.

L'unité de fractionnement comprend trois systèmes de distillation en cascade suivants :

- **Dééthaniseur (151 E)**

C'est une colonne de distillation à 48 plateaux. Le produit de fond de la tour de lavage (101 E) à 37,1 bar et  $28,3\text{ °C}$  est détendu à 31,8 bar avant d'être collecté dans le ballon tampon du dééthaniseur et est ensuite injecté au niveau du 14ème plateau pour y subir une opération de distillation sous 29,7 bar.



## Présentation du complexe GNL2/Z

Les composants légers, essentiellement de l'éthane, sont séparés des hydrocarbures lourds et montent vers le haut de la colonne à contre-courant du liquide de reflux qui descend des plateaux.

Le produit de fond subit une action de rebouillage à la vapeur et, débarrassé de ses constituants légers, est ensuite acheminé vers le dépropaniseur.

- **Débutaniseur (153 E)**

C'est une colonne de distillation à 21 plateaux. Le liquide recueilli au dépropaniseur à 123,5 °C et sous une pression de 18,3 bar, est introduit dans le débutaniseur au niveau du 9ème plateau après avoir été détendu à 4,9 bar, et refroidi à 73,9 °C pour y subir une opération de distillation à 4,9 bar.

Le butane est séparé des hydrocarbures lourds, remonte vers le haut de la colonne à contre-courant du liquide de reflux s'écoulant vers le bas des plateaux.

Le produit de fond subit une action de rebouillage à la vapeur et, débarrassé de ses constituants légers, est recueilli sous forme de gazoline puis refroidi à 32,2 °C par de l'eau de mer dans le refroidisseur de gazoline avant d'être envoyé dans les bacs de stockage.

### I.3.3 3ième Zone (Terminal) :

C'est la zone de stockage et de chargement.

#### I.3.3.1 Stockage du GNL :

Trois réservoirs de GNL assurent le stockage de la totalité de la production de GNL des six trains pendant cinq jours environ. Les réservoirs, d'une capacité unitaire de 100 000 m<sup>3</sup>, permettent de stocker le GNL à la pression atmosphérique de 1,03 bar abs et à une température de -162 °C. Lors du remplissage des réservoirs, une certaine quantité de produit se vaporise.

Les échanges de la chaleur avec l'extérieur dus à la conduction sont aussi la cause de la vaporisation du produit.

Les vapeurs de stockage sont recueillies et comprimées par les compresseurs de vapeur de stockage avant d'être renvoyées dans le collecteur principal de gaz combustible.

Le GNL peut être transféré d'un réservoir à l'autre lorsqu'on ne charge pas, en utilisant la pompe de transfert.

Il est également possible de transférer la production de GNL de GNL2/Z vers les bacs de stockage de GNL1/Z en utilisant également la pompe de transfert.

Le débit maximum est de l'ordre de 12 000 m<sup>3</sup>/h [5].



Figure I. 9 Photo montrant les réservoirs de stockage.



### I.3.3.2 Chargement du GNL :

Le chargement de GNL à bord du méthanier d'une capacité moyenne de 125 000 m<sup>3</sup>, s'effectue en 12h30 lorsque le navire est déjà froid, à raison d'un débit de chargement de 10 000 m<sup>3</sup>/h assuré par les cinq pompes de chargement.

Le produit est déversé dans le navire par l'intermédiaire de huit bras de chargement dont quatre sont en service [6].

Le chargement est le procédé de refroidissement de la canalisation de la zone de chargement qui est réalisé par la vaporisation d'une faible quantité de GNL le long des conduites. Pendant le chargement, une partie de GNL se vaporise ; ces vapeurs sont renvoyées vers la zone de stockage par des compresseurs de vapeur de retour où elles se mélangent aux vapeurs de stockage avant d'être acheminées vers le réseau de gaz combustible.

Il est possible de charger un méthanier accosté au quai de chargement de GL2/Z avec la production de GL1/Z stockée dans les bacs de GNL1/Z en utilisant les pompes de chargement. Cependant, il n'est pas possible de charger un méthanier avec le GNL provenant à la fois de GL2/Z et GL1/Z.



# Chapitre II

---

*Généralités sur la maintenance*

”  
« *Innover, ce n'est pas avoir  
une nouvelle idée mais arrêter  
d'avoir une vieille idée* »  
-*Edwin Herbert Land*-



“

## II. Généralités sur la maintenance

### II.1. Introduction

Pendant de nombreuses années, la maintenance était considérée comme un inconvénient incontournable qu'il fallait subir et ne faisait l'objet d'aucune attention particulière.

La plupart des entreprises se préoccupant de résoudre des problèmes de zéro défaut, zéro délai, zéro stock, sans pour autant penser que la négligence du zéro panne entraîner « zéro production ».

Le maintien des équipements de production est un enjeu clé pour la productivité des usines aussi bien que pour la qualité des produits. C'est un défi industriel impliquant la remise en cause des structures figées actuelles et la promotion de méthodes adaptées à la nature nouvelle des matériels.

### II.2. Notion sur la maintenance :

#### II.2.1 Définition de la maintenance :

La maintenance est définie comme étant « ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise. [7]

Maintenir, c'est donc effectuer des opérations (dépannage, graissage, visite, réparation et amélioration) qui permettent de conserver le potentiel du matériel pour assurer la continuité et la qualité de la production.

Dans la définition de la maintenance, nous trouvons deux mots-clés : maintenir et rétablir.

- **Maintenir** : contient la notion de « prévention » sur un système en fonctionnement.
- **Rétablir** : contient la notion de « correction » consécutive à une perte de fonction.

#### II.2.2 Le rôle de la maintenance :

La maintenance joue un rôle essentiel dans le secteur industriel en assurant le bon fonctionnement et l'amélioration des moteurs, usines et équipements. Ses principaux rôles sont :

- Améliorer la disponibilité des moyens de production en minimisant le nombre et la durée des pannes.
- Améliorer la sécurité des biens et des personnes en préservant la santé et la sécurité des employés.
- L'accroissement de la durée de vie des équipements.

#### II.2.3 Importance de la maintenance dans l'entreprise

L'importance de la maintenance diffère selon le secteur d'activité. La recherche constante de la meilleure disponibilité implique que tout doit être mis en œuvre pour éviter toute défaillance. [8]. La maintenance est donc inévitable et lourde dans les secteurs où la sécurité est primordiale. Inversement, les industries manufacturières à faible valeur ajoutée peuvent se contenter d'un entretien traditionnel et limité ; d'où :



- **Importance fondamentale** : nucléaire, pétrochimie, chimie, transports.
- **Importance indispensable** : entreprises à forte valeur ajoutée, de process, construction automobile.
- **Importance moyenne** : industries de constructions diversifiées, coûts d'arrêts de production limités, équipement semi automatiques.
- **Importance secondaire** : entreprises sans production de série, équipements variés.
- **Importance faible ou négligeable** : entreprise manufacturière, faible valeur ajoutée, forte masse salariale.

## II.2.4 Les objectifs de la maintenance :

### II.2.4.1 Les objectifs de coût :

- Minimiser les dépenses de maintenance.
- Assurer la maintenance dans les limites d'un budget.
- Avoir des dépenses de maintenance portant sur le service exigé par l'installation en fonction de leur âge et de leur taux d'utilisation.
- Tolérer à la discrétion du responsable de la maintenance une certaine quantité de dépense imprévue.

### II.2.4.2 Les objectifs opérationnels :

- Assurer la disponibilité maximale des outils de production à un prix raisonnable.
- Eliminer les pannes à tout moment et au meilleur coût.
- Maximiser la durée de vie de bien.
- Obtenir de l'investissement un rendement maximum.

## II.3. Les différents types de maintenance :

Dans la définition de la maintenance, nous trouvons deux mots-clés : maintenir et rétablir. Le premier fait référence à une action préventive. Le deuxième fait référence à l'aspect correctif (voir figure II.1).

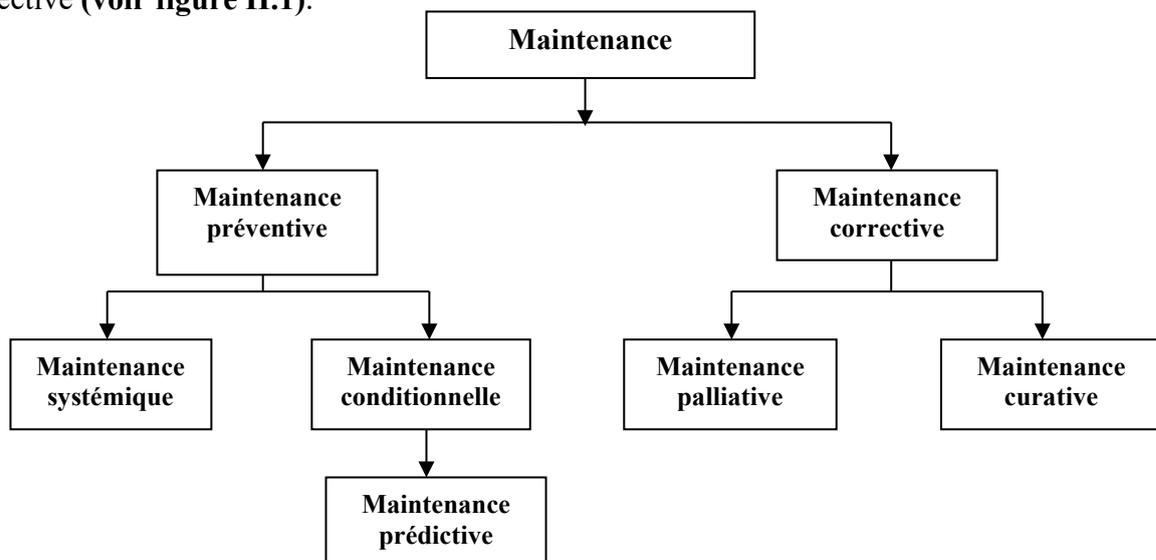


Figure II. 1 les types de maintenance.



### II.3.1 Maintenance préventive :

La maintenance préventive est définie quant à elle comme une maintenance effectuée dans l'intention de réduire la probabilité de défaillance d'un bien ou d'un service rendu. [7]

Les activités correspondantes sont déclenchées selon un échéancier établi à partir d'un nombre prédéterminé d'unités d'usage (maintenance systématique), et/ou des critères prédéterminés significatifs de l'état de dégradation du bien ou du service (maintenance conditionnelle).

#### II.3.1.1 Les Buts de la maintenance préventive :

- Augmenter la durée de vie des matériels.
- Diminuer la probabilité des défaillances en service.
- Diminuer la fréquence des arrêts de production.
- Améliorer les conditions de travail du personnel de production.
- Diminuer le budget de maintenance.
- Supprimer les causes d'accidents graves.

#### II.3.1.2 Les différents types de maintenance préventive :

##### a) Maintenance préventive systématique :

La maintenance préventive systématique est une maintenance effectuée selon un échéancier établi selon le temps ou le nombre d'unités. [7]

La périodicité des remplacements est déterminée selon deux méthodes : La première est de type bloc et la seconde, de type âge. La politique de remplacement de type âge suggère de remplacer l'équipement à la panne ou après T unités de temps de bon fonctionnement. La politique de type bloc suggère de remplacer l'équipement après une période prédéterminée de temps T, 2T, etc. indépendamment de l'âge et de l'état du composant (**voir figure II.2**).

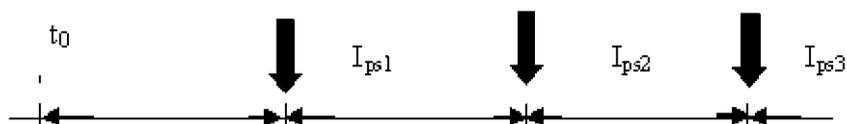


Figure II. 2 maintenance systématique.

##### b) Maintenance préventive conditionnelle :

La maintenance préventive conditionnelle est une maintenance subordonnée à un type d'événement prédéterminé. [7]

**Remarque :** la maintenance conditionnelle est donc une maintenance dépendante de l'expérience et faisant intervenir des informations recueillies en temps réel.

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

Tous les matériels sont concernés. Cette maintenance préventive conditionnelle se fait par des mesures pertinentes sur le matériel en fonctionnement. Les paramètres mesurés peuvent porter sur :

- Le niveau et la qualité de l'huile.
- Les températures et les pressions.
- La tension et l'intensité des matériels électriques.
- Les vibrations et les jeux mécaniques.

### c) La maintenance prédictive

La maintenance prédictive (ou prévisionnelle) est une maintenance préventive subordonnée à l'analyse de l'évolution surveillée de paramètres significatifs de la dégradation du bien, permettant de retarder et de planifier les interventions. [7]

### II.3.2 La maintenance corrective :

La maintenance corrective est définie comme une maintenance effectuée après défaillance. [7]

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

La maintenance corrective débouche sur deux types d'intervention :

- 1) **Le dépannage** : Remise en état de fonctionnement effectué « in situ », parfois sans interruption du fonctionnement de l'ensemble concerné. Le dépannage a un caractère provisoire. Les dépannages caractérisent la maintenance palliative. Le palliatif est caractéristique du 2<sup>ème</sup> niveau de maintenance.
- 2) **La réparation** : Faite « in situ » ou en atelier de maintenance, parfois après dépannage. Elle a un caractère définitif. La réparation caractérise la maintenance curative. Le curatif est caractéristique des 2<sup>èmes</sup> et 3<sup>èmes</sup> niveaux de maintenance.

#### II.3.2.1 Les différents types de maintenance corrective :

**a) Maintenance palliative** : La maintenance palliative sert à réparer provisoirement une panne, un peu à la manière d'un pansement, afin que le matériel puisse continuer à fonctionner relativement normalement.

Elle est d'une grande aide pour éviter de stopper l'activité en cours. Pour autant, il ne faut pas que le temporaire s'éternise, et s'assurer tout de même que la sécurité soit de mise en attendant une solution plus durable.

**b) Maintenance curative** : La maintenance curative vise à **réparer de façon définitive** les sources des pannes (contrairement à la palliative). Le matériel va donc être remplacé, tout ou partie, selon si la panne est majeure ou mineure, totale ou partielle.

Certains utilisent le terme « maintenance curative » comme synonyme de « maintenance Corrective », mais elle n'en est qu'une sous-catégorie.



#### II.4. Les indicateurs de la maintenance :

Un indicateur de maintenance est primordial pour toute entreprise équipée de biens dont le bon fonctionnement impacte l'activité et les résultats (l'industrie tout particulièrement).

On peut diviser les indicateurs de maintenance en 3 catégories :

**Tableau II. 1 les indicateurs de maintenance.**

Catégories	Les indicateurs de maintenance
<b>Les frais de fonctionnement</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La main d'œuvre.</li> <li>- La consommation des ressources (consommables, énergies, etc.).</li> <li>- L'immobilisation des actifs (outils, machines, locations).</li> </ul>
<b>Les dépenses en maintenance</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Le type de maintenance (maintenance préventive, corrective etc.).</li> <li>- La consommation des pièces de rechange.</li> <li>- Les frais de sous-traitance.</li> </ul>
<b>Les résultats des opérations de maintenance :</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La disponibilité des équipements.</li> <li>- Leur fiabilité.</li> <li>- Leur rendement.</li> <li>- Leur efficacité.</li> <li>- Le temps moyen entre les pannes.</li> <li>- L'efficacité du service maintenance.</li> </ul>

C'est à travers la comparaison des indicateurs calculés avec des valeurs de référence et l'analyse de tableaux de bord que les actions à mener pour optimiser les résultats globaux pourront être identifiées.

#### II.5. Le choix des méthodes de la maintenance :

Le choix entre les méthodes de maintenance (préventives ou correctives) s'effectue dans le cadre de la politique de la maintenance et doit s'opérer en accord avec la direction de l'entreprise. Pour choisir, il faut donc connaître :

- Les objectifs de la direction.
- Les directions politiques de maintenance.
- Le fonctionnement et les caractéristiques du matériel.
- Le comportement du matériel en exploitation.
- Les conditions d'application de chaque méthode.
- Les coûts de maintenance.

#### II.6. Les niveaux de maintenance

Le degré de développement de la maintenance est classifié en 5 niveaux. Ces niveaux sont donnés par la norme AFNOR. [9]



Tableau II. 2 Les niveaux de maintenance.

Niveaux	Détails par niveau des actions selon la norme AFNOR	Définitions simplifiées
<b>1<sup>er</sup> niveau</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Intervention de réglage simple, prévu par le constructeur.</li> <li>- Remplacement de consommables.</li> <li>- Échange d'équipements accessibles en toute sécurité.</li> <li>- Reprise légère (de peinture).</li> </ul>	Action s'effectuant sur le matériel
<b>2<sup>e</sup> niveau</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dépannage par échange standard.</li> <li>- Contrôle de bon fonctionnement.</li> <li>- Intervention mineure de maintenance préventive.</li> <li>- Concept du LRU (Lowest Replaceable Unit) : matériel à maintenir en urgence.</li> </ul>	Action s'effectuant en dehors du matériel
<b>3<sup>e</sup> niveau</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Intervention hors matériel réalisée dans l'atelier ordinaire.</li> <li>- Identification et diagnostic de pannes.</li> <li>- Réparation par échange de composants fonctionnels.</li> <li>- Réparation mécanique mineure.</li> <li>- Programmation d'éléments simples.</li> <li>- Concept du SRU (Single Replaceable Unit) : élément interchangeable d'une unité.</li> </ul>	
<b>4<sup>e</sup> niveau</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Intervention de type spécialisé.</li> <li>- Réglage d'instruments de mesure.</li> <li>- Vérification d'étalons.</li> <li>- Travaux importants de maintenance corrective ou préventive.</li> </ul>	Intervention de grande maintenance
<b>5<sup>e</sup> niveau</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Travaux importants de rénovation ou de reconstruction.</li> <li>- Retour en usine ou en atelier central de maintenance.</li> <li>- Intervention de grande maintenance.</li> <li>- Remise à neuf.</li> </ul>	

### II.7. Analyse qualitative de la défaillance :

L'analyse des défaillances peut s'effectuer : Soit de manière quantitative puis qualitative en exploitant l'historique de l'équipement et les données qualitatives du diagnostic et de l'expertise des défaillances, Soit de manière prévisionnelle en phase de conception ou a posteriori, après



retour d'expérience.

## II.8. Description de la Défaillance :

### II.8.1 Définition de la Défaillance :

Une défaillance est la cessation de l'aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise. Après défaillance d'une entité, celle-ci est en état de panne. La défaillance est un passage d'une entité d'un bien de fonctionnement normal à un état de fonctionnement anormal ou de panne. [10]

Les défaillances dans un système peuvent avoir des effets différents. Certaines défaillances n'affectent pas directement les fonctions du système et ne nécessitent qu'une action corrective ; d'autres, en revanche, affectent la disponibilité ou la sécurité.

### II.8.2 Causes de défaillance :

La norme AFNOR NF X60010, définit la cause de défaillance par « les circonstances liées à la conception, la fabrication ou l'emploi et qui ont entraîné la défaillance ».

Cette définition est fondamentale en diagnostic industriel, n'oublions jamais qu'une bonne politique de maintenance passe obligatoirement par une maîtrise parfaite des mécanismes de ruine liés à la conception, à la construction et à l'exploitation des matériels. Bien évidemment détecter une défaillance est capital pour éviter une éventuelle perte de la fonction d'un processus industriel, mais il est encore plus important de connaître et de prévenir à temps d'une manière précoce une défaillance en suivant l'évolution d'une dégradation d'un élément matériel. [11]

Il existe trois types de causes conduisant à une défaillance :

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

Tableau II. 3 types de causes conduisant à une défaillance

Causes de défaillance	Composants électriques	Composants mécaniques
<b>Causes internes. (Matériel)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Vieillessement.</li> <li>▪ Composant HS.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Contraintes mécaniques.</li> <li>▪ Fatigue mécanique.</li> <li>▪ États de surface.</li> </ul>
<b>Causes externes. (Milieu d'exploitation)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Pollution (poussières, huile. Eau).</li> <li>▪ Chocs.</li> <li>▪ Vibrations.</li> <li>▪ Échauffement local.</li> <li>Parasites, etc.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Pollution (poussières, huile, eau).</li> <li>▪ Vibrations.</li> <li>▪ Échauffement local.</li> <li>▪ Chocs.</li> </ul>



<b>Causes externes. (Main d'œuvre)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Montage.</li> <li>▪ Réglages.</li> <li>▪ Mise en œuvre.</li> <li>▪ Utilisation.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Conception.</li> <li>▪ Montage.</li> <li>▪ Réglages.</li> <li>▪ Mise en œuvre.</li> </ul>
--	---	--

### II.8.3 Les modes de défaillances :

Il est important d'introduire le concept du mode de défaillance : « un mode de défaillance est l'effet par lequel une défaillance est observée ».

