

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université 8 Mai 1945 – Guelma
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrotechnique et Automatique

Réf:...../2019



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER Académique**

Domaine: Sciences et Technologie

Filière: Electromécanique

Spécialité: Electromécanique

Par: MEHIMDAT Mohammed Salah
TOUATI Saif

Thème

**Analyse qualitative et quantitative des risques de défaillances
d'un système de compression de gaz à l'entreprise
SONATRACH-DP-TFT**

Soutenu publiquement, le 02/07 /2019, devant le jury composé de:

M. OULD LAHOUCINE Cherif	Professeur	Univ. Guelma	Président
M. DJEBALA Abderrazek	Professeur	Univ. Guelma	Encadreur
Mme. CHAABI Lilia	MAA	Univ. Guelma	Co-Encadreur
M. KRIBES Nabil	MCA	Univ. Guelma	Examineur

Année Universitaire: 2018/2019

Remerciements



En préambule à ce mémoire nous remercions « ALLAH » qui nous aide et nous donne la patience et le courage durant ces longues années d'études.

Nous souhaitons adresser nos remerciements les plus sincères aux personnes qui nous ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire, ainsi qu'à la réussite de cette formidable année universitaire.

Nous tenons à remercier sincèrement Professeur DJEBALA Abderrezak, qui, en tant qu'encadreur, s'est toujours montré à l'écoute et très disponible tout en long de la réalisation de ce mémoire, ainsi que pour l'inspiration, l'aide et le temps, qu'il a bien voulu nous consacrer et sans qui ce mémoire n'aurait jamais vu le jour.

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

Nos remerciements vont également au corps professoral et administratif du Département de Génie Electrotechnique et Automatique, pour la richesse et la qualité de leur enseignement et qui déploient de grands efforts pour assurer à leurs étudiants une formation actualisée.

Enfin, nous adressons nos plus sincères remerciements à tous nos proches et amis, qui nous ont toujours soutenue et encouragé au cours de la réalisation de ce mémoire.

Enfin Merci à tous et à toutes.

Résumé

L'objectif de ce mémoire est de réaliser une étude qualitative et quantitative des risques de défaillances d'un système industriel. Profitant d'un stage pratique à l'entreprise SONATRACH, le travail est donc une application pratique sur un système de compression de gaz.

Le mémoire comporte premièrement une étude de la fonction maintenance au sein de l'entreprise d'accueil par application d'une démarche connue sous le nom du questionnaire de Lavina. Les résultats de cette analyse ont permis de mettre en évidence les points forts, mais surtout faibles, de la politique de maintenance actuelle et de proposer des solutions d'amélioration.

En deuxième lieu une étude quantitative par analyse fiabiliste et une étude qualitative par plusieurs outils ont été réalisées et appliquées sur le système industriel choisi. Les résultats sont très fructueux pour mettre en évidence les défaillances du système et prévoir un plan de maintenance efficace.

Mots-clés : Analyse qualitative, Analyse quantitative, Questionnaire de Lavina, Analyse fiabiliste, APR, AMDEC, Arbre des défaillances

الهدف من هذه المذكرة هو إجراء دراسة نوعية وكمية لمخاطر فشل النظام الصناعي. الاستفادة من التدريب العملي في شركة سوناطراك, وبالتالي فإن العمل هو تطبيق عملي على نظام ضغط الغاز.

تتضمن المذكرة أولاً دراسة وظيفة الصيانة داخل الشركة المضيفة من خلال تطبيق إجراء يُعرف باسم استبيان لافينا, مكّنت نتائج هذا التحليل من تسليط الضوء على نقاط القوة في سياسة الصيانة الحالية واقتراح حلول التحسين ، ولكن قبل كل شيء نقاط الضعف.

ثانياً ، تم إجراء دراسة كمية عن طريق تحليل الموثوقية ودراسة نوعية من قبل العديد من الأدوات وتطبيقها على النظام الصناعي الذي تم اختياره. النتائج مثمرة للغاية لتسليط الضوء على فشل النظام والتخطيط ل خطة صيانة فعالة.