Les modes de défaillance sont générés par les causes de défaillance, un mode de défaillance représentant l'effet (ou les effets) par lequel (ou lesquels) se manifeste la cause de défaillance.

Les défaillances d'un équipement ont des effets sur les fonctions de celui-ci, le mode de défaillance sera dénommé du nom de l'effet.

Un mode de défaillance peut intervenir de quatre manières différentes :

- **Plus de fonction** : la fonction cesse de se réaliser.
  - **Pas de fonction** : la fonction ne se réalise pas lorsqu'on la sollicite.
  - **Fonction dégradée** : la fonction ne se réalise pas parfaitement : altération des performances.
  - **Fonction intempestive** : la fonction se réalise alors qu'elle n'est pas sollicitée.
- Chaque équipement ou système peut posséder plusieurs modes de défaillance.

### II.8.4 Classification des défaillances

#### II.8.4.1 Classification de la défaillance en fonction de la vitesse d'apparition

- **Défaillance soudaine** : qui n'aurait pas pu être prévue par un examen ou une surveillance antérieure.
- **Défaillance progressive** : qui aurait pu être prévue par un examen ou une surveillance.

#### II.8.4.2 Classification de la défaillance en fonction du degré

- **Défaillance partielle** : défaillance résultant de déviations d'une ou des caractéristiques au-delà des limites spécifiées mais telle qu'elle pas une disparition complète de la fonction requise.
- **Défaillance complète** : défaillance résultant de déviations d'une ou des caractéristiques au-delà des limites spécifiées telles qu'elle entraîné par une disparition complète de la fonction requise.

### II.8.5 Classification de la défaillance par rapport aux conséquences :

Tableau II. 5 Classification de la défaillance par rapport aux conséquences.

<b>Défaillance mineure</b>	Défaillance qui nuit au bon fonctionnement d'un système en causant un dommage négligeable au système ou à son environnement sans présenter de risque pour l'homme
----------------------------	---

<b>Défaillance significative</b>	Défaillance qui nuit au bon fonctionnement sans causer de dommage notable ni présenter de risque important pour l'homme
<b>Défaillance critique</b>	Défaillance qui entraîne la perte d'une (ou des) fonction(s) essentielle(s) du système et cause des dommages importants au système en ne présentant qu'un risque négligeable de mort ou de blessure
<b>Défaillance catastrophique</b>	Défaillance qui occasionne la perte d'une (ou des) fonction(s) essentielle(s) du système en causant des dommages importants au système ou à son environnement et/ou entraîne la mort ou des dommages corporels

Les défaillances catastrophiques correspondent aux défaillances soudaines et complètes, alors que les défaillances dégradées correspondent aux défaillances partielles et progressives.

### II.8.6 Analyse des défaillances :

Le diagnostic est construit comme une enquête policière : le maintenancier part des informations et symptômes, et à partir de son expérience, il formule des hypothèses affectées d'un niveau de probabilité plus ou moins important, teste ces hypothèses afin de se construire une certitude. Il dispose pour cela d'outils de diagnostic. Les plus utilisés sont :

- Le diagramme de PARETO
- L'arbre des causes,
- Le diagramme Causes – Effets,
- L'organigramme de diagnostic et/ou la fiche de diagnostic.

## II.9. Méthodes d'analyse prévisionnelle 20/80 (Pareto) :

### II.9.1 Définition :

Le principe de Pareto est également connu sous le nom d'effet de Pareto ou loi des 80-20. Il doit son nom à l'inventeur italien **Vilfredo Pareto**. Au début du XXème siècle, Pareto, qui a également travaillé comme ingénieur, sociologue et économiste.

La loi de Pareto affirme que 80 % des conséquences découlent d'environ 20 % des causes. En d'autres termes, un petit pourcentage de causes génère un très grand effet. C'est un concept essentiel qui peut vous aider à identifier les initiatives prioritaires, c'est-à-dire celles les plus utiles à l'entreprise. [15]

### II.9.2 Diagramme de Pareto (Principe 20/80) :

Utilisée lors de la phase d'analyse des événements indésirables signalés, cette méthode permet de hiérarchiser et de visualiser l'importance relative de différents événements pour les classer par ordre décroissant de fréquences et ainsi déterminer les priorités.

La loi de Pareto affirme que 80 % des conséquences découlent d'environ 20 % des causes.



En d'autres termes, un petit pourcentage de causes génère un très grand effet. C'est un concept essentiel qui peut vous aider à identifier les initiatives prioritaires, c'est-à-dire celles les plus utiles à l'entreprise.

La loi de Pareto peut vous servir à prendre les bonnes décisions pendant le processus de résolution des problèmes. Face à de nombreuses causes pour un même problème, la loi de Pareto peut vous aider à hiérarchiser les solutions. Voici la démarche en quelques étapes :

- **Les 5 étapes pour établir un diagramme de Pareto :**

1. Recensez les données et les valeurs observées.
2. Classement des valeurs en ordre décroissant.
3. Ajout du cumul.
4. Ajouter du pourcentage.
5. Tracer du graphique

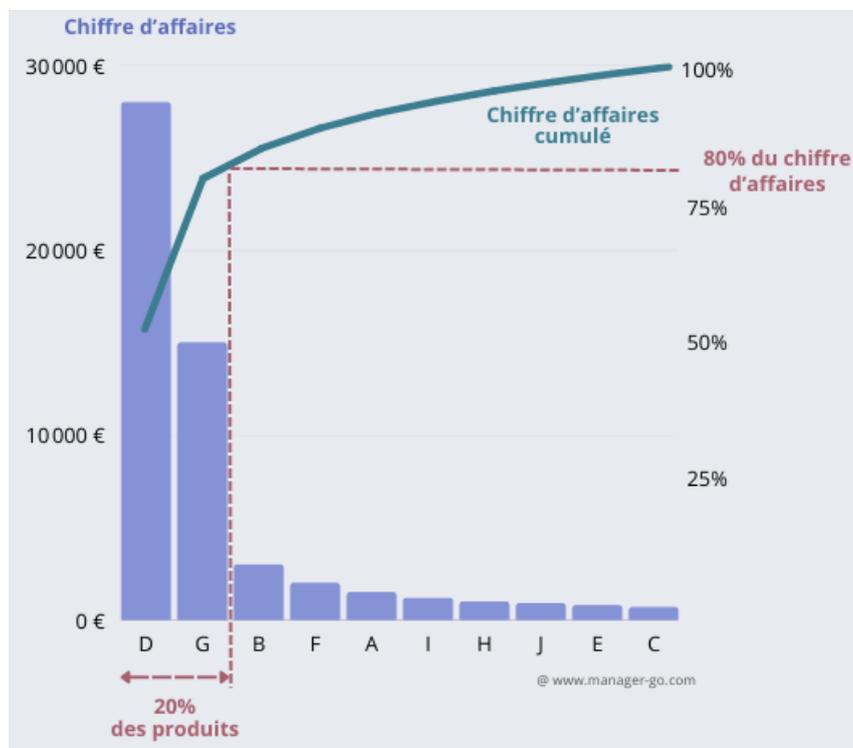


Figure II. 3 diagramme de Pareto.

- **Zone "A"**

Cette zone représente généralement les éléments qui contribuent à environ 80% des résultats.

- **Zone "B"**

Cette zone comprend les éléments qui représentent les 20% restants des résultats.

# Chapitre III

---

*L'analyse de la fiabilité des systèmes*

”  
*A la source de toute  
connaissance, il y a une idée,  
une pensée, puis l'expérience  
vient confirmer l'idée »*

*-Claude Bernard-*



“

### III. L'analyse de la fiabilité des systèmes

#### III.1. Introduction :

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. La maintenabilité par analogie à la fiabilité exprime un intérêt considérable au maintien des équipements en état de service et par conséquent assuré leur disponibilité.

#### III.2. Approche systémique de la modélisation de fiabilité des systèmes :

Un système est constitué d'un ensemble d'éléments en interaction dont chacun concourt à l'objectif commun ou finalité du système. Adopter une approche systémique, c'est adopter une démarche pour étudier ce système qui s'efforce, au lieu de saisir séparément les différentes parties, d'appréhender de façon globale l'ensemble des composants du système en s'intéressant tout particulièrement à leurs liaisons et à leurs interactions. C'est aussi chercher à comprendre comment chaque élément contribue à la finalité du système tout en préservant sa propre identité.

Dans une étude FMD (Fiabilité, Maintenabilité et disponibilité), l'avantage de l'approche systématique est la décomposition d'un système global complexe dont la modélisation serait aussi complexe, en sous-systèmes plus simples. Chaque sous-système étant lui-même susceptible d'être décomposé à son tour en sous-systèmes de niveau inférieur et cette décomposition dépendra du degré de précision à atteindre. L'élément ne peut être décomposé car il est considéré comme la base du sous-système. À partir des modèles obtenus au niveau de ces derniers il est possible de reconstituer le modèle global du système étudié. [12]

#### III.3. Objectifs et intérêts de la fiabilité en mécanique :

L'analyse de la fiabilité constitue une phase indispensable dans toute étude de sûreté de fonctionnement (FMD), à 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...etc. 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 (usure, fatigue, vieillissement, altérations physico-chimique diverses). [13]

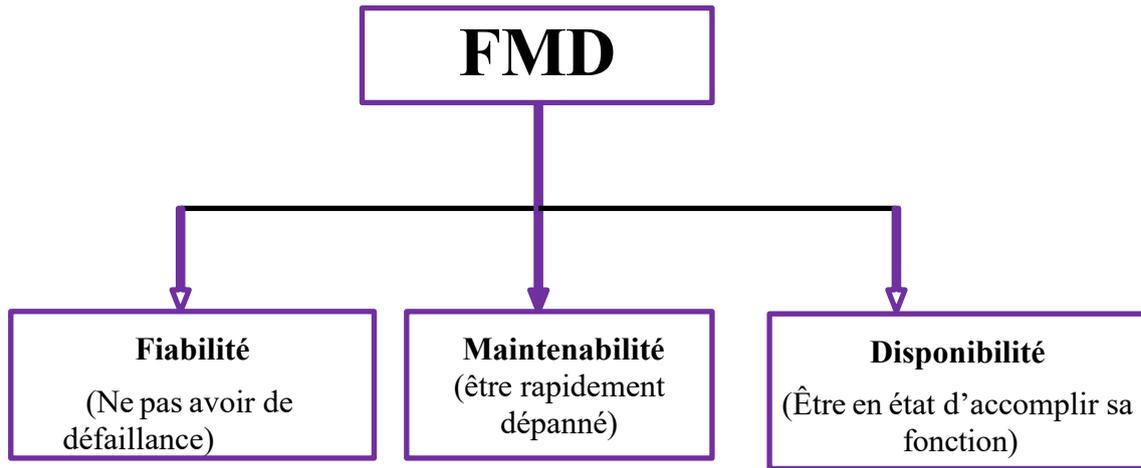


Figure III. 1 Sureté de fonctionnement FMD.

On peut définir trois grandeurs :

1. La fiabilité « Reliability » qui mesure la continuité de service.
2. La maintenabilité « Maintainability » qui est l'aptitude aux réparations et aux évolutions.
3. La disponibilité « Availability » qui est le fait d'être prêt à l'utilisation.

**III.4. Fiabilité :**

Le terme « fiabilité » est un néologisme introduit dans les années 60 pour traduire le terme anglo-saxon « Reliability » et si l'on accepte de la considérer comme une science, elle peut être définie comme "la science des défaillances".

**III.4.1 Définition :**

La fiabilité est la caractéristique d'un système exprimée par la probabilité qu'il accomplisse la fonction pour laquelle il a été conçu, dans des conditions données et pendant une durée donnée. [7]

D'une manière générale, on mesure la durée de vie d'un système par le nombre d'heures durant lesquelles il a effectivement fonctionné.

La notion de fiabilité s'applique :

- **A des systèmes réparables** (Pratiquement, on utilise la disponibilité comme grandeur caractéristique de fiabilité) tels que les équipements industriels ou domestiques.

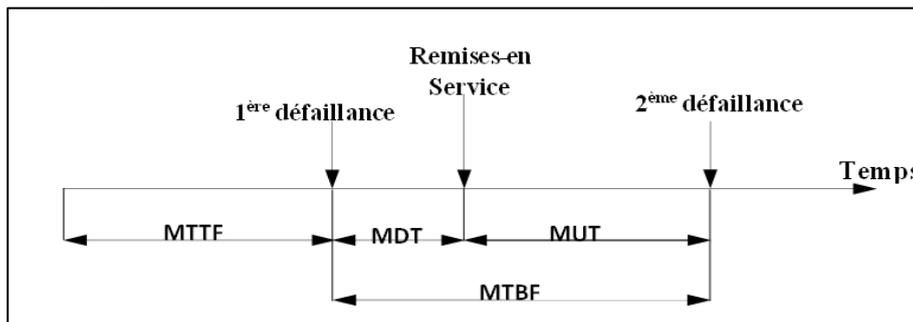


Figure III. 2 Chronogramme Pour les matérielles réparables.

**Remarque :** Si  $MTTR \ll MTBF$  alors  $MUT = MTBF$ .

- **A des systèmes non réparables** (Pratiquement, dans ces systèmes la fiabilité s'exprime comme la probabilité que l'unité considérée remplisse sa fonction pendant une durée fixée ou ne tombe pas en panne pendant ce temps) tels que lampes, composants donc jetables.

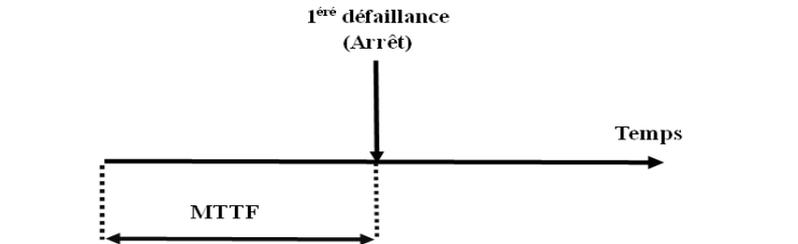


Figure III. 3 Chronogramme pour les matériels non réparables.

### III.4.2 Types de la fiabilité :

La fiabilité d'un système est liée à ses caractéristiques intrinsèques, au mode d'utilisation et à son environnement. De cet aspect global, il est possible de définir trois types de fiabilité :

- **La fiabilité opérationnelle** : (observée ou estimée) déduite de l'analyse d'entités identiques dans les mêmes conditions opérationnelles réelles. En d'autres termes, il s'agit d'un traitement statistique d'un retour d'expérience, cette fiabilité est définie par :

$$R(t) = \frac{\text{nombre moyen d'entités non défaillantes à l'instant } t}{\text{nombre totale d'entités } [0, t]} \quad (\text{III. 1})$$

- **La fiabilité prévisionnelle** : (prédite) correspondant à la fiabilité future d'un système et à partir de considérations sur la conception du système et la fiabilité opérationnelle (supposée connue) de ses composants.
- **La fiabilité extrapolée** : déduite de la fiabilité opérationnelle par extrapolation ou interpolation pour des conditions ou des durées différentes.

La fiabilité d'un équipement dépend de nombreux facteurs :

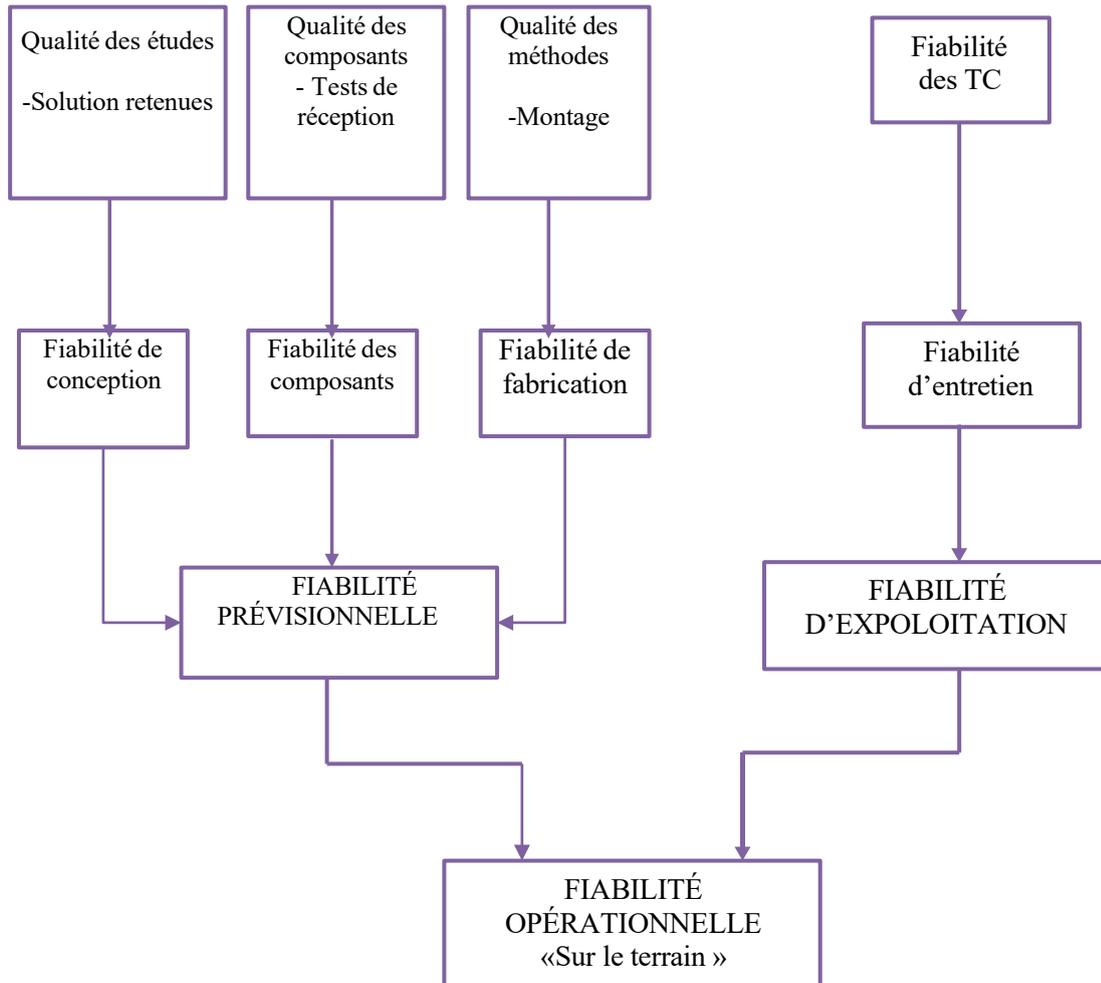


Figure III. 4 Les facteurs de la fiabilité d'un équipement.

### III.4.3 Notions de variable aléatoire, densité de probabilité et fonction de répartition :

#### III.4.3.1 Variable aléatoire :

On appelle variable  $X$ , une variable aléatoire telle qu'à chacune des valeurs de  $X$  on peut associer une probabilité  $F(x)$ . Une variable aléatoire peut être continue ou discrète  
 Variable continue : Peut prendre n'importe quelle valeur réelle (ensemble des nombres réels) appartenant à un intervalle donné.

Variable discrète (Discontinue) : Peut prendre n'importe quelle valeur entière (ensemble des nombres naturels).

#### III.4.3.2 Densité de probabilité $f(t)$ :

Soit une loi de probabilité relative à une variable aléatoire continue  $t$ . Elle est caractérisée par la fonction de densité  $f(t)$  (densité de probabilité). Cette fonction peut être obtenue à partir de données de durées de vie du système observées depuis le début de son exploitation. [14]

La fonction de densité  $f(t)$  a les propriétés suivantes :

- $f(t) > 0$
- $\int_0^{\infty} f(t) \cdot dt = 1$
- $f(t) \cdot dt$  exprime la probabilité que le système tombe en panne entre  $t$  et  $t + dt$ :
- $f(t) \cdot dt = \text{Prob} \{t < \text{durée de vie} < t+dt\}$

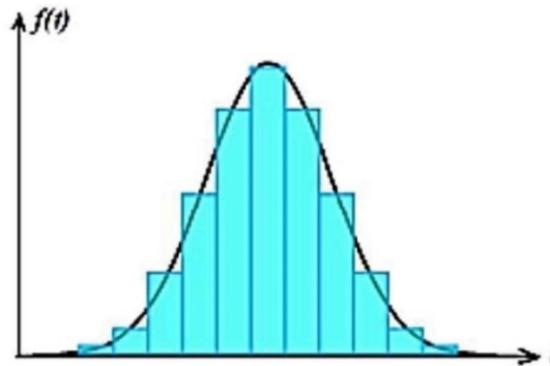


Figure III. 5 Densité de probabilité.

### III.4.3.3 Fonction de répartition (de défaillance) F(t) :

Soit F(t) la fonction de distribution (répartition) associée à la variable aléatoire t :

$$F(t) = \int_0^{\infty} f(t) \cdot dt \tag{III. 2}$$

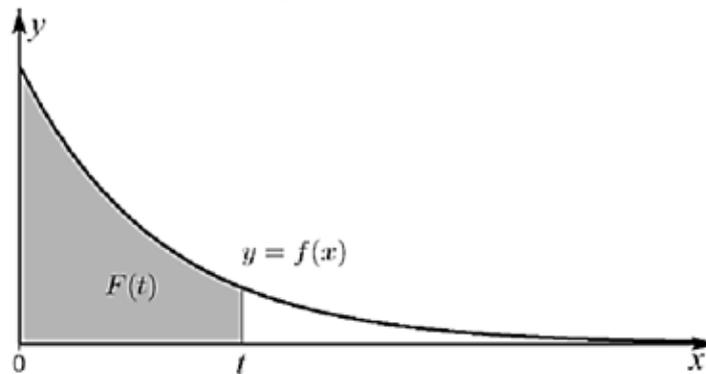


Figure III. 6 Fonction de défaillance.

$F(t)$  représente la probabilité qu'un dispositif choisi au hasard ait une défaillance avant l'instant t :  $F(t) = \text{Prob} \{0 < \text{durée de vie} < t\}$

Propriétés de la Fonction de répartition :

- $F(t) \in [0, 1]$  pour tout  $t \in \mathbb{R}$
- F est une fonction croissante
- $\lim_{t \rightarrow -\infty} F(t) = 0$  et  $\lim_{t \rightarrow +\infty} F(t) = 1$
- Pour tout  $a < b$  dans  $\mathbb{R}$  :  $F(b) - F(a) = \text{Prob} [a < t < b] = \int_a^b f(t) \cdot dt$

La probabilité  $P(a \leq X \leq b)$  correspond à l'aire du domaine situé sous le graphe de  $f$  entre les abscisses  $a$  et  $b$ .

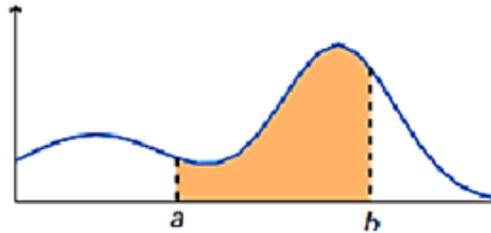


Figure III. 7 Probabilité  $P(a < X < b)$ .

### III.4.3.4 Fonction de fiabilité

Soit  $R(t)$  la fonction de fiabilité du système

$R(t)$  exprime la probabilité que le système survive jusqu'à l'instant  $t$ .

- $R(t) = \text{Prob} \{ \text{durée de vie} \geq t \}$
- $R(t) = \int_t^{\infty} f(x). dx = 1 - F(t)$

La fonction de défaillance 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 III. 9) montre les deux fonctions associées (défaillance et fiabilité). [13]

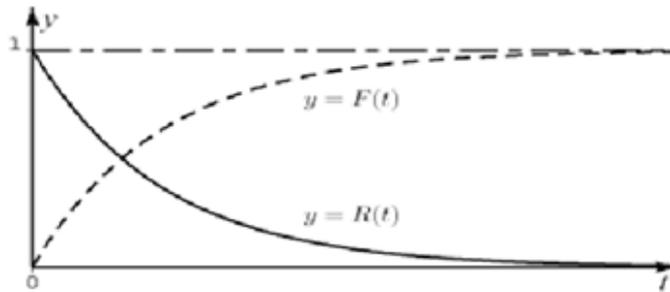


Figure III. 8 les deux fonctions associées (défaillance et fiabilité).

### III.4.4 Les Loi de probabilité utilisées dans la fiabilité :

Les principales lois de probabilité utilisées pour calculer la fiabilité sont :

#### III.4.4.1 Lois Discrètes :

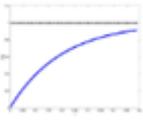
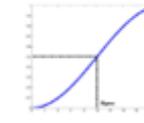
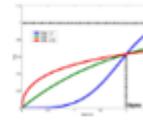
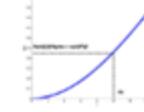
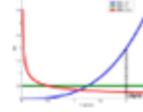
- Loi binomiale.
- Loi de poisson.
- Loi hypergéométrique.

#### III.4.4.2 Lois continues :

- Loi exponentielle.
- Loi normale.
- Loi de Weibull.

On résume dans le tableau suivants les attributs de sureté de fonctionnement pour les lois usuelles

Tableau III. 1 les attributs de sureté de fonctionnement pour les lois usuelles.

loi aléatoire	application fiabilité	loi exponentielle	loi normale	loi de Weibull
fonction répartition	$\bar{R}(t)$	$1 - exp^{-\lambda t}$	$\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t e^{-1/2((\frac{t-m}{\sigma})^2)}$	$1 - e^{-(\frac{t-\gamma}{\sigma})^\beta}$
taux défaillance		$\lambda$	$U(t)/R(t)$	$\frac{\beta(t-\gamma)^{\beta-1}}{\sigma^\beta}$
$F(t) = \bar{R}(t)$				
$\lambda(t)$				

**III.4.5 Les indices de fiabilité :**

La performance des opérations de maintenance des équipements joue un grand rôle dans la rentabilité d'une entreprise. Pour mesurer cette performance, plusieurs indicateurs sont disponibles.

**III.4.5.1 MTBF (Mean Time Between Failures):**

Il signifie « Mean Time Before Failure », Temps moyen entre pannes. Généralement exprimé en nombre d'heures, le MTBF calcule le ratio Temps de fonctionnement brut et nombre de pannes, en somme, **la moyenne des temps de bon fonctionnement entre deux défaillances.**

C'est un bon indicateur pour déterminer si un équipement est fiable. Il est donc déterminant dans le choix de remplacement d'un système s'il est jugé trop court et entraîne des arrêts à répétition causant des pertes de performance de productivité et un surcoût pour l'entreprise.

Ou par l'historique d'Equipment

$$MTBF = \int_0^\infty R(t) . dt$$

$$MTBF = \frac{\sum \text{Temps de bon fonctionnement}}{\text{Nombre de Temps de bon fonctionnement}} \tag{III. 4}$$

**III.4.5.2 Taux de défaillance  $\lambda(t)$  :**

Il calcule la fiabilité des équipements et de chacun de leurs composants. Il est symbolisé par la lettre grecque  $\lambda$  (lambda). Lorsque le risque de défaillance augmente avec le temps, cela indique un phénomène d'usure. Lorsque le risque de défaillance diminue avec le temps, on parle de « mortalité infantile » : les systèmes ayant des « défauts de jeunesse » ont des défaillances précoces, les systèmes qui « survivent » sont intrinsèquement robustes.

Cela peut aussi décrire une situation de rodage. Lorsque le taux de défaillance est constant, cela signifie que le risque de panne est totalement aléatoire. C'est souvent le cas des systèmes électroniques. [12]

Sa formule donne par la relation suivante :

$$\lambda(t) = \frac{F(t)}{R(t)} = \frac{F(t)}{1 - F(t)} \quad (\text{III. 5})$$

#### III.4.5.3 MTTF :

Il signifie « Mean Time To Failure », temps moyen de fonctionnement avant panne. Il désigne la durée moyenne d'utilisation d'un système avant sa première panne.

Il peut s'exprimer en temps, mais également être un nombre de tours pour une machine tournante, en nombre de cycles pour une machine ayant un fonctionnement cyclique, en nombre de kilomètres parcourus pour un véhicule, etc.

#### III.4.5.4 MTTR :

Il signifie « Mean Time To Repair », le Temps Moyen de Réparation. Il permet de **mettre en évidence les temps de réparation sur un équipement pendant une période donnée.**

S'il s'avère trop long, il peut mettre en évidence la nécessité de trouver d'autres solutions pour rendre les opérations de maintenance plus simples et plus rapides.

Sa formule donne par la relation suivante

$$\text{MTtr} = \frac{\sum \text{Temps de bon Réparation}}{\text{Nombre de Réparation}} \quad (\text{III. 6})$$

#### III.4.6 Les différentes phases du cycle de vie d'un produit

- Liée au problème de défaillances, la vie des équipements se présente en trois phases :
- Phase de jeunesse :  $\lambda(t)$  décroît rapidement c'est la période de mise en service et de rodage de l'installation. Les défaillances sont dues à des anomalies ou imperfections de montage.
- Phase de maturité :  $\lambda(t)$  est pratiquement constant est la période de vie utile ou la défaillance est aléatoire. Le taux de défaillance est constant ou légèrement croissant, correspondant au rendement optimale l'équipement.
- Phase de vieillesse :  $\lambda(t)$  croit rapidement. C'est la période d'obsolescence, à dégradation accélérée.

Souvent, on trouve une usure mécanique de la fatigue, une érosion ou une corrosion. A un certain point de  $\lambda(t)$ , le matériel est mort.

Le graphe représentant la variation du taux de défaillance, appelé « courbe en baignoire », possède trois allures différentes selon le matériel mécanique, matériel électrique ou matériel électronique (**Figure III. 10**) . [8]

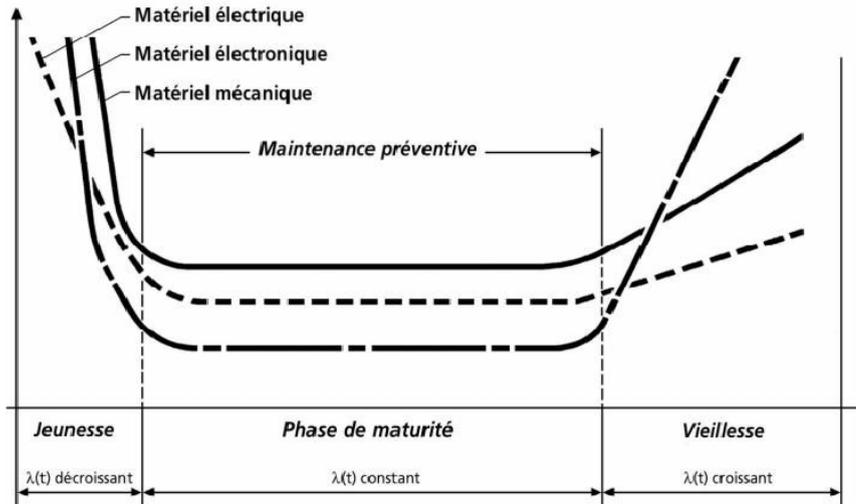


Figure III. 9 Evolution du taux de défaillance en courbe (baignoire).

**III.4.7 Calcul de fiabilité :**

Lorsque les équipements sont composés de plusieurs équipements formant ainsi un système, il faut ajuster le calcul de la fiabilité au système.

De façon générale, les systèmes sont en série ou en parallèle.

**III.4.7.1 Système en série :**

Un système constitué de n éléments est dit en série si la défaillance d'un élément entraîne celle du système et si les défaillances sont indépendantes.

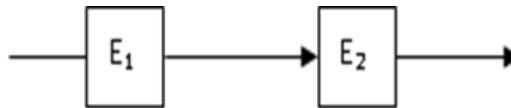


Figure III. 10 Diagramme en série.

- La fiabilité résultante est donnée par :

$$R(t) = \prod_{i=1}^n Ri(t) \tag{III. 7}$$

**III.4.7.2 Système en parallèle :**

Un système est dit en parallèle s'il suffit qu'un seul des éléments fonctionne pour que le système fonctionne.

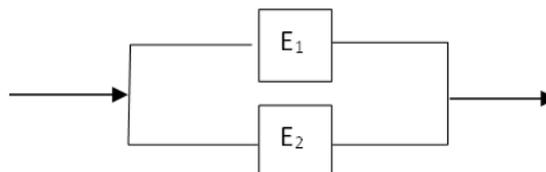


Figure III. 11 Diagramme en parallèle.

- La fiabilité résultante est donnée par :

$$R(t) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - Ri(t)) \tag{III. 8}$$

**Remarque :** Le nombre de composants en parallèle étant plus élevé, la fiabilité s'améliore. Cette propriété est généralement utilisée pour améliorer la sécurité de fonctionnement d'un système.

**III.4.7.3 Systèmes mixtes :**

Les systèmes mixtes sont obtenus en combinant les systèmes en série et les systèmes en parallèle

- **Systèmes série-parallèle :** Il résulte de la mise en parallèle de sous-systèmes en série. Le système série-parallèle est donnée dans la (Figure II.12).

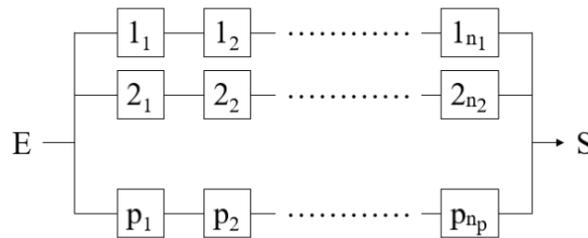


Figure III. 12 Diagramme de fiabilité pour un système série-parallèle.

- **La fiabilité résultante est donnée par :** Si on note  $r_{ij}(t)$  la fiabilité du  $j^{\text{ème}}$  composant de la  $i^{\text{ème}}$  branche, les résultats précédents montrent que la fiabilité est :

$$R(t) = 1 - \prod_{i=1}^P \left[ 1 - \prod_{j=1}^{n_i} r_{ij}(t) \right] \tag{III. 9}$$

- **Systèmes parallèle-série :** Il résulte de la mise en série de sous-systèmes en parallèle. Le un système parallèle-série est donnée, dans ce cas, par la (Figure III.13).

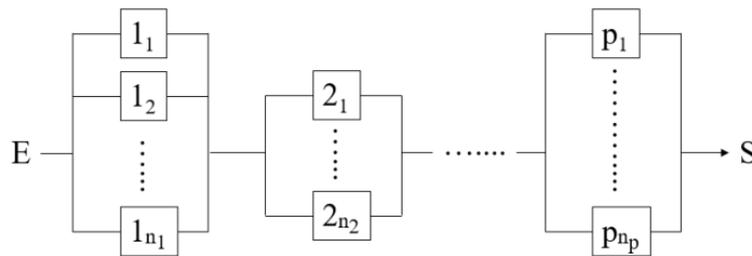


Figure III. 13 Diagramme de fiabilité pour un système parallèle-série.

- **La fiabilité résultante est donnée par :** Avec les mêmes notations que précédemment, on obtient que la fiabilité soit :

$$R(t) = \prod_{i=1}^P \left[ 1 - \prod_{j=1}^{n_i} (1 - r_{ij}(t)) \right] \tag{III. 10}$$

### III.5. La Loi de Weibull :

#### III.5.1 Définition :

La loi de weibull est utilisée en fiabilité, en particulier dans le domaine de la mécanique Cette loi a l'avantage d'être très souple et de pouvoir s'ajuster à différents résultats d'expérimentations. [16]

La loi de Wei bull est une loi continue à trois paramètres :

- **Le paramètre de position  $\gamma$**  : qui représente le décalage pouvant exister entre le début de l'observation (date à laquelle on commence à observer un échantillon) et le début du processus que l'on observe (date à laquelle s'est manifesté pour la première fois le processus observé).
- **Le paramètre d'échelle  $\eta$**  : qui est comme son nom l'indique, nous renseigne sur l'étendue de la distribution.
- **Le paramètre de forme  $\beta$**  : qui est associé à la cinétique du processus observé.

Les éléments nécessaires à l'application du modèle de **Weibull** sont TBF durée de temps de bon fonctionnement entre deux intervalles consécutifs et le nombre de pannes correspondant au TBF. A chaque instant  $t$ , nous pouvons déterminer analytiquement ou graphiquement les fonctions liées au comportement du matériel à savoir :

#### A. . La densité de probabilité des défaillances :

$$\begin{aligned} \text{Pour } t \geq \gamma & \quad f(t) = \frac{\beta}{\eta} (t - \gamma | \eta)^{\beta-1} \exp[-(t - \gamma | \eta)^\beta] & \text{(III. 11)} \\ \text{Pour } t < \gamma & \quad f(t) = 0 \end{aligned}$$

#### B. Fonction de répartition :

$$\begin{aligned} \text{Pour } t \geq \gamma & \quad F(t) = 1 - \exp[-(t - \gamma | \eta)^\beta] & \text{(III. 12)} \\ \text{Pour } t < \gamma & \quad F(t) = 0 \end{aligned}$$

#### C. Fiabilité :

$$\begin{aligned} \text{Pour } t \geq \gamma & \quad R(t) = \exp[-(t - \gamma | \eta)^\beta] & \text{(III. 13)} \\ \text{Pour } t < \gamma & \quad R(t) = 0 \end{aligned}$$

#### D. Taux de défaillance :

$$\begin{aligned} \text{Pour } t \geq \gamma & \quad \lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left( \frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} & \text{(III. 14)} \\ \text{Pour } t < \gamma & \quad \lambda(t) = 0 \end{aligned}$$

### III.5.2 Signification des paramètres du modèle de WEIBULL :

#### III.5.2.1 Paramètre de forme $\beta$ : $>0$ sans dimension

ce paramètre donne des indicateurs sur le mode des défaillances et sur l'évolution du taux

de défaillances dans le temps.

- Si  $\beta < 1$ , le taux de défaillance est décroissant, caractéristique de la zone de Jeunesse.
- Si  $\beta = 1$ , le taux de défaillance est constant, caractéristique de la zone de maturité
- Si  $\beta > 1$ , le taux de défaillance est croissant, caractéristique de la zone de vieillesse
- $1,5 < \beta < 2,5$  : fatigue
- $3 < \beta < 4$  : usure, corrosion

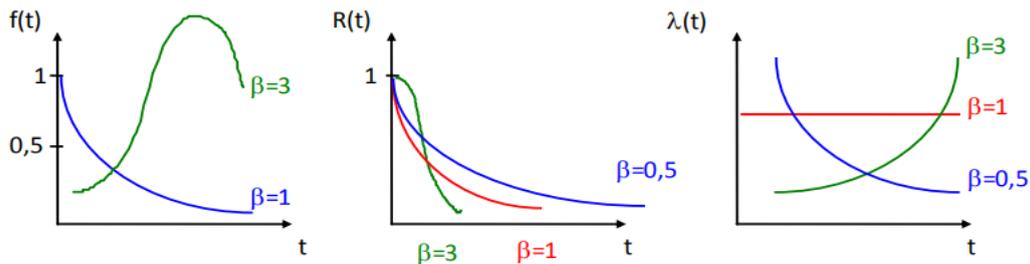


Figure III. 14 Influence de  $\beta$  sur la densité de probabilité, la fiabilité et le taux de défaillance

**Remarque :** pour  $\gamma=0$  et  $\beta=1$ , on retrouve la distribution exponentielle, cas particulier de la loi de Weibull :  $\lambda = \frac{1}{\eta} = \frac{1}{MTBF}$

### III.5.2.2 Paramètre d'échelle $\eta$ : $> 0$ qui s'exprime dans l'unité de temps

Il dirige l'échelle ou encore la dispersion de la distribution. **Si  $\eta$  est grand**, alors la distribution est très étalée, **Si  $\eta$  est petit**, la distribution est concentrée.