الكلمات المفتاحية: تحليل الموثوقية ، أبر ؛ التحليل النوعي ، التحليل الكمي ، استبيان لافينا ؛ أمداك ، شجرة الأعطاب

Abstract

The objective of this thesis is to carry out a qualitative and quantitative study of the risks of failures of an industrial system. Taking advantage of a practical internship at SONATRACH, the work is therefore a practical application on a gas compression system.

First, the thesis includes a study of the maintenance function within the host company by applying a procedure known as the Lavina questionnaire. The results of this analysis made it possible to highlight the strengths, but above all the weaknesses, of the current maintenance policy and to propose improvement solutions.

Second, a quantitative study by reliability analysis and a qualitative study by several tools were carried out and applied on the chosen industrial system. The results are very fruitful to highlight system failures and plan for an effective maintenance plan.

Keywords: Qualitative analysis, Quantitative analysis, Lavina questionnaire, Reliability analysis, APR, AMDEC, Failure tree

Liste des figures

Numéro de la figure	Titre	Numéro de la page
	Chapitre I	
01	Fonction de fiabilité et de défaillance.	10
02	Fonction de densité de probabilité de défaillance.	10
03	Courbe en baignoire.	11
04	Fonction de fiabilité.	12
05	Fonction de densité de probabilité de défaillance.	12
06	Ajustement du nuage de points par une droite.	14
07	Redressement dans le cas d'une courbe (ici $\gamma > 0$).	15
08	Hierarchisation des fonctions.	17
09	Exemple d'évènement intermédiaire.	19
10	Exemple d'évènement élémentaire.	20
11	Déroulement d'AMDEC.	24
	Chapitre II	
01	Position géographique du champ TFT	26
02	Organigramme de la division de production de la DP-TFT.	27
03	Organigramme de la division maintenance de la DP-TFT.	27
04	Organigramme du service turbomachines.	29
05	Schéma de réseau de collectes gaz TFT.	30
06	Schéma simplifié de l'UTGA.	33
07	Processus du diagnostic de la maintenance.	34
08	Digramme de Kiviat montrant la situation actuelle et celle souhaitée.	51
	Chapitre III	
01	Schéma simplifié du train de compression.	53
02	Les trois compresseurs en série plus la turbine.	57
03	La turbine.	57

Liste des figures

04	Compresseur BCL.	58
05	BCL406.	58
06	L'accouplement entre les deux compresseurs.	58
07	Représentation des TBF sur le papier de Weibull.	60
08	Fonction de défaillance $F(t)$.	61
09	Fonction de fiabilité $R(t)$.	62
10	Densité de probabilité de défaillance $f(t)$.	63
11	Taux de défaillance $\lambda(t)$.	63
12	Représentation des TBF sur le papier de Weibull.	65
13	Fonction de défaillance $F(t)$.	65
14	Fonction de fiabilité $R(t)$.	66
15	Densité de probabilité de défaillance $f(t)$.	67
16	Taux de défaillance $\lambda(t)$.	67
17	Représentation des TBF sur le papier de Weibull.	68
18	Fonction de défaillance $F(t)$.	69
19	Fonction de fiabilité $R(t)$.	70
20	Densité de probabilité de défaillance $f(t)$.	70
21	Taux de défaillance $\lambda(t)$.	71
22	Représentation des TBF sur le papier de Weibull.	73
23	Fonction de défaillance $F(t)$.	73
24	Fonction de fiabilité $R(t)$.	74
25	Densité de probabilité de défaillance $f(t)$.	74
26	Taux de défaillance $\lambda(t)$.	75
27	Représentation des TBF sur le papier de Weibull.	76
28	Fonction de défaillance $F(t)$.	77
29	Fonction de fiabilité $R(t)$.	77
30	Densité de probabilité de défaillance $f(t)$.	78
31	Taux de défaillance $\lambda(t)$.	78
32	Représentation des TBF sur le papier de Weibull.	81
33	Fonction de défaillance $F(t)$.	81