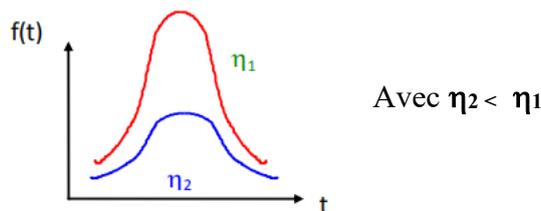
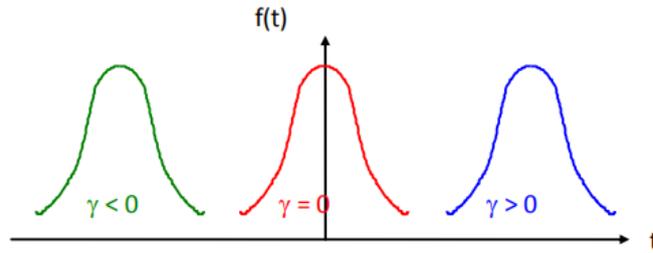


Figure III. 15 Influence de  $\eta$  sur la densité de probabilité.

### III.5.2.3 Paramètre de position $\gamma$ : $-\infty < \gamma < +\infty$ , qui s'exprime dans l'unité de variable

Donne des indicateurs sur le retard de La densité de probabilité des défaillances  $f(t)$

- **Si  $\gamma > 0$** , une probabilité de défaillance dans les premières utilisations du système est nulle.
- **Si  $\gamma = 0$** , une probabilité de défaillance sera présente dès la mise en service du système.
- **Si  $\gamma < 0$** , ceci explique qu'une probabilité de défaillance est déjà présente au moment de l'installation du système.

Figure III. 16 Influence de  $\gamma$  sur la densité de probabilité.

### III.5.3 Description du Papier fonctionnel de weibull :

Ce papier de Weibull sert à lire graphiquement les paramètres d'une loi de Weibull dans le cas où le paramètre  $\gamma$  est nul. (Voir Figure III.17)

En effet la fonction de répartition associée à une loi de Weibull de paramètres  $\beta$ ,  $\gamma=0$ ,  $\eta$  est définie par :

On suppose que  $\gamma=0$

$$\begin{aligned} R(t) &= 1 - F(t) \\ R(t) &= \exp[-(t|\eta)^\beta] \\ 1 - F(t) &= \exp[-(t|\eta)^\beta] \\ -LN(1 - F(t)) &= (t|\eta)^\beta \\ Ln[-LN(1 - F(t))] &= \beta Ln((t|\eta)) \\ Ln[-LN(1 - F(t))] &= \beta Ln(t) - \beta Ln(\eta) \\ Y &= \beta x - \beta \ln(\eta) \end{aligned}$$

La dernière équation obtenue est l'équation d'une droite dans le repère rouge (O ; X ; Y) où O est le point correspondant à  $X = 0$  et  $Y = 0$  soit à  $t = 1$  et  $F(t) = 1 - 1/e$ . Le paramètre  $\eta$  se lit directement à l'intersection de la droite précédente avec l'axe des abscisses puisque celui-ci est gradué en échelle logarithmique.

Le paramètre  $\beta$  est le coefficient directeur de la droite précédente, il suffit de tracer une droite parallèle à la précédente et de lire directement le coefficient directeur de cette droite sur l'axe d'équation  $X = -1$

### III.5.4 Echelles utilisées sur le papier de Weibull :

- **Abscisse haute** : échelle naturelle en X.
- **Abscisse intermédiaire** : échelle logarithmique (lecture du paramètre  $\eta$ ).
- **Abscisse basse** : échelle logarithmique (on fait correspondre à chaque valeur de t son logarithme népérien  $\ln t$ ).
- **Ordonnée gauche** : on place les valeurs de  $F(t)$  en pourcentage en échelle  $\ln(-\ln(1 - F(t)))$ .
- **Ordonnée sur l'axe X = -1** (lecture du paramètre  $\beta$ ) : ce sont les valeurs  $\ln(-\ln(1 - F(t)))$  (Voir Figure II.8).

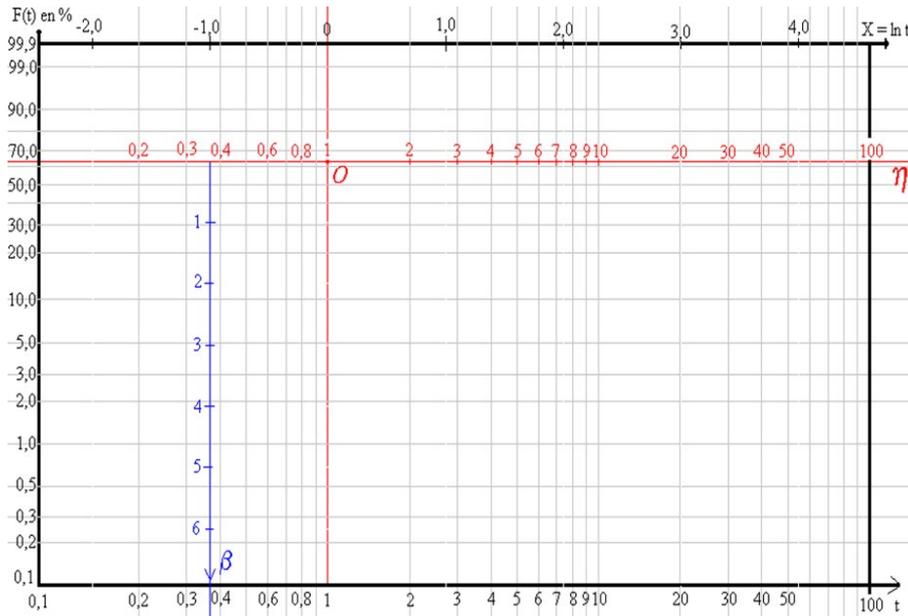


Figure III. 17 Papier de Weibull.

**III.5.5 Description de la méthode et exploitation de la loi de Weibull :**

- 1) Rassembler tous les instants de défaillance des N éléments suivis.
- 2) Hiérarchiser ces défaillances selon la durée de vie par ordre croissant.
- 3) Donner à chaque durée de vie un ordre i de 1 à N.
- 4) Pour les valeurs inférieures on considère chaque valeur séparément et supérieures à 50 On considère des classes.
- 5) Calculer la fréquence relative et relative cumulée.

$$\begin{aligned}
 \text{Si } N > 50 & \quad F(i) = \frac{i}{N} \\
 \text{Si } 20 < N < 50 & \quad F(i) = \frac{i}{N+1} \\
 \text{Si } N < 20 & \quad F(i) = \frac{i-0.3}{N+0.4}
 \end{aligned}
 \tag{III. 15}$$

- 6) Porter les valeurs des données (t) et les valeurs F(i) associées sur le diagramme d'Allan Plat pour déterminer les paramètres de la loi de Weibull.

**III.5.6 Trois cas peuvent se présenter**

**III.5.6.1 Les points s'alignent :** Dans ces conditions,  $\gamma = 0$

$\eta$  paramètre d'échelle est déterminé par l'intersection de la droite D et l'axe des  $\eta$   
 A partir du point  $\eta = 1$ , on trace une droite parallèle à D.  
 L'intersection de cette parallèle avec l'axe des  $\beta$  nous permet de déterminer cette Dernière valeur.

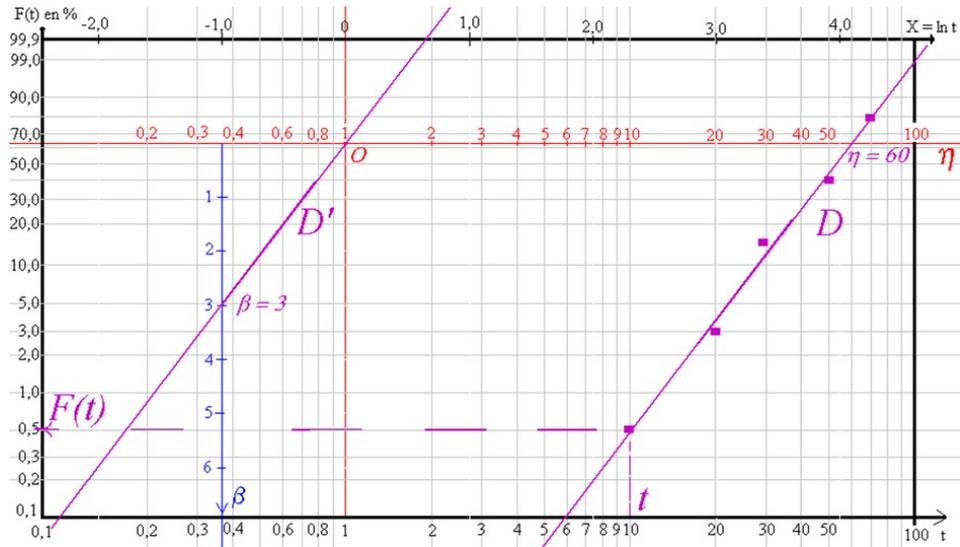


Figure III. 18 Courbe en papier de weibull.

**III.5.6.2 Les points sont représentés par une courbe : Dans ces conditions,  $\gamma \neq 0$**

On transforme cette courbe en droite par translation du paramètre  $\gamma$ . Pour cela on peut prendre trois points arbitraires  $M_1 M_2 M_3$  vérifiant  $M_1M_2 = M_2M_3$  sur l'axe des  $y$  dont on assure la translation sur l'axe des  $\eta$  à travers la courbe.

$$\gamma = \frac{t_2^2 - t_1 \times t_3}{t_2^2 - t_1 - t_3} \tag{III. 16}$$

La droite étant tracée, la procédure est la même que précédemment

**III.5.7 Les points ne peuvent être représentés ni par une courbe ni par une droite.**

La loi de Weibull dans ce cas ne peut être utilisée.

Après avoir déterminé les paramètres, on peut estimer le **MTBF = A.  $\eta$  +  $\gamma$**

A est donné par des tableaux (**Annex 01**)

Avant l'application du modèle de weibull pour analyser la fiabilité, il faut tester d'abord ce modèle, pour avoir est ce que le modèle de weibull est acceptable ou refuser, ce test réalise par le test de **Kolmogorov Smirnov**.

**III.6. Les tests d'adéquations**

**III.6.1 Test de Kolmogorov Smirnov :**

Le modèle qu'on peut établir en fiabilité est issu d'un échantillon de population, puis on fait l'hypothèse soit une loi particulière.

Ainsi, il reste à vérifier la validité de cette loi, la vérification est obtenue par un test

Aucune restriction n'est nécessaire, quel que soit la taille ( $n$ ) on peut l'appliquer

Ce test consiste à calculer l'écart entre la fonction théorique  $F(t_i)$  et la fonction réelle  $F(t)$  et prendre le maximum en valeur absolue. [17]

Cette valeur est comparée avec  **$D_{n,\alpha}$**  Qui est donnée par la table de Kolmogorov Smirnov

Si  **$D_n \cdot \text{Max} > D_{n,\alpha}$**  On refuse 1 hypothèse.

Il consiste à mesurer l'écart point par point entre ces deux fonctions :

$$Dn, \max = Fe(t) - F(ti) \tag{III. 17}$$

**F(ti)** : la fonction de réparation théorique.

**Fe(t)** : la fonction de réparation réelle.

Elle peut être obtenue par la méthode des rangs médians :

$$F_i = \frac{\sum ni - 0.3}{N + 0.4} \qquad f(t) = 1 - \exp[-(t - \gamma|\eta)^\beta]$$

On montre que :  $Dn = \text{Max} |Fe(t) - F(ti)|$  suite une loi ne dépendant que de  $\eta$  et écrit que :

$$P(\text{Max} Fe(t) - F(ti) < Dn, \alpha) = 1 - \alpha$$

Si :  $Dn, \max > Dn, \alpha$  donc nous refusons l'hypothèse du modèle théorique.

Si :  $Dn, \max < Dn, \alpha$  donc nous acceptons l'hypothèse du modèle théorique.

La valeur de  $Dn, \alpha$  est donnée par le tableau de KOLMOGOROV – SMIRNOV

Tableau III. 2 Test de Kolmogorov-Smirnov, valeurs de DN ;  $\alpha$ .

N	$\alpha$			
	0.20	0.10	0.05	0.01
2	0.684	0.776	0.842	0.929
4	0.494	0.564	0.624	0.733
6	0.410	0.470	0.521	0.618
8	0.358	0.411	0.457	0.543
10	0.322	0.368	0.410	0.490
12	0.295	0.338	0.375	0.450
14	0.274	0.314	0.349	0.418
16	0.258	0.295	0.328	0.392
18	0.244	0.278	0.309	0.371
20	0.231	0.264	0.294	0.356
25	0.210	0.240	0.270	0.320
30	0.190	0.220	0.240	0.290
35	0.180	0.210	0.230	0.270
>35	$\frac{1.07}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.22}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.36}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.63}{\sqrt{N}}$

# Chapitre IV

---

*Calculer la fiabilité de la zone utilité du  
complexe  $gNl2-z$*

”

*« Toutes choses sont bonnes ou  
mauvaises Par comparaison »*

*-Edgar Allan Poe -*



“

## IV. Calculer la fiabilité de la zone utilité du complexe GNL2-Z

### IV.1. Introduction :

Dans ce chapitre, nous allons procéder à l'analyse de la fiabilité de la zone utilité du complexe GNL2-Z, en suivant les méthodes décrite au chapitre précédent, en analysant les données statistiques de défaillance sauvegarde dans la base des données procédées (PHD) du complexe GNL2-Z pour UNE années de fonctionnement 2020.

Les lois suivies par cet équipement sont weibull et 20/80 (Pareto) seront déterminées après calcul. Le choix du matériel à étudier est déterminé après une analyse de gravité des défaillances. Les équipements feront l'objet de l'étude de la fiabilité pour permettre la connaissance de ceux qui provoquent le maximum des pannes.

### IV.2. Collecte des données :

Vu la difficulté rencontrée pour la collecte des données à partir du système installé (GATIOR) et la non fiabilité de la base des données de ce dernier, nous avons décidé d'adopter une autre démarche à savoir : Le suivi dès la situation journalière établie par le superviseur de quart de production ou est mentionné tout incident (Arrêt, démarrage, panne.....) d'un équipement avec ses causes. Ces informations sont ensuite vérifiées au niveau de la base des données de Sauvegarde des données procédées (PHD).

Une base de données locale au niveau de la section maintenance conditionnelle renfermant les arrêts et démarrages de tout équipement est maintenue et mise à jour quotidiennement en fonction des événements et des équipements suivis.

### IV.3. Modélisation de la zone utilité du complexe GNL2-Z :

La zone utilités joue un rôle fondamental au sein du complexe GNL2/Z, en assurant la fourniture essentielle de divers fluides et formes d'énergie nécessaires au démarrage et au fonctionnement régulier du complexe.

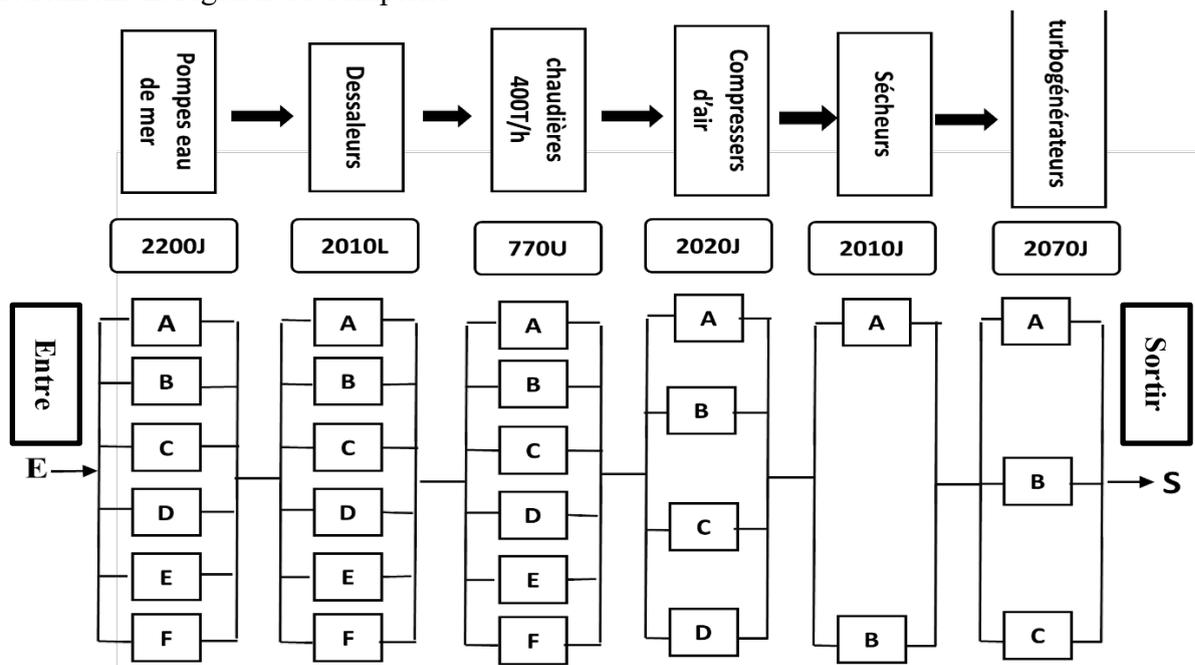


Figure IV. 1 Schéma de la zone utilité

**Exemple :**

Nous avons classé le tableau ci-dessous en fonction du temps de défaillance et des heures de fonctionnement de la pompe d'eau de mer (2200JA), en utilisant les données trouvées dans la base de données de sauvegarde des données procédées (PHD).

**Tableau IV. 1 Historiques des pannes du pompe eau de mer 2200JA.**

<b>2200JA</b>	<b>Janvier</b>	<b>Fevrier</b>	<b>Mars</b>	<b>Avril</b>	<b>Mai</b>	<b>Juin</b>
<b>NAA (hr)</b>	2	0	0	0	0	0
<b>HM (hr)</b>	712,51	672	744	720	705,95	652,07
<b>HAA (hr)</b>	9	0	0	0	0	0
<b>Juillet</b>	<b>Août</b>	<b>Septembre</b>	<b>Octobre</b>	<b>Novembre</b>	<b>Décembre</b>	<b>Juillet</b>
0	1	1	4	1	2	0
744	688	647	735	254,58	703,74	744
0	0,67	49,4	9	465,42	2,78	0

<b>Annuel</b>
11
7978,7806
536,5193

**NAA** : nombre d arrêt accidentel (hr)

**NAV** : nombre d arrêt volontaire (hr)

**HM** : heures de marche (hr)

**IV.4. Analyse prévisionnelle des dysfonctionnements :**

**IV.4.1 Méthodes d'analyse prévisionnelle 20/80 (Pareto) :**

Nous allons classer le tableau ci-dessus par nom des équipements et par ordre croissant des heures d'arrêt, Les heures d'arrêt cumulées et le pourcentage des heures d'arrêt cumulées. Nous permettrons de tracer la courbe 20/80 (Pareto) sur le tableau.

**Tableau IV. 2 La Méthode Pareto Pour la zone utilité.**

<b>Les équipements</b>	<b>Les heurs d'arrêt</b>	<b>Les heurs cumulées</b>	<b>% cumulées</b>
2020JD	1511,78	1511,78	29,14%
2070JA	732,11	2243,89	43,26%
770UE	674,09	2917,98	56,25%
2200JA	536,5193	3454,4993	66,59%
2020JB	424,31	3878,8093	74,77%
2020JC	255,11	4133,9193	79,69%
2010LB	226,48	4360,3993	84,05%
2010LF	156,93	4517,3293	87,08%
2010LA	102,08	4619,4093	89,05%
770UD	93,27	4712,6793	90,85%
2200JF	78,86	4791,5393	92,37%
2010LE	72,1	4863,6393	93,76%
2020JA	62,77	4926,4093	94,97%
2010LC	60,41	4986,8193	96,13%
2070JB	58,77	5045,5893	97,26%

770UF	53,85	5099,4393	98,30%
2010LD	34,12	5133,5593	98,96%
2200JD	33,22	5166,7793	99,60%
2020LB	5,33	5172,1093	99,70%
2020LA	4,73	5176,8393	99,79%
770UB	3,67	5180,5093	99,86%
2200JC	2,4667	5182,976	99,91%
770UA	1,55	5184,526	99,94%
2200JB	1,1833	5185,7093	99,96%
2200JE	0,65	5186,3593	99,98%
770UC	0,5	5186,8593	99,99%
2200JF	0,45	5187,3093	99,99%
2070JC	0,2667	5187,576	100%

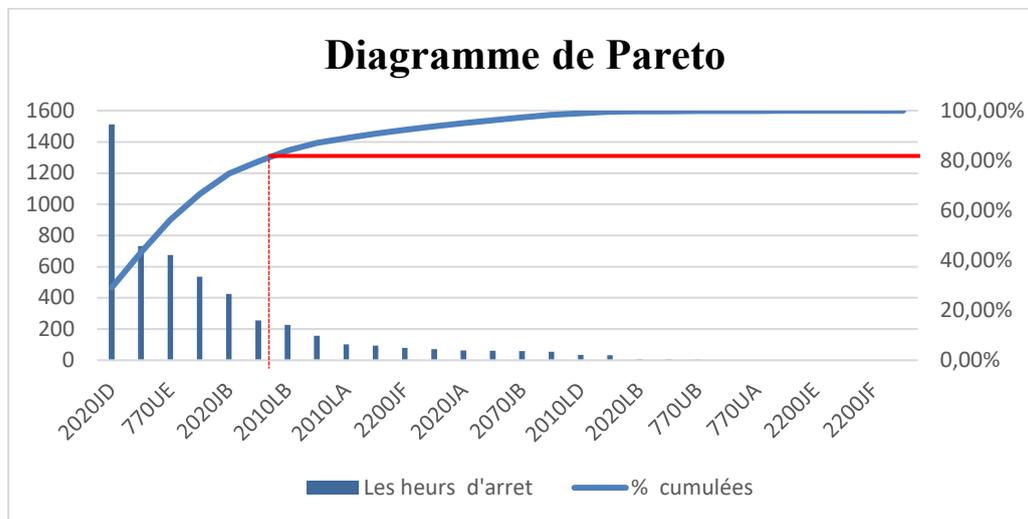


Figure IV. 2 Diagramme 20/80 de Pareto

#### IV.4.2 Analyse et résultats

L'analyse des résultats du diagramme de Pareto, selon la loi des 20/80, démontre que Les résultats de la courbe sont classés en deux zones :

- **1 ère zone** : cette zone représente les 20 % des équipements qui causent 80% des d'arrêts
- **2 -ème zone** : cette zone représente les 80 % des équipements qui causent 20% des d'arrêts.

Dans notre cas, les équipements critiques qui causent 80 % des arrêts sont les trois compresseurs d'air (2020JD, 2020JB, 2020JC), le turbogénérateur (2070JA), la pompe à eau de mer (2200JA) et la chaudière (770UE).

#### IV.5. Etude De la fiabilité des équipbants

La distribution de Weibull est une distribution statistique largement utilisée dans le domaine de la fiabilité et de l'analyse de survie. Elle permet de modéliser le temps jusqu'à la défaillance d'un système ou d'un composant, en tenant compte des variations et des incertitudes associées.

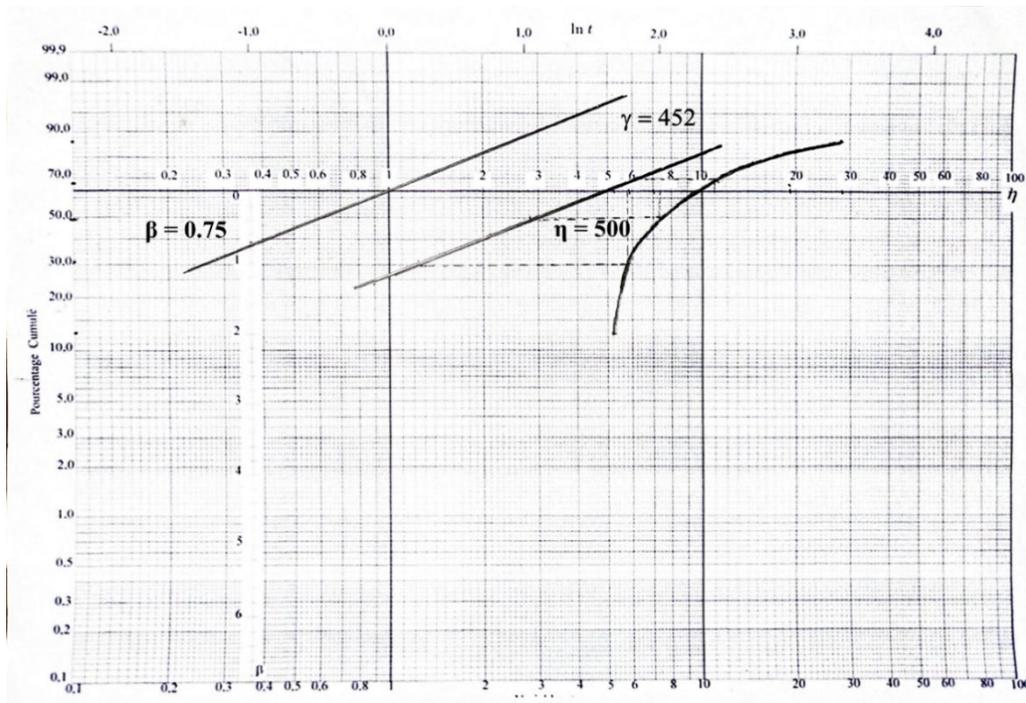
**IV.5.1 Identification des paramètres de weibull**

Le traçage des points (ti ; Fi) sur le papier de " WEIBULL" ou "ALLEN PLAIT, pour déterminer les paramètres de "Weibull". A partir des données on a obtenu deux droites "D1 "et "D2 " qui représentent deux échantillons de tailles différentes.

**IV.5.1.1 Compresseur d'air (2020JB) :**

**Tableau IV. 3 Application du modèle de weibull Compresseur d'air (2020JB)**

ORDRE	(Ni)	∑ (Ni)	TBF	F(i)
1	1	1	526,06	12,96%
2	1	2	588,34	31,48%
3	1	3	706,25	50,00%
4	1	4	1936,08	68,52%
5	1	5	2834,28	87,04%



**Figure IV. 3 Papier de weibull Compresseur d'air (2020JB)**

D'après le graphe de weibull on a :

$$\gamma = \frac{t_2^2 - t_1 \cdot t_3}{2 \cdot t_2 - t_1 - t_3} \quad \longrightarrow \quad T' = T - \gamma$$

$$\longrightarrow \begin{cases} T_1 = 580 \\ T_2 = 740 \\ T_3 = 1100 \end{cases} \quad \longrightarrow \quad \gamma = 452 \quad \longrightarrow \quad \begin{cases} T'_1 = 123 \\ T'_1 = 288 \\ T'_1 = 648 \end{cases}$$

$$\eta = 500 \quad \gamma = 452$$

$$\beta = 0.75 \quad \longrightarrow \quad A = 1,1906 \quad \text{et} \quad B = 1.61$$

IV.5.1.2 Compresseur d'air (2020JC) :

Tableau IV. 4 Application du modèle de weibull Compresseur d'air (2020JC).

ORDRE	(Ni)	∑ (Ni)	TBF	F(i)
1	1	1	573,11	12,96%
2	1	2	727	31,48%
3	1	3	1307,23	50,00%
4	1	4	2847,66	68,52%
5	1	5	2928	87,04%

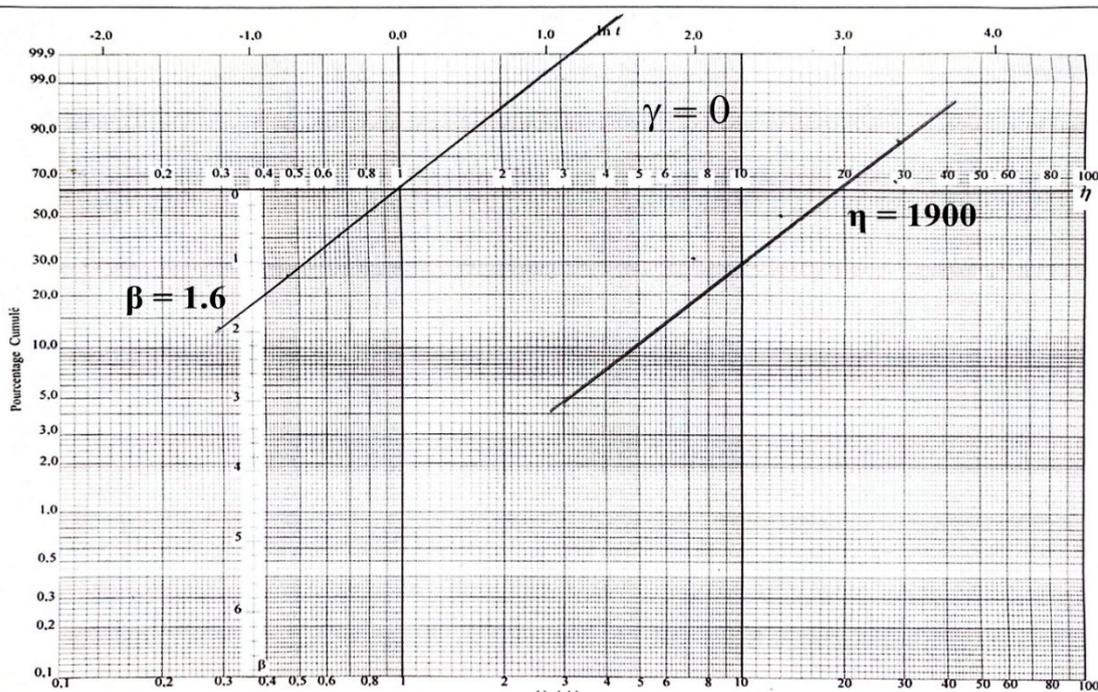


Figure IV. 4 Papier de weibull Compresseur d'air (2020JC)

D'après le graphe de weibull on a :

$$\eta = 1900 \quad \gamma = 0$$

$$\beta = 1.6 \quad \rightarrow \quad A = 0.8966 \quad \text{et} \quad B = 0.574$$

IV.5.1.3 Compresseur d'air (2020JD) :

Tableau IV. 5 Application du modèle de weibull Compresseur d'air (2020JD).

ORDRE	(Ni)	∑ (Ni)	TBF	F(i)
1	1	1	20	9,46%
2	1	2	214,34	22,97%
3	1	3	318,59	36,49%
4	1	4	377,96	50,00%
5	1	5	378,4	63,51%
6	1	6	445,65	77,03%
7	1	7	2237,48	90,54%

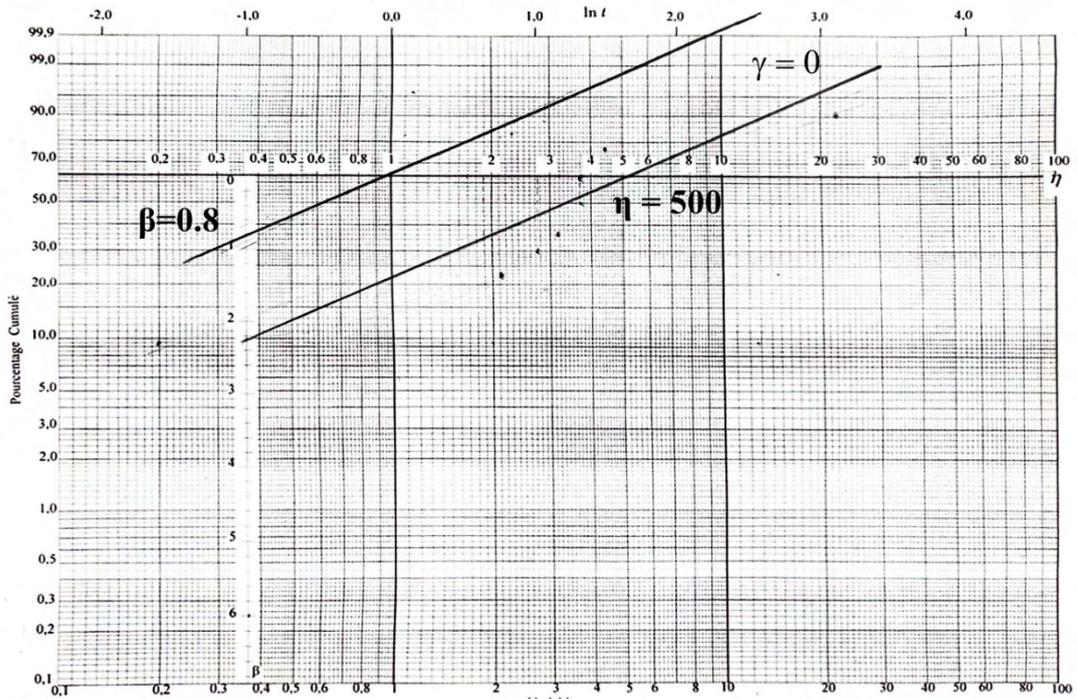


Figure IV. 5 Papier de weibull Compresseur d'air (2020JD)

D'après le graphe de weibull on a :

$$\eta = 500 \quad \gamma = 0$$

$$\beta = 0.8 \quad \longrightarrow \quad A = 1.133 \quad \text{et} \quad B = 1.43$$

#### IV.5.1.4 Chaudière (770UE) :

Tableau IV. 6 Application du modèle de weibull Chaudière (770UE).

ORDRE	(Ni)	$\sum (Ni)$	TBF	F(i)
1	1	1	571,76	8,33%
2	1	2	582	20,24%
3	1	3	636,23	32,14%
4	1	4	651,8	44,05%
5	1	5	674,4	55,95%
6	1	6	707,77	67,86%
7	1	7	1326	79,76%
8	1	8	2814,36	91,67%

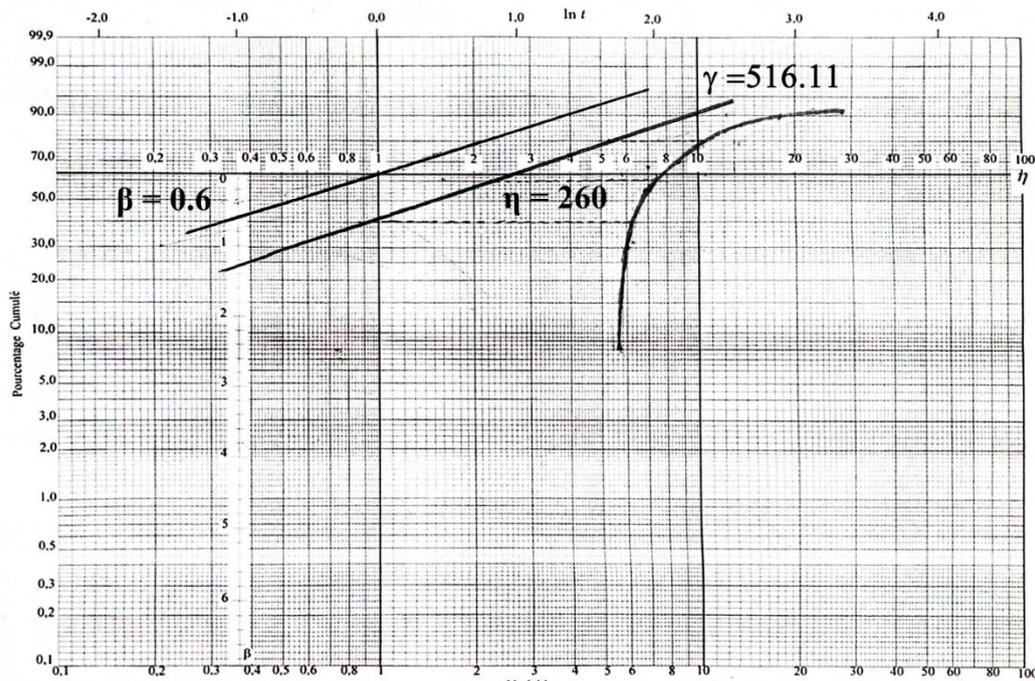


Figure IV. 6 Papier de weibull Chaudière (770UE).

D'après le graphe de weibull on a :

$$\gamma = \frac{t_2^2 - t_1 * t_3}{2 * t_2 - t_1 - t_3} \quad \longrightarrow \quad T' = T - \gamma$$

$$\longrightarrow \left\{ \begin{array}{l} T_1 = 610 \\ T_2 = 740 \\ T_3 = 1050 \end{array} \right. \longrightarrow \gamma = 516.11 \longrightarrow \left\{ \begin{array}{l} T'_1 = 93.84 \\ T'_1 = 223.89 \\ T'_1 = 533.89 \end{array} \right.$$

$$\eta = 260 \quad \gamma = 516.11$$

$$\beta = 0.6 \quad \longrightarrow \quad A = 1.5046 \quad \text{et} \quad B = 2.65$$

#### IV.5.1.5 Pompe eau de mer (2200JA) :

Tableau IV. 7 Application du modèle de weibull Pompe eau de mer (2200JA).

ORDRE	TBF	(Ni)	Σ (Ni)	F(i)	F(i)%
1	254.58	1	1	0.1296	12.96%
2	647	1	2	0.3148	31.48%
3	703.74	1	3	0.5	50.00%
4	735	1	4	0.6852	68.52%
5	5838.76	1	5	0.8704	87.04%

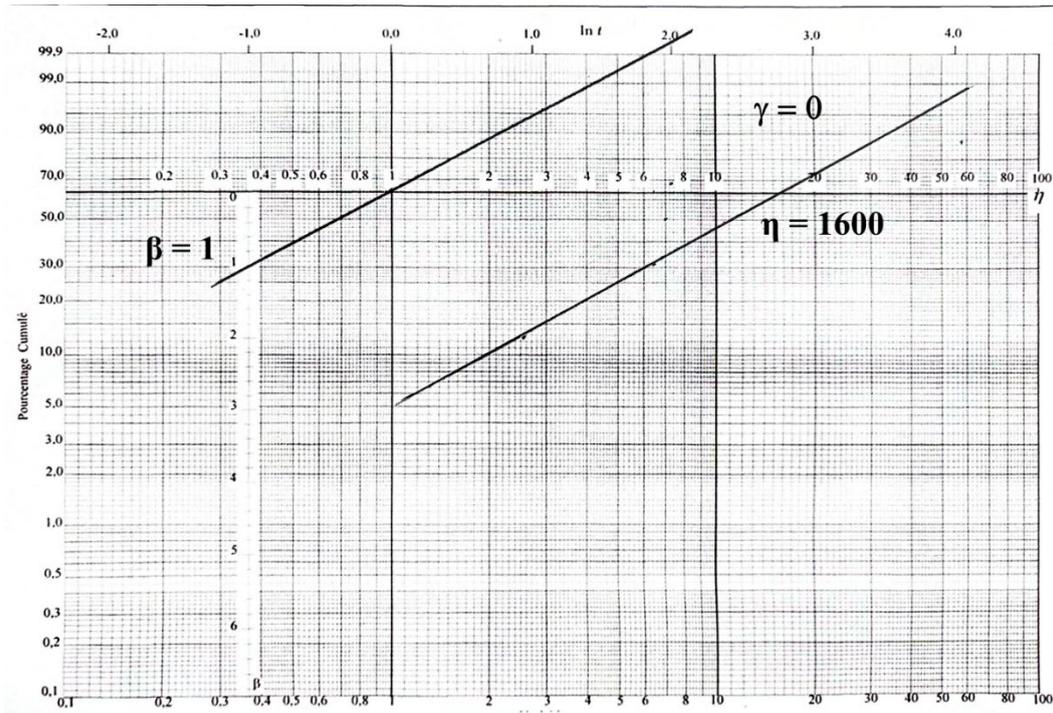


Figure IV. 7 Papier de weibull Pompe eau de mer (2200JA)

D'après le graphe de weibull on a :

$$\eta = 1600 \quad \gamma = 0$$

$$\beta = 1 \quad \rightarrow \quad A = 1 \quad \text{et} \quad B = 1$$

IV.5.1.6 Turbogénérateur (2070JA) :

Tableau IV. 8 Application du modèle de weibull Turbogénérateur (2070JA)

ORDRE	(Ni)	∑ (Ni)	TBF	F(i)
1	1	1	371,11	9,46%
2	1	2	409,98	22,97%
3	1	3	611,87	36,49%
4	1	4	698,17	50,00%
5	1	5	720,33	63,51%
6	1	6	1374,1	77,03%
7	1	7	2597,01	90,54%

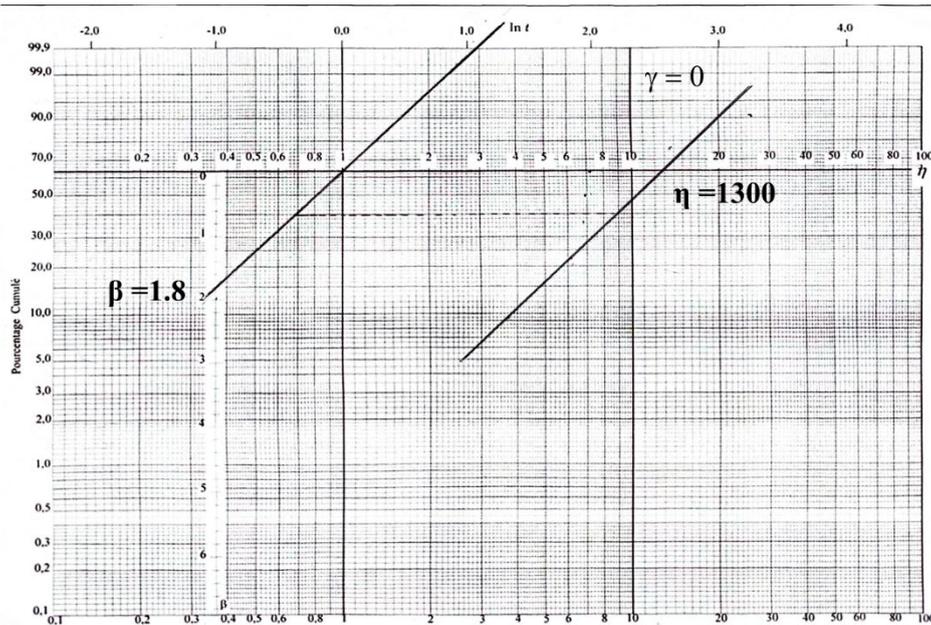


Figure IV. 8 Papier de weibull Turbogénérateur (2070JA)

D'après le graphe de weibull on a :

$$\begin{aligned} \eta &= 1300 & \gamma &= 0 \\ \beta &= 1.8 & \Rightarrow & A = 0.8893 \text{ et } B = 0.511 \end{aligned}$$

#### IV.5.2 Test d'adéquation (Kolmogorov Smirnov)

Le test de "Kolmogorov Smirnov" est vérifié en tout point, donc on peut conclure que la loi Théorique coïncide avec celle de l'échantillon, on a un risque (5%) de se tromper entre les Deux lois. La valeur  $D_{0.05} = (0.391)$  est prise de la table des valeurs de "Kolmogorov Smirnov".