Liste des figures

34	Fonction de fiabilité $R(t)$.	82
35	Densité de probabilité de défaillance $f(t)$.	82
36	Taux de défaillance $\lambda(t)$.	83
37	Représentation des TBF sur le papier de Weibull.	84
38	Fonction de défaillance $F(t)$.	85
39	Fonction de fiabilité $R(t)$.	85
40	Densité de probabilité de défaillance $f(t)$.	86
41	Taux de défaillance $\lambda(t)$.	86
42	Représentation des TBF sur le papier de Weibull.	88
43	Fonction de défaillance $F(t)$.	88
44	Fonction de fiabilité $R(t)$.	89
45	Densité de probabilité de défaillance $f(t)$.	89
46	Taux de défaillance $\lambda(t)$.	90
47	Schéma bloc d'un système série.	91
48	Système parallèle à 2 et n éléments.	92
49	Schéma bloc d'un système à redondance passive à 2 et n éléments.	93
	Chapitre IV	
01	Photo de compresseur	98
02	Schéma technique de compresseur	98
03	Analyse fonctionnelle du compresseur	99
04	Arbre de défaillance du mode « Vibrations ou bruits anormaux »	104
05	Arbre de défaillance du mode « Endommagement des paliers porteurs »	105
06	Arbre de défaillance du mode « Endommagement des paliers de butées »	106
07	Arbre de défaillance du mode « Endommagement des bagues d'étanchéité »	107

Liste des tableaux

Numéro du tableau	Titre	Numéro de la page
	Chapitre I	
01	Symboles des événements.	20
02	Portes de logiques.	21
	Chapitre II	
01	Abréviations et désignations.	32
02	Exemple d'une grille du questionnaire de LAVI NA avec notation.	36
03	Résultats du questionnaire de LAVINA réalisé à l'entreprise SONATRACH-DP-TFT.	49
04	Propositions d'amélioration.	50
	Chapitre IV	
01	Analyse cause à effet du compresseur BCL 406	102
02	Analyse préliminaire des risques du compresseur BCL406	103
03	Modes de défaillances	109
04	Actions correctives à engager	114

Sommaire

INTRODUCTION	01
Chapitre I : Notions Fondamentales	
I.1. La Maintenance	02
I.1.1. Définition	02
I.1.2. Objectifs de la maintenance	02
I.1.3. Types de maintenance	03
I.1.4. Niveaux de maintenance	04
I.2. L'analyse des risques	05
I.2.1. Définition de l'analyse des risques	05
I.2.2. La formalisation des étapes de l'analyse des risques	05
I.2.3. Classification du risque	06
I.3. Analyse quantitative du risque	07
I.3.1. Analyse de la fiabilité des équipements	08
I.3.1.1. Définition	08
I.3.1.2. Expressions mathématiques de la fiabilité	08
I.3.1.3. Modèles de fiabilité	10
I.4. Analyse qualitative du risque	15
I.4.1. Principe de l'analyse qualitative	15
I.4.2. Analyse fonctionnelle	16
I.4.3. Analyse qualitative du risque : Arbres de défaillances	18
I.4.4. Analyse des Modes de Défaillances de leurs Effets et de leur Criticité (AMDEC)	21
Chapitre II : Présentation De L'entreprise D'accueil Et Etude Critique De La Politique De Maintenance Existante	
II.1. Présentation de l'organisme de SONATRACH	27
II.1.1. Introduction	27
II.1.2. Présentation de la région de TFT	27
II.2. Etude critique de la politique de maintenance existante (méthode de Lavina)	36