##### IV.5.2.1 Compresseur d'air (2020JB) :

Tableau IV. 9 Test de Kolmogorov Smirnov Compresseur d'air (2020JB).

ORDRE	TBF	F(i)	Défaillance F(t)	F(t) - F(i)
1	526,06	0,1296	0,212395556	0,082795556
2	588,34	0,3148	0,314321339	0,000478661
3	706,25	0,5000	0,452377313	0,047622687
4	1936,08	0,6852	0,895789043	0,395789043
5	2834,28	0,8704	0,960240493	0,275040493

$$D_{n.\max} = 0,395789043$$

$$\alpha = 0.05 = 5\%$$

$$D_4 = 0.624$$

$0,395 < 0.624 \Rightarrow D_{n.\max} < D_{n.\alpha}$  Pour La Valeur  $D_{n.\alpha}$  (Voir Le Tableau sur L'annexe)  
Donc le modèle de Weibull est **acceptable**

## IV.5.2.2 Compresseur d'air (2020JC) :

Tableau IV. 10 Test de Kolmogorov Smirnov Compresseur d'air (2020JC).

ORDRE	TBF	F(i)	Défaillance F(t)	F(t) - F(i)
1	573,11	0,1296	0,136664442	0,007064442
2	727	0,3148	0,193462886	0,121337114
3	1307,23	0,5000	0,422900244	0,077099756
4	2847,66	0,6852	0,852012003	0,166812003
5	2928	0,8704	0,864339163	0,006060837

$$Dn.max = 0,166812003$$

$$\alpha = 0.05 = 5\%$$

$$D4 = 0.624$$

$0,166 < 0.624 \Rightarrow Dn.max. < Dn.\alpha$  Pour La Valeur  $Dn.\alpha$  (Voir Le Tableau sur L'annexe)  
Donc le modèle de Weibull est acceptable

## IV.5.2.3 Compresseur d'air (2020JD) :

Tableau IV. 11 Test de Kolmogorov Smirnov Compresseur d'air (2020JD).

ORDRE	TBF	F(i)	Défaillance F(t)	F(t) - F(i)
1	20	0,0946	0,073319245	0,021280755
2	214,34	0,2297	0,398191645	0,168491645
3	318,59	0,3649	0,502064144	0,137164144
4	377,96	0,5000	0,550415033	0,050415033
5	378,4	0,6351	0,550749596	0,084350404
6	445,65	0,7703	0,598300508	0,171999492
7	2237,48	0,9054	0,963706924	0,058306924

$$Dn.max = 0,171999492$$

$$\alpha = 0.05 = 5\%$$

$$D6 = 0.521$$

$0,171 < 0.521 \Rightarrow Dn.max. < Dn.\alpha$  Pour La Valeur  $Dn.\alpha$  (Voir Le Tableau sur L'annexe)  
Donc le modèle de Weibull est acceptable.

## IV.5.2.4 Chaudière (770UE) :

Tableau IV. 12 Test de Kolmogorov Smirnov Chaudière (770UE).

ORDRE	TBF	F(i)	Défaillance F(t)	F(t) - F(i)
1	571,76	0,0833	0,327361598	0,244061598
2	582	0,2024	0,355217034	0,152817
3	636,23	0,3214	0,46697923	0,14557923
4	651,8	0,4405	0,491826044	0,051326044
5	674,4	0,5595	0,524070562	0,035429438
6	707,77	0,6786	0,565165079	0,113434921
7	1326	0,7976	0,861556871	0,063956871
8	2814,36	0,9167	0,975203226	0,058503226

$$Dn.max = 0,244061598$$

$$\alpha = 0.05 = 5\%$$

$$D2 = 0.842$$

$0,244 < 0.842 \implies Dn.max. < Dn. \alpha$  Pour La Valeur  $Dn.\alpha$  (Voir Le Tableau sur L'annexe)  
Donc le modèle de Weibull est acceptable.

#### IV.5.2.5 Pompes eau de mer (2200JA) :

Tableau IV. 13 Test de Kolmogorov Smirnov Pompes eau de mer (2200JA).

ORDRE	TBF	F(i)	Défaillance F(t)	F(t) - F(i)
1	254.58	0,1296	0,147099598	0,017499598
2	647	0,3148	0,332606198	0,017806198
3	703.74	0,5	0,355858914	0,144141086
4	735	0,6852	0,368321679	0,316878321
5	5838.76	0,8704	0,97398872	0,10358872

$$Dn.max = 0,316878321$$

$$\alpha = 0.05 = 5\%$$

$$D4 = 0.624$$

$0.317 < 0.624 \implies Dn.max. < Dn. \alpha$  Pour La Valeur  $Dn.\alpha$  (Voir Le Tableau sur L'annexe)  
Donc le modèle de Weibull est acceptable.

#### IV.5.2.6 Turbogénérateur (2070JA) :

Tableau IV. 14 Test de Kolmogorov Smirnov Turbogénérateur (2070JA).

ORDRE	TBF	F(i)	Défaillance F(t)	F(t) - F(i)
1	371,11	0,0946	0,099418382	0,004818382
2	409,98	0,2297	0,117748388	0,111952
3	611,87	0,3649	0,227069353	0,137830647
4	698,17	0,5000	0,2786364	0,2213636
5	720,33	0,6351	0,292139648	0,342960352
6	1374,1	0,7703	0,668766111	0,101533889
7	2597,01	0,9054	0,969038086	0,063638086

$$Dn.max = 0,342960352$$

$$\alpha = 0.05 = 5\%$$

$$D6 = 0.521$$

$0,342 < 0.521 \implies Dn.max. < Dn. \alpha$  Pour La Valeur  $Dn.\alpha$  (Voir Le Tableau sur L'annexe)  
Donc le modèle de Weibull est acceptable

### IV.5.3 Détermination des indices de fiabilité

#### IV.5.3.1 Compresseur d'air (2020JB) :

- Calcule le MTBF ;

$$MTBF = A \times \eta + \gamma = 2 \times 500 + 452$$

$$MTBF = 1047,3 \text{ heures}$$

- Calcule de R (MTBF) :

$$R(t) = \exp[-(t - \gamma|\eta)^\beta]$$

$$R(MTBF) = \exp[-(1047.3 - 452|500)^{0.75}]$$

$$R \text{ (MTBF)} = 31,99\%$$

- Calcul de F (MTBF)

$$F(t) = 1 - \exp\left[-(t - \gamma|\eta)^\beta\right]$$

$$F(t) = 1 - \exp\left[-(1047.3 - 452|500)^{0.75}\right]$$

$$F \text{ (MTBF)} = 68,01\%$$

- Calcul de  $\lambda$  (MTBF) :

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

$$\lambda(t) = \frac{0.75}{500} \left(\frac{1047.3 - 452}{500}\right)^{0.75-1}$$

$$\lambda \text{ (MTBF)} = 0,1436\%$$

- Calcul de  $f$  (MTBF) :

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} (t - \gamma|\eta)^{\beta-1} \exp\left[-(t - \gamma|\eta)^\beta\right]$$

$$f(t) = \frac{0.75}{500} (1047.3 - 452|500)^{0.75-1} \exp\left[-(1045.3 - 452|500)^{0.75}\right]$$

$$f \text{ (MTBF)} = 0,0459\%$$

Tableau IV. 15 Étude de modèle de weibull Compresseur d'air (2020JB)

TBF	Fiabilité R(t)	Défaillance F(t)	Densité de Probabilité $f(t)$	Taux de Défaillance
0	1	0		
526,06	0,7876044444	0,212395556	0,001904347	0,242%
588,34	0,685678661	0,314321339	0,001423307	0,208%
706,25	0,547622687	0,452377313	0,000972747	0,178%
1936,08	0,104210957	0,895789043	0,000119092	0,114%
2834,28	0,03,975951	0,960240493	0,00004,0367	0,102%

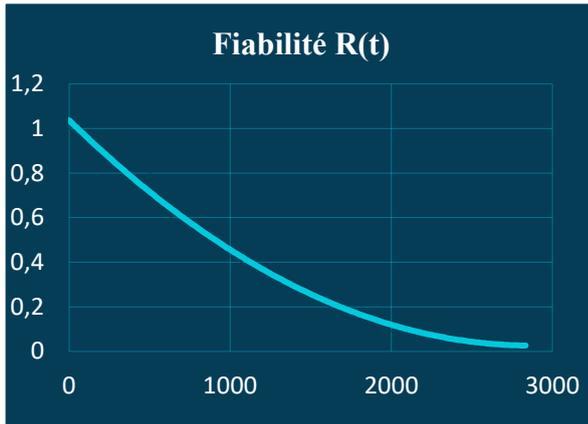


Figure IV. 10 La Courbe De Fonction Fiabilité Compresseur d'air (2020JB).

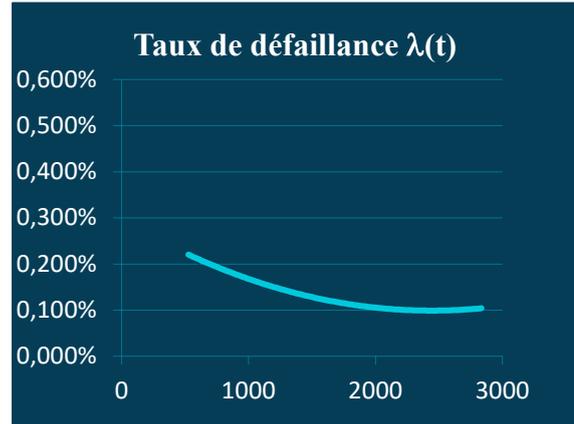


Figure IV. 9 La Courbe Taux De Défaillance Compresseur d'air (2020JB).

**Analyse des Résultats :**

La **Figure IV. 10** représente la variation de la fonction de fiabilité  $R(t)$  en fonction du temps de bon fonctionnement de compresseur d'air (2020JB), qui est décroissante avec le temps, ce qui est de même pour la probabilité de bon fonctionnement. En outre, la valeur de la fiabilité pour  $t=MTBF$  est égale à 31.99 %, ce qui implique que le compresseur (2020JB) a 31.99 % de chances de fonctionner jusqu'à la MTBF, ce qui le rend moins fiable.

La **Figure IV. 9** représente la variation de la fonction de taux de défaillance  $\lambda(t)$  en fonction du temps de bon fonctionnement du compresseur d'air (2020JB), qui est décroissante avec le temps et tend à rester constante. Cela indique l'élimination des défauts initiaux du compresseur d'air (2020JB), donc l'équipement est à la sortie de la période de jeunesse et à l'entrée de la période de maturité.

**IV.5.3.2 Compresseur d'air (2020JC) :**

- **Calcule le MTBF**

$$MTBF = A \times \eta + \gamma = 0.8966 \times 1900 + 0$$

$$MTBF = 1703.54 \text{ heures}$$

- **Calcule de R (MTBF)**

$$R(t) = \exp\left[-(t - \gamma|\eta)^\beta\right]$$

$$R(MTBF) = \exp\left[-(1703.54 - 0|1900)^{1.6}\right]$$

$$R(MTBF) = R(1703.54) = 43,18\%$$

- **Calcule de F (MTBF)**

$$F(t) = 1 - \exp\left[-(t - \gamma|\eta)^\beta\right]$$

$$F(t) = 1 - \exp\left[-(1703.54 - 0|1900)^{1.6}\right]$$

$$F(MTBF) = F(1703.54) = 56,82\%$$

- Calcul de  $\lambda$  (MTBF)

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

$$\lambda(t) = \frac{1.6}{1900} \left( \frac{1703.54 - 0}{1900} \right)^{1.6-1}$$

$$\lambda \text{ (MTBF)} = \lambda (1703.54) = 0,08\%$$

- Calcul de  $f$  (MTBF)

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} (t - \gamma|\eta)^{\beta-1} \exp[-(t - \gamma|\eta)^\beta]$$

$$f(t) = \frac{0.75}{500} (1047.3 - 452|500)^{0.75-1} \exp[-(1045.3 - 452|500)^{0.75}]$$

$$f \text{ (MTBF)} = f (1703.54) = 0,0341\%$$

Tableau IV. 16 Étude de modèle de weibull Compresseur d'air (2020JC)

TBF	Fiabilité R(t)	Défaillance F(t)	Densité de Probabilité f(t)	Taux de Défaillance
0	1	0		
573,11	0,8633355580	0,136664442	0,00035419	0,041%
727	0,806537114	0,193462886	0,000381645	0,047%
1307,23	0,577099756	0,422900244	0,000388308	0,067%
2847,66	0,147987997	0,852012003	0,000293287	0,107%
2928	0.1356608	0,864339163	0,000158867	0,109%

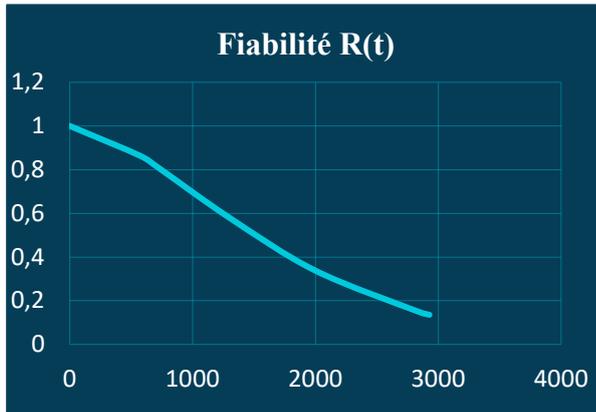


Figure IV. 12 La Courbe De Fonction Fiabilité Compresseurs d'air (2020JC).

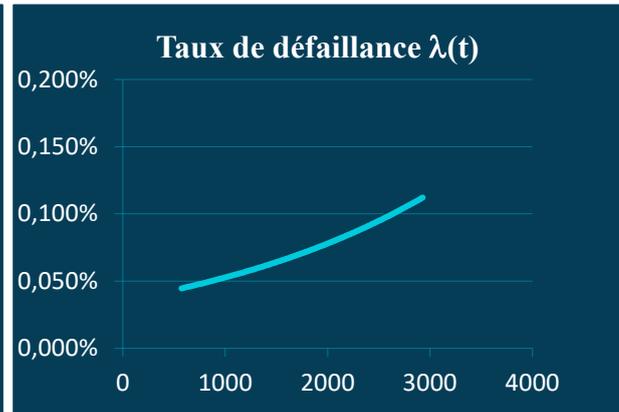


Figure IV. 11 La Courbe Taux De Défaillance Compresseurs d'air (2020JC).

### Analyse des Résultats :

La Figure IV. 12 représente la variation de la fonction de fiabilité R(t) en fonction du temps de bon fonctionnement du compresseur d'air (2020JC), qui est décroissante avec le temps, ce

qui est également vrai pour la probabilité de bon fonctionnement. En outre, la valeur de la fiabilité pour  $t=MTBF$  est égale à 43.18 %, ce qui implique que le compresseur (2020JC) a 43.18 % de chances de fonctionner jusqu'à la MTBF, ce qui le rend plus fiable.

La **Figure IV. 11** représente la variation de la fonction de taux de défaillance  $\lambda(t)$  en fonction du temps de bon fonctionnement du compresseur d'air (2020JC), qui augmente avec le temps. Cela indique l'usure du compresseur d'air (2020JC), donc l'équipement est dans la période de vieillissement.

#### IV.5.3.3 Compresseur d'air (2020JD) :

- **Calcule le MTBF**

$$MTBF = A \times \eta + \gamma = 1.133 \times 500 + 0$$

$$MTBF = 566.5 \text{ heures}$$

- **Calcule de R (MTBF)**

$$R(t) = \exp[-(t - \gamma|\eta)^\beta]$$

$$R(MTBF) = \exp[-(566.5 - 0|500)^{0.8}]$$

$$R(MTBF) = R(566.5) = 33,12\%$$

- **Calcule de F (MTBF)**

$$F(t) = 1 - \exp[-(t - \gamma|\eta)^\beta]$$

$$F(t) = 1 - \exp[-(566.5 - 0|500)^{0.8}]$$

$$F(MTBF) = F(566.5) = 66,88\%$$

- **Calcule de  $\lambda$  (MTBF)**

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

$$\lambda(t) = \frac{0.8}{500} \left( \frac{566.5 - 0}{500} \right)^{0.8-1}$$

$$\lambda(MTBF) = \lambda(566.5) = 0,1561\%$$

- **Calcule de  $f$  (MTBF)**

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} (t - \gamma|\eta)^{\beta-1} \exp[-(t - \gamma|\eta)^\beta]$$

$$f(t) = \frac{0.8}{500} (566.5 - 0|500)^{0.8-1} \exp[-(566.5 - 0|500)^{0.8}]$$

$$f(MTBF) = f(566.5) = 0,0517\%$$

Tableau IV. 17 Étude de modèle de weibull Compresseur d'air (2020JD).

TBF	Fiabilité R(t)	Défaillance F(t)	Densité de Probabilité f(t)	Taux de Défaillance λ
0	1	0		
20	0,926680755	0,073319245	0,002822527	0,30%
214,34	0,601808355	0,398191645	0,001140648	0,19%
318,59	0,497935856	0,502064144	0,000871848	0,18%
377,96	0,449584967	0,550415033	0,000760741	0,17%
378,4	0,4492504	0,550749596	0,000759998	0,17%
445,65	0,401699492	0,598300508	0,000657683	0,16%
2237,48	0,036293076	0,963706924	0,0000430314	0,12%

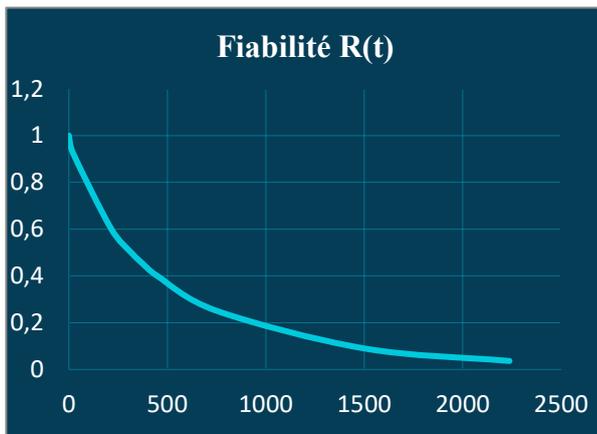


Figure IV. 14 La Courbe De Fonction Fiabilité Compresseur d'air (2020JD).

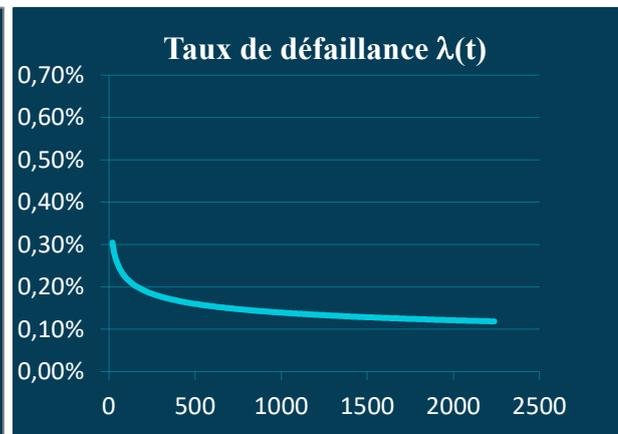


Figure IV. 13 La Courbe Taux De Défaillance Compresseur d'air (2020JD).

**Analyse des Résultats :**

La **Figure IV. 14** montre la variation de la fiabilité R(t) en fonction du temps de bon fonctionnement du compresseur d'air (2020JD), qui diminue avec le temps. Il en est de même pour la probabilité de bon fonctionnement. Par ailleurs, la fiabilité pour t=MTBF est de 33,12 %, indiquant que le compresseur (2020JD) a 33,12 % de chances de fonctionner jusqu'à la MTBF, ce qui en fait un équipement relativement peu fiable.,

La **Figure IV. 13** montre la variation du taux de défaillance λ(t) en fonction du temps de bon fonctionnement du compresseur d'air (2020JD), qui décroît avec le temps. Cette diminution indique l'élimination des défauts initiaux, donc l'équipement est à la sortie de la période de jeunesse et à l'entrée de la période de maturité.

**IV.5.3.4 Pompes eau de mer (2200JA) :**

- **Calcule le MTBF**  
 $MTBF = A \times \eta + \gamma = 1 \times 1600 + 0$   
 $MTBF = 1600 \text{ heures}$

- **Calcule de R (MTBF)**  
 $R(t) = \exp[-(t - \gamma|\eta)^\beta]$

$$R(\text{MTBF}) = \exp[-(1600 - 0|1600)^1]$$

$$R(\text{MTBF}) = R(1600) = 36,79\%$$

- Calcul de  $F(\text{MTBF})$

$$F(t) = 1 - \exp[-(t - \gamma|\eta)^\beta]$$

$$F(t) = 1 - \exp[-(1600 - 0|1600)^1]$$

$$F(\text{MTBF}) = F(1600) = 63,21\%$$

- Calcul de  $\lambda(\text{MTBF})$

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

$$\lambda(t) = \frac{1}{1600} \left( \frac{1600 - 0}{1600} \right)^{1-1}$$

$$\lambda(\text{MTBF}) = \lambda(1600) = 0,0625\%$$

- Calcul de  $f(\text{MTBF})$

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} (t - \gamma|\eta)^{\beta-1} \exp[-(t - \gamma|\eta)^\beta]$$

$$f(t) = \frac{1}{1600} (1600 - 0|1600)^{1-1} \exp[-(1600 - 0|1600)^1]$$

$$f(\text{MTBF}) = f(1600) = 0,0230\%$$

Tableau IV. 18 Étude de modèle de weibull Pompes eau de mer (2200JA)

TBF	Fiabilité $R(t)$	Défaillance $F(t)$	Densité de Probabilité $f(t)$	Taux de Défaillance
0	1	0		
254,58	0,8529004023	0,147099598	0,000533063	0,063%
647	0,667393802	0,332606198	0,000417121	0,063%
703,74	0,644141086	0,355858914	0,000402588	0,063%
735	0,6,316783	0,368321679	0,000394799	0,063%
5838,76	0,02601128	0,97398872	0.00001,6257	0,063%

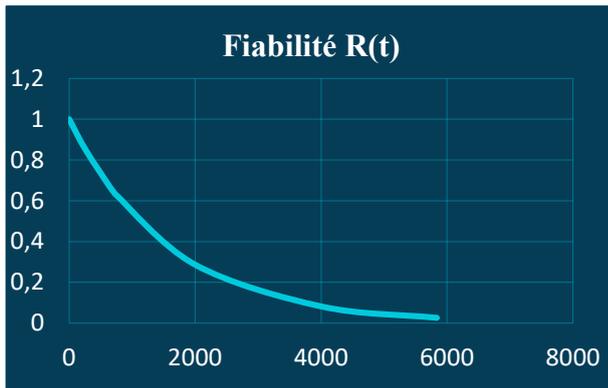


Figure IV. 15 La Courbe De Fonction Fiabilité Pompes eau de mer (2200JA).

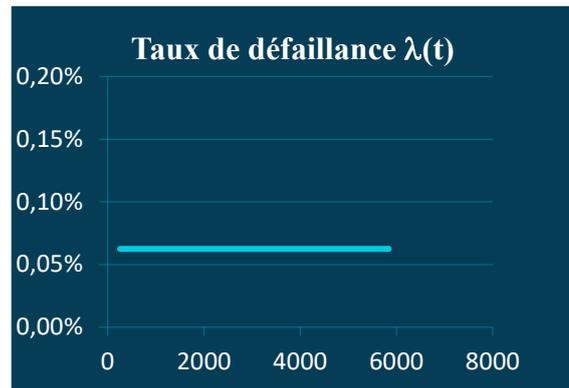


Figure IV. 16 La Courbe Taux De Défaillance Pompes eau de mer (2200JA).

**Analyse des Résultats :**

La **Figure IV. 16** illustre la variation de la fiabilité  $R(t)$  en fonction du temps de bon fonctionnement de la pompe centrifuge (2200JA), qui décroît avec le temps. De même, la probabilité de bon fonctionnement diminue. Par ailleurs, la fiabilité pour  $t=MTBF$  est de 36.79 %, ce qui signifie que la pompe (2200JA) a 36.79 % de chances de fonctionner jusqu'à la MTBF, la rendant relativement moins fiable.

La **Figure IV. 15** illustre la variation du taux de défaillance en fonction du temps de bon fonctionnement de la pompe centrifuge (2200JA), qui demeure constante au fil du temps. Cette stabilité reflète l'élimination des défauts initiaux, donc l'équipement est dans la période de maturité.

**IV.5.3.5 Chaudière (770UE) :**

- **Calcule le MTBF**

$$MTBF = A \times \eta + \gamma = 1.5046 \times 260 + 516.11$$

$$MTBF = 907.306 \text{ heures}$$

- **Calcule de R (MTBF)**

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

$$R(MTBF) = \exp\left[-\left(\frac{907.306 - 516.11}{260}\right)^{0.6}\right]$$

$$R(MTBF) = R(907.306) = 27,87\%$$

- **Calcule de F (MTBF)**

$$F(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t - \gamma}{\eta}\right)^\beta\right]$$

$$F(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{907.306 - 516.11}{260}\right)^{0.6}\right]$$

$$F(MTBF) = F(907.306) = 72,13\%$$

- **Calcule de λ (MBTF)**

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

$$\lambda(t) = \frac{0.6}{260} \left( \frac{907.306 - 516.11}{260} \right)^{0.6-1}$$

$$\lambda(\text{MTBF}) = \lambda(907.306) = 0,1960\%$$

- Calcul de  $f(\text{MTBF})$

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} (t - \gamma|\eta)^{\beta-1} \exp[-(t - \gamma|\eta)^\beta]$$

$$f(t) = \frac{0.6}{260} (907.306 - 516.11|260)^{0.6-1} \exp[-(907.306 - 516.11|260)^{0.6}]$$

$$f(\text{MTBF}) = f(907.306) = 0,0546\%$$

Tableau IV. 19 Étude de modèle de weibull Chaudière (770UE)

TBF	Fiabilité R(t)	Défaillance F(t)	Densité de Probabilité f(t)	Taux de Défaillance
0	1	0		
571,76	0,6726384017	0,327361598	0,002875827	0,428%
582	0,644782966	0,355217034	0,002576636	0,400%
636,23	0,53302077	0,46697923	0,001675195	0,314%
651,8	0,508173956	0,491826044	0,00152111	0,299%
674,4	4,759294E-01	0,524070562	0,001339456	0,281%
707,77	0,434834921	0,565165079	0,00113365	0,261%
1326	0,138443129	0,861556871	0,0002028	0,146%
2814,36	2,47968E-02	0,975203226	2,39334E-05	0,097%

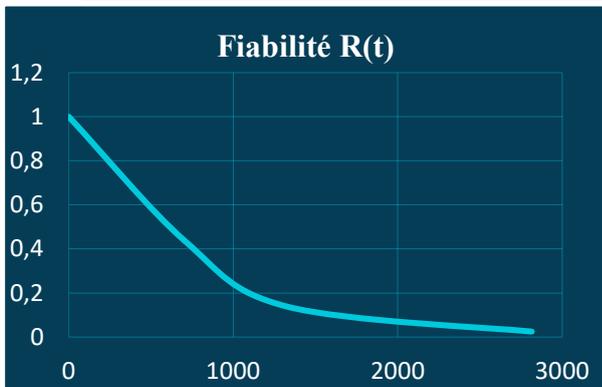


Figure IV. 18 La Courbe De Fonction Fiabilité Chaudière (770UE).

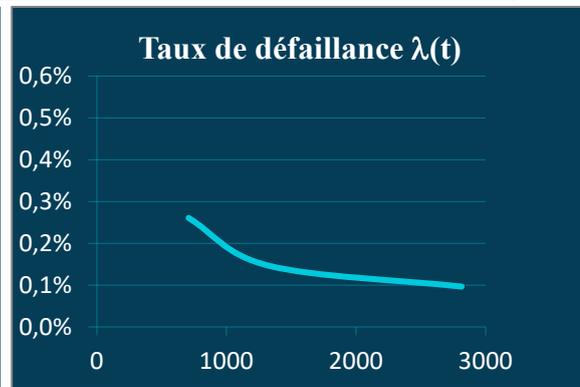


Figure IV. 17 La Courbe Taux De Défaillance Chaudière (770UE).

**Analyse des Résultats :**

La Figure IV. 18 illustre la variation de la fiabilité R(t) en fonction du temps de bon fonctionnement de la CHAUDIÈRE (770UE), qui décroît avec le temps. De même, la probabilité de bon fonctionnement diminue. Par ailleurs, la fiabilité pour  $t = \text{MTBF}$  est de 27.87 %, ce qui signifie que la chaudière (770UE) a 27.87 % de chances de fonctionner jusqu'à la MTBF, la rendant relativement moins fiable.

La Figure IV. 17 illustre la variation du taux de défaillance  $\lambda$  en fonction du temps de bon fonctionnement de la CHAUDIÈRE (770UE), qui diminue au fil du temps. Cette diminution

reflète l'élimination des défauts initiaux, donc l'équipement est à la sortie de la période de jeunesse et à l'entrée de la période de maturité.

#### IV.5.3.6 Turbogénérateur (2070JA) :

- Calcule le MTBF

$$\text{MTBF} = A * \eta + \gamma = 0,8894 * 1300 + 0$$

$$\text{MTBF} = 1156.09 \text{ heures}$$

- Calcule de R (MTBF)

$$R(t) = \exp[-(t - \gamma|\eta)^\beta]$$

$$R(\text{MTBF}) = \exp[-(1156.09 - 0|1300)^{1.8}]$$

$$R(\text{MTBF}) = R(1156.09) = 44,50\%$$

- Calcule de F (MTBF)

$$F(t) = 1 - \exp[-(t - \gamma|\eta)^\beta]$$

$$F(t) = 1 - \exp[-(1156.09 - 0|1300)^{1.8}]$$

$$F(\text{MTBF}) = F(1156.09) = 55,50\%$$

- Calcule de  $\lambda$  (MTBF)

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

$$\lambda(t) = \frac{0.75}{1300} \left( \frac{1156.09 - 0}{1300} \right)^{1.8-1}$$

$$\lambda(\text{MTBF}) = \lambda(1156.09) = 0,1261\%$$

- Calcule de  $f$  (MTBF)

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} (t - \gamma|\eta)^{\beta-1} \exp[-(t - \gamma|\eta)^\beta]$$

$$f(t) = \frac{0.75}{500} (1156.09 - 0|1300)^{1.8-1} \exp[-(1156.09 - 0|1300)^{1.8}]$$

$$f(\text{MTBF}) = f(1156.09) = 0,0561\%$$

Tableau IV. 19 Étude de modèle de weibull Turbogénérateur (2070JA)

TBF	Fiabilité R(t)	Défaillance F(t)	Densité de Probabilité $f(t)$	Taux de Défaillance
0	1	0		
371,11	0,9005816182	0,099418382	0,000457404	0,051%
409,98	0,882251612	0,117748388	0,000485263	0,055%
611,87	0,772930647	0,227069353	0,000585656	0,076%
698,17	0,7213636	0,2786364	0,000607432	0,084%
720,33	7,078604E-01	0,292139648	0,000611149	0,086%
1374,1	0,331233889	0,668766111	0,000479429	0,145%
2597,01	0,030961914	0,969038086	7,45729E-05	0,241%

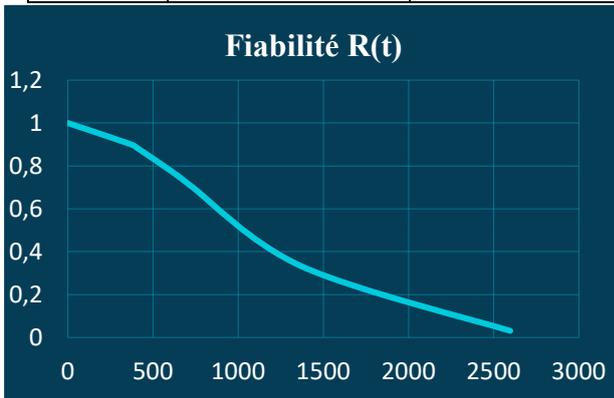


Figure IV. 20 La Courbe De Fonction Fiabilité Turbogénérateur (2070JA).

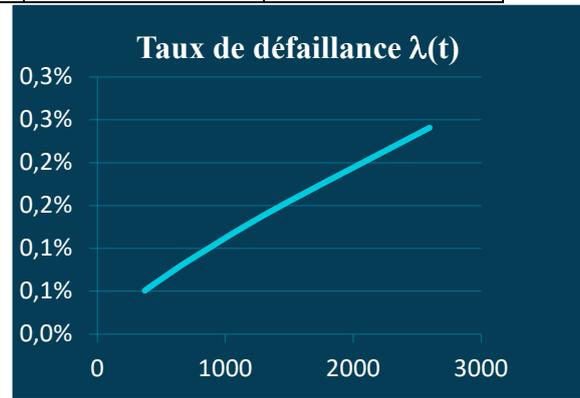


Figure IV. 19 La Courbe Taux De Défaillance Turbogénérateur (2070JA).

**Analyse des Résultats :**

La Figure IV. 19 illustre la variation de la fiabilité R(t) en fonction du temps de bon fonctionnement du turbogénérateur (2070JA), qui décroît avec le temps. De même, la probabilité de bon fonctionnement diminue. Par ailleurs, la fiabilité pour t=MTBF est de 44,5 %, ce qui signifie que le turbogénérateur (2070JA) a 44,5 % de chances de fonctionner jusqu'à la MTBF, le rendant relativement moins fiable.

La Figure IV. 20 illustre la variation du taux de défaillance  $\lambda$  en fonction du temps de bon fonctionnement du turbogénérateur (2070JA), qui augmente au fil du temps. Cette augmentation indique l'usure du turbogénérateur (2070JA), situant ainsi l'équipement dans sa période de vieillissement.

**IV.5.4 Calcul du temps souhaitable pour une intervention systématique**

**IV.5.4.1 Compresseur d'air (2020JB) :**

Pour l'amélioration de la fiabilité de compresseur d'air (2020JB) on a proposé Le Suivant :  
 $R(t)=80\% \Rightarrow$  pour chercher le temps systématique

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

$$\begin{aligned} \ln R(t) = - (t - \gamma / \eta)^\beta = \ln (0.8) &\Leftrightarrow - [\ln R(t)]^{1/\beta} = t - \gamma / \eta \Rightarrow t = \eta [\ln(1/R(t))]^{1/\beta} + \gamma \\ t = 500 (\ln (1/0.8))^{1/0.75} + 452 &\approx \mathbf{520 \text{ h.}} \end{aligned}$$

**IV.5.4.2 Compresseur d'air (2020JC) :**

Pour l'amélioration de la fiabilité de compresseur d'air (2020JC) on a proposé Le Suivant :  
 $R(t)=80\%$   $\Rightarrow$  pour chercher le temps systématique

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

$$\begin{aligned} \ln R(t) = - (t/\eta)^\beta = \ln (0.8) &\Leftrightarrow - [\ln R(t)]^{1/\beta} = t / \eta \Rightarrow t = \eta [\ln(1/R(t))]^{1/\beta} \\ t = 1900 (\ln (1/0.8))^{1/1.6} &\approx \mathbf{744 \text{ h.}} \end{aligned}$$

**IV.5.4.3 Compresseur d'air (2020JD) :**

Pour l'amélioration de la fiabilité de compresseur d'air (2020JD) on a proposé Le Suivant :  
 $R(t)=80\%$   $\Rightarrow$  pour chercher le temps systématique

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

$$\begin{aligned} \ln R(t) = - (t/\eta)^\beta = \ln (0.8) &\Leftrightarrow - [\ln R(t)]^{1/\beta} = t / \eta \Rightarrow t = \eta [\ln(1/R(t))]^{1/\beta} \\ T = 500 (\ln (1/0.8))^{1/0.8} &\approx \mathbf{77 \text{ h.}} \end{aligned}$$

**IV.5.4.4 Pompes eau de mer (2200JA) :**

Pour l'amélioration de la fiabilité de Pompes eau de mer (200JA) on a proposé Le Suivant :  
 $R(t)=80\%$   $\Rightarrow$  pour chercher le temps systématique

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

$$\begin{aligned} \ln R(t) = - (t/\eta)^\beta = \ln (0.8) &\Leftrightarrow - [\ln R(t)]^{1/\beta} = t / \eta \Rightarrow t = \eta [\ln (1/ R(t))]^{1/\beta} \\ T = 1600 (\ln (1/0.8))^{1/1} &\approx \mathbf{357 \text{ h.}} \end{aligned}$$

**IV.5.4.5 Chaudière 400T/h (770UE) :**

Pour l'amélioration de la fiabilité de Chaudière 400T/h (770UE) on a proposé Le Suivant :  
 $R(t)=80\%$   $\Rightarrow$  pour chercher le temps systématique

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

$$\begin{aligned} \ln R(t) = - (t - \gamma / \eta)^\beta = \ln (0.8) &\Leftrightarrow - [\ln R(t)]^{1/\beta} = t - \gamma / \eta \Rightarrow t = \eta [\ln(1/R(t))]^{1/\beta} + \gamma \\ T = 260 (\ln (1/0.8))^{1/0.6} + 516.11 &\approx \mathbf{538 \text{ h.}} \end{aligned}$$

**IV.5.4.6 Turbogénérateur (2070JA) :**

Pour l'amélioration de la fiabilité de Turbogénérateur (2070JA) on a proposé Le Suivant :  
 $R(t)=80\%$   $\Rightarrow$  pour chercher le temps systématique

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

$$\ln R(t) = - (t/\eta)^\beta = \ln (0.8) \Leftrightarrow - [\ln R(t)]^{1/\beta} = t / \eta \Rightarrow t = \eta [\ln(1/R(t))]^{1/\beta}$$

$$t = 1300 (\ln (1/0.8))^{1/1.8} \approx 565 \text{ h.}$$

#### IV.6. Conclusion

L'analyse de fiabilité menée sur ces composants vitaux sélectionnés par la loi de PARETO nous a permis de déterminer les paramètres de fiabilité ( $\gamma ; \eta ; \lambda$ ) de chaque composant et de faire un choix de la politique de la maintenance à appliquer. Dans notre cas il faut assurer une maintenance corrective pour éliminer toutes les causes spéciales et une maintenance préventive basée sur des contrôles et des inspections périodiques, avec un suivi rigoureux de ces composants sensibles qui peuvent provoquer l'arrêt des équipements et une perte de production importante et coûteuse au niveau de tous les ateliers de production,

# Conclusion générale



”

*« La vie est l'art de tirer des conclusions Suffisantes de prémisses insuffisantes »*

*- Samuel Butler -*

“



## Conclusion générale :

On conclut après cette recherche dans le cadre de la préparation de ce mémoire de master que l'évaluation de la fiabilité des équipements industriels est indispensable pour l'optimisation de leurs durées de vie en appliquant une politique de maintenance appropriée.

Dans notre travail, l'analyse de la fiabilité de la zone utilité du complexe GNL2-Z revêt une importance capitale dans le cadre de la maintenance industrielle. En commençant par une étude bibliographique, nous avons constaté que le calcul de la fiabilité contribue à la recherche de la stratégie de maintenance en adoptant les différentes formes, afin d'atteindre l'exploitation optimale des équipements. L'analyse qualitative de l'unité a permis de connaître les 20% d'équipements critiques qui présentent 80% de pannes en utilisant la loi de PARETO ensuite la décomposition de l'unité en sous-système et l'application de la loi Weibull pour ces équipements a montré l'importance de cette loi en identifiant l'évolution du taux d'avarie et de la fiabilité.

Parmi les difficultés que nous avons rencontrées lors de ce stage, nous pouvons mentionner la complexité du milieu professionnel ainsi que la non disponibilité des données pour le système étudié et la nécessité d'avoir des connaissances approfondies en maintenance car la maîtrise de cette loi n'est pas facile.

Enfin, l'application numérique a permis de concrétiser les analyses théoriques en des recommandations pratiques et spécifiques. Ces recommandations visent à améliorer la fiabilité de la zone utilité par le biais de la recherche de la fiabilité des sous-systèmes comme étant un seul système afin d'expertiser l'élément le plus dangereux et renforcer la fiabilité par l'ajout des éléments en série ou en parallèle et la recherche des coûts engendrés.

# Références



# Bibliographiques

”

*« J'ai vu plus loin que les autres parce que je me suis juché sur les épaules des géants »*

*- Isaac Newton -*

“



## Bibliographiques

- [1] [<http://www.sonatrach-dz.com/presentation.html>].
- [2] [**Kellogg, M.**, "Process unit book annex". Houston Company, Volume 42, Texas, USA, 1999]
- [3] [bas de donne du complexe gnl2z]
- [4] [Manuel opératoire des utilités, "Production de vapeur", Rapport interne du complexe GL2Z de Sonatrach, Numéro 2. 2, pages 54-92, 1978.].
- [5] [Manuel opératoire des utilités, "Stockage du GNL", Document interne du complexe GL2Z de Sonatrach, Numéro 2.5, pages 16-22, 1978.]
- [6] [**Roje, A., Durand, B., Jaffret, C., Jullian, S., Valais, M.**, "Le gaz naturel, production, traitement et transport ", pages 335- 344, 1980.]
- [7] [NF EN 13306 X 60-319, Maintenance - Terminologie de la maintenance, 2001].
- [8] [**Smith, A. M., & Hinchcliffe, G. R.** (2004). RCM : Gateway to World Class Maintenance. Elsevier Butterworth-Heinemann.].
- [9] [AFNOR, NF EN 13306, Maintenance - Terminologie de la maintenance, 2001]
- [10] [AFNOR, NF X60-010, Maintenance - Fonction maintenance : terminologie, 2002]
- [11] [**Mr. Nabti Mohamed Tahar** « Etude de l'évolution des indicateurs spectraux et cepstraux dans la détection des défauts mécaniques » Mémoire magister, université Farhat Abbas – Sétif]
- [12] [**Bellaouar.A, Beulmi.S.**, Cours Fiabilité, maintenabilité et disponibilité (FMD), Université Constantine1, 2014]
- [13] [**Benariba.H**, cours, fiabilité et maintenance des systèmes électroniques, Faculté de Technologie, Université Abou Bekr Belkaid – Tlemcen, 2021]
- [14] [**aillancourt, R. et Houasnia, A.** (2005). G2-PI-AF-101. Évaluation des caractéristiques de fiabilité d'un équipement ou d'une fonction.Hydra-Québec, Centrale nucléaire Gentilly 2]
- [15] [**Juran, J. M.** (1974). Quality Control Handbook. McGraw-Hill]
- [16] [**Kherbouche Amine et Boutalbi Mabrouk** « L'impact D'amélioration De La Fiabilité Sur La Durée De Vie D'une Machine Stratégique Dans un Appareil De Forage Pétrolier. Cas De (Top Drive 8050 AC-712) » mémoire fin d'étude Université Kasdi Merbah Ouargla]
- [17] [ **Jean Bufferne** « Fiabiliser les équipements industriels »édition Eyrolles, 2008 ]

# Annexe



”

*« Toutes choses sont bonnes ou  
mauvaises Par comparaison »*

*-Edgar Allan Poe -*

“



## ANNEXE

## ANNEXE 01 :

- Valeurs des coefficients A et B en fonction du paramètre de forme  $\beta$

$\beta$	A	B	$\beta$	A	B	$\beta$	A	B
0.20	120	1 901	1.50	0.9027	0.613	4	0.9064	0.254
0.25	24	199	1.55	0.8994	0.593	4.1	0.9077	0.249
0.30	9.2605	50.08	1.60	0.8966	0.574	4.2	0.9089	0.244
0.35	5.0291	19.98	1.65	0.8942	0.556	4.3	0.9102	0.239
0.40	3.3234	10.44	1.70	0.8922	0.540	4.4	0.9114	0.235
0.45	2.4786	6.46	1.75	0.8906	0.525	4.5	0.9126	0.230
0.50	2	4.47	1.80	0.8893	0.511	4.6	0.9137	0.226
0.55	1.7024	3.35	1.85	0.8882	0.498	4.7	0.9149	0.222
0.60	1.5046	2.65	1.90	0.8874	0.486	4.8	0.9160	0.218
0.65	1.3663	2.18	1.95	0.8867	0.474	4.9	0.9171	0.214
0.70	1.2638	1.85	2	0.8862	0.463	5	0.9182	0.210
0.75	1.1906	1.61	2.1	0.8857	0.443	5.1	0.9192	0.207
0.80	1.1330	1.43	2.2	0.8856	0.425	5.2	0.9202	0.203
0.85	1.0880	1.29	2.3	0.8859	0.409	5.3	0.9213	0.200
0.90	1.0522	1.17	2.4	0.8865	0.393	5.4	0.9222	0.197
0.95	1.0234	1.08	2.5	0.8873	0.380	5.5	0.9232	0.194
1	1	1	2.6	0.8882	0.367	5.6	0.9241	0.191
1.05	0.9803	0.934	2.7	0.8893	0.355	5.7	0.9251	0.188
1.10	0.9649	0.878	2.8	0.8905	0.344	5.8	0.9260	0.185
1.15	0.9517	0.830	2.9	0.8917	0.334	5.9	0.9269	0.183
1.20	0.9407	0.787	3	0.8930	0.325	6	0.9277	0.180
1.25	0.9314	0.750	3.1	0.8943	0.316	6.1	0.9286	0.177
1.30	0.9236	0.716	3.2	0.8957	0.307	6.2	0.9294	0.175
1.35	0.9170	0.687	3.3	0.8970	0.299	6.3	0.9302	0.172
1.40	0.9114	0.660	3.4	0.8984	0.292	6.4	0.9310	0.170
1.45	0.9067	0.635	3.5	0.8997	0.285	6.5	0.9318	0.168
			3.6	0.9011	0.278	6.6	0.9325	0.166
			3.7	0.9025	0.272	6.7	0.9333	0.163
			3.8	0.9038	0.266	6.8	0.9340	0.161
			3.9	0.9051	0.260	6.9	0.9347	0.160

## ANNEXE 02 :

- Historiques des pannes du Les équipements de la zone utilité du complexe GL2-Z

- Compresseurs d'air :

2020JA	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
NAC	0	0	0	0	0	0
HM	744	672	744	720	741	720
HAA	0	0	0	0	0	0
Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Annuel
0	0	1	0	0	0	1
744	706,18	654,13	744	720	744	8653,31
0	0	62,77	0	0	0	62,77

<b>2020JB</b>	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
NAC	0	0	0	1	0	0
HM	744	672	703,95	714,33	744	720
HAA	0	0	0	5,67	0	0
Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Annuel
5	1	1	0	0	1	9
472,08	526,06	706,25	321,41	0	266,93	6591,01
271,91	111,63	13,75	0	0	21,35	424,31

<b>2020JC</b>	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
NAC	0	0	0	1	0	3
HM	744	672	744	687,66	744	563,23
HAA	0	0	0	32,34	0	38,18
Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Annuel
6	2	0	0	0	0	12
573,11	727,006	720	744	720	744	8383,006
170,88	13,71	0	0	0	0	255,11

<b>2020JD</b>	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
NAC	1	1	0	1	1	2
HM	0	19,554	119,77	198,82	377,96	214,34
HAA	744	422,43	0	19,02	2,38	3,46
Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Annuel
6	3	0	0	0	0	15
445,65	378,4	29,48	744	720	744	3991,974
200,09	120,4	0	0	0	0	1511,78

- Turbogénérateurs :

<b>2070JA</b>	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
NAC	0	1	1	1	2	1
HM	744	665,98	720,33	611,87	371,34	689,17
HAA	0	6,02	23,67	108,13	372,66	7,86
Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Annuel
0	0	0	1	0	0	7
744	602,78	720	530,23	720	654,1	7773,8
0	0	0	213,77	0	0	732,11

<b>2070JB</b>	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
NAC	0	0	0	0	0	0
HM	744	672	743,57	720	732,43	611,65

HAA	0	0	0	0	0	0
<b>Juillet</b>	<b>Août</b>	<b>Septembre</b>	<b>Octobre</b>	<b>Novembre</b>	<b>Décembre</b>	<b>Annuel</b>
0	0	1	2	1	0	4
744	727,78	688,48	736,85	699,9	738,3	8558,96
0	0	31,52	7,15	20,1	0	58,77

<b>2070JC</b>	<b>Janvier</b>	<b>Février</b>	<b>Mars</b>	<b>Avril</b>	<b>Mai</b>	<b>Juin</b>
NAC	0	0	0	0	1	0
HM	716,67	672	741,25	720	674,58	720
HAA	0	0	0	0	0,2667	0
<b>Juillet</b>	<b>Août</b>	<b>Septembre</b>	<b>Octobre</b>	<b>Novembre</b>	<b>Décembre</b>	<b>Annuel</b>
0	0	0	0	0	0	1
744	705,95	643,98	742,42	671,25	713,02	8465,12
0	0	0	0	0	0	0,2667

- Chaudières :

<b>770UA</b>	<b>Janvier</b>	<b>Février</b>	<b>Mars</b>	<b>Avril</b>	<b>Mai</b>	<b>Juin</b>
NAC	0	0	0	0	0	0
HM	712,58	671,45	740,9	720	664,08	720
HAA	0	0	0	0	0	0
<b>Juillet</b>	<b>Août</b>	<b>Septembre</b>	<b>Octobre</b>	<b>Novembre</b>	<b>Décembre</b>	<b>Annuel</b>
0	0	1	1	0	0	2
744	705,95	635,7	743,35	664,28	714,67	8436,96
0	0	0,9	0,65	0	0	1,55

<b>770UB</b>	<b>Janvier</b>	<b>Février</b>	<b>Mars</b>	<b>Avril</b>	<b>Mai</b>	<b>Juin</b>
NAC	0	0	0	0	0	0
HM	537,5	602,9	744	720	627,48	720
HAA	0	0	0	0	0	0
<b>Juillet</b>	<b>Août</b>	<b>Septembre</b>	<b>Octobre</b>	<b>Novembre</b>	<b>Décembre</b>	<b>Annuel</b>
1	0	1	1	1	0	4
743,17	724,97	717,61	742,45	646,51	744	8270,59
0,83	0	0,97	1,55	0,32	0	3,67

<b>770UC</b>	<b>Janvier</b>	<b>Février</b>	<b>Mars</b>	<b>Avril</b>	<b>Mai</b>	<b>Juin</b>
NAC	0	0	0	0	1	0
HM	312,17	672	744	720	743,5	720
HAA	0	0	0	0	0,5	0
<b>Juillet</b>	<b>Août</b>	<b>Septembre</b>	<b>Octobre</b>	<b>Novembre</b>	<b>Décembre</b>	<b>Annuel</b>
0	0	0	0	0	0	1
744	722,63	719,4	744	669,43	744	8255,13
0	0	0	0	0	0	0,5

<b>770UD</b>	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
NAC	3	1	3	2	1	0
HM	732,37	670,31	725,98	651,2	635,58	720
HAA	7,66	1,69	2,8	68,8	1,17	0
Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Annuel
0	0	1	1	1	0	13
671,87	708,65	709,58	732,67	670,09	679,9	8308,2
0	0	10,42	0	0,73	0	93,27

<b>770UE</b>	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
NAC	0	0	0	2	1	2
HM	701,64	672	744	696,72	636,23	571,76
HAA	0	0	0	14,62	99,92	148,24
Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Annuel
0	2	3	1	2	2	15
744	581,95	548,56	707,77	674,4	651,8	7930,83
0	146,35	171,43	5,23	45,6	42,7	674,09

<b>770UF</b>	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
NAC	1	0	1	0	0	0
HM	730,333	672	737,85	710,37	744	720
HAA	1,1	0	6,15	0	0	0
Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Annuel
2	0	1	1	1	0	7
730,91	694,37	587,62	741,58	690,88	744	8503,913
13,08	0	1,98	2,42	29,12	0	53,85

- Sécheurs :

<b>2020LA</b>	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
NAC	0	0	0	0	1	0
HM	744	672	744	714,13	687,52	720
HAA	0	0	0	0	1,56	0
Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Annuel
2	0	0	0	0	0	3
740,83	552,8	0	744	204,08	744	7267,36
3,17	0	0	0	0	0	4,73

<b>2020LB</b>	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
NAC	0	0	0	0	0	1
HM	634,13	672	537,63	720	744	718,77
HAA	0	0	0	0	0	1,23

Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Annuel
0	0	0	0	0	1	2
720	744	720	0	720	301,7	7232,23
0	0	0	0	0	4,1	5,33

- Pompes eau de mer :

<b>2200JA</b>	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
NAC	2	0	0	0	0	0
HM	712,51	672	744	720	705,95	652,07
HAA	9,366	0	0	0	0	0
Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Annuel
0	1	1	4	1	2	11
744	688,233	646,5806	735,117	254,58	703,74	7978,7806
0	0,67	49,4	8,8833	465,42	2,78	536,5193

<b>2200JB</b>	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
NAC	0	0	0	0	0	0
HM	716,2	672	742,13	720	664,02	720
HAA	0	0	0	0	0	0
Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Annuel
0	0	1	0	0	0	1
744	705,93	636,58	744	664,28	714,9	8444,04
0	0	1,1833	0	0	0	1,1833

<b>2200JC</b>	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
NAC	0	0	0	0	0	0
HM	741,95	672	624,93	720	732,03	720
HAA	0	0	0	0	0	0
Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Annuel
1	0	0	0	0	0	1
735,33	705,92	650,85	744	641,37	688,27	8376,65
2,466	0	0	0	0	0	2,466

<b>2200JD</b>	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
NAC	0	1	0	0	0	1
HM	744	663,6	715,35	720	741,82	718,8
HAA	0	2,17	0	0	0	1,22
Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Annuel
0	0	0	1	0	0	3
744	740,63	80,42	531,75	720	744	7864,37
0	0	0	29,83	0	0	33,22

<b>2200JE</b>	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
NAC	1	0	0	0	0	0
HM	741,35	672	668,5	720	731,88	720
HAA	0,65	0	0	0	0	0
Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Annuel
0	0	0	0	0	0	1
738,53	705,9	652,05	744	641,18	688,4	8423,79
0	0	0	0	0	0	0,65

<b>2200JF</b>	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
NAC	0	0	0	0	1	0
HM	353,83	671,18	744	720	743,55	720
HAA	0	0	0	0	0,45	0
Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Annuel
0	0	0	0	0	0	1
741,57	722,93	719,52	744	667,2	744	8291,78
0	0	0	0	0	0	0,45

- Dessaleurs :

<b>2010LA</b>	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
NAC	0	2	0	0	0	0
HM	744	663,87	744	720	705,95	652,07
HAA	0	8,13	0	0	0	0
Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Annuel
0	1	1	2	2	2	10
744	688,233	646,5806	736,85	616,52	703,74	8365,8136
0	0,67	49,4	7,15	33,95	2,78	102,08

<b>2010LB</b>	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
NAC	0	0	0	3	0	0
HM	741,58	527,52	0	629,67	744	720
HAA	0	0	0	90,33	0	0
Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Annuel
1	0	0	2	0	0	6
709,57	465,95	0	552,88	441,1	744	6276,27
34,43	0	0	101,72	0	0	226,48

<b>2010LC</b>	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
NAC	2	1	1	1	0	0
HM	726,03	600,82	722,95	716,77	728,13	720

HAA	9,18	5,17	21,05	3,23	0	0
<b>Juillet</b>	<b>Août</b>	<b>Septembre</b>	<b>Octobre</b>	<b>Novembre</b>	<b>Décembre</b>	<b>Annuel</b>
2	1	0	0	2	0	10
726,08	742,77	0	539,32	717,37	736,8	7677,04
17,92	1,23	0	0	2,63	0	60,41

<b>2010LD</b>	<b>Janvier</b>	<b>Février</b>	<b>Mars</b>	<b>Avril</b>	<b>Mai</b>	<b>Juin</b>
NAC	0	0	0	0	2	0
HM	690,55	322,61	561,14	720	616,52	720
HAA	0	0	0	0	33,95	0
<b>Juillet</b>	<b>Août</b>	<b>Septembre</b>	<b>Octobre</b>	<b>Novembre</b>	<b>Décembre</b>	<b>Annuel</b>
0	1	0	0	0	0	3
744	743,83	695,13	493,15	527,37	744	7578,3
0	0,17	0	0	0	0	34,12

<b>2010LE</b>	<b>Janvier</b>	<b>Février</b>	<b>Mars</b>	<b>Avril</b>	<b>Mai</b>	<b>Juin</b>
NAC	2	2	0	0	0	0
HM	654,38	663,87	744	720	744	720
HAA	5,2	8,13	0	0	0	0
<b>Juillet</b>	<b>Août</b>	<b>Septembre</b>	<b>Octobre</b>	<b>Novembre</b>	<b>Décembre</b>	<b>Annuel</b>
0	0	1	2	1	0	8
744	727,78	688,48	736,85	699,9	738,3	8581,56
0	0	31,52	7,15	20,1	0	72,1

<b>2010LF</b>	<b>Janvier</b>	<b>Février</b>	<b>Mars</b>	<b>Avril</b>	<b>Mai</b>	<b>Juin</b>
NAC	2	3	0	3	2	1
HM	726,08	646,75	0	297,47	717,37	704,83
HAA	17,92	95,57	0	19,62	2,63	15,17
<b>Juillet</b>	<b>Août</b>	<b>Septembre</b>	<b>Octobre</b>	<b>Novembre</b>	<b>Décembre</b>	<b>Annuel</b>
0	1	0	0	0	0	12
744	665,98	654,1	720	744	744	7364,58
0	6,02	0	0	0	0	156,93