Sommaire

II.2.1. Introduction	36
II.2.2. Présentation de la démarche LAVINA	36
II.2.3. Le déroulement du diagnostic	37
II.3. Application de la méthode de Lavina à l'entreprise SONATRACH-DP-TFT	39
II.3.1. Résultats du diagnostic	51
II.3.2. Critique et propositions	52
II.4. Conclusion du chapitre	53
Chapitre III : Analyse Quantitative Par Eude Fiabiliste	
III.1. Présentation du système étudié	54
III.1.1. Eléments constitutifs du train de compression	54
III.1.2. Fiche technique de la turbine et des compresseurs	56
III.2. Analyse fiabiliste du système	60
III.2.1. Présentation du logiciel FAIBOPTIM	60
III.2.2. Présentations des données et des résultats obtenus	61
III.2.3. Récapitulation des résultats de l'étude de fiabilité des huit machines des deux trains du système	88
III.2.4. Calcul de la fiabilité du système entier par application de la technique des redondances	89
III.3. Conclusion du chapitre	94
Chapitre IV : Etude Qualitative	
IV.1. Analyse fonctionnelle du compresseur bcl 406	95
IV.2. Cause à effet de compresseur bcl 406	97
IV.3. Analyse Prée liminaire des Risque	99
IV.3.1. Analyse fonctionnel de système complet (compresseur bcl 406)	99
IV.3.2. Méthode APR de compresseur	100
IV.4. Arber de défaillance	101
IV.5. Exemple d'analyse AMDEC	105
IV.5.1. Application de la méthode AMDEC au turbo compresseur 103J	105
IV.5.2. Analyse des modes de défaillances	106

Sommaire

IV.5.3. Tableau de classification des éléments par leurs criticités	111
IV.6. Maintenance appliquée au compresseur BCL406	111
IV.7. Conclusion du chapitre	116
CONCLUSION GENERALE	117
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	118

Introduction

La maintenance est d'une importance capitale dans le domaine industriel, elle n'a plus comme seul objectif de réparer l'équipement mais de prévoir son dysfonctionnement. Au fil de ces changements, la fonction maintenance a évolué pour combiner techniques gestionnaires et relationnelles.

Les entreprises industrielles exigent l'amélioration de la production qualitativement et quantitativement en assurant la sûreté de fonctionnement des dispositifs de fabrication. D'une autre part, dans le secteur industriel, les concepteurs pensent toujours à construire des systèmes fiables de très hautes performances, en cherchant des solutions techniques afin d'augmenter la disponibilité et la fiabilité des équipements de production.

C'est dans cet esprit que s'inscrit ce mémoire. En effet l'objectif principal du travail réalisé est d'entamer une analyse quantitative et qualitative des risques de défaillances d'une installation industrielle d'une très grande importance dans la plus grande entreprise d'Algérie. Le travail combine plusieurs outils d'analyse qui permettent d'évaluer plusieurs paramètres visant à optimiser sa sûreté de fonctionnement.

Le mémoire est donc organisé comme suit : le premier chapitre présente des notions de base de la maintenance et de l'analyse des risques (quantitative et qualitative). Le deuxième chapitre contient une présentation de l'entreprise d'accueil et une étude critique de la politique de maintenance existante par application de la méthode de Lavina. Le troisième chapitre comprend une analyse quantitative des défaillances d'un train de compression composé de huit machines par une étude fiabiliste. Le quatrième chapitre est consacré à une analyse qualitative en combinant plusieurs méthodes : l'analyse fonctionnelle, l'analyse préliminaire des risques, l'analyse AMDEC et les arbres de défaillances.

Notons que le travail réalisé dans ce mémoire est complètement pratique, issu de données personnelles collectées et d'analyses et d'enquêtes que nous avons réalisées durant un stage d'un mois dans l'entreprise.

Chapitre 01 : NOTIONS FONDAMENTALES.



CHAPITRE I: NOTIONS FONDAMENTALES

Introduction

L'objectif de ce chapitre est de présenter les fondements de base et les notions fondamentales très utiles pour comprendre les différentes analyses utilisées dans ce mémoire. Le chapitre comprend donc trois parties principales : la première partie concerne les notions de base de la maintenance. La deuxième partie porte sur la présentation de l'analyse fiabiliste en tant qu'outil principal de l'étude quantitative des défaillances. Deux modèles de fiabilité sont explicitement présentés. La troisième partie concerne l'étude qualitative des défaillances, pour cela plusieurs approches ont été présentées : l'analyse fonctionnelle, l'analyse AMDEC et les arbres de défaillance.

1. La maintenance

1.1. Définition

D'après la norme AFNOR : « la maintenance est l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé. Maintenir c'est donc effectuer des opérations diverses (Dépannage, graissage, visite, réparation, amélioration...) qui permettent de conserver le potentiel du matériel pour assurer la continuité et la qualité de production. Bien maintenir, c'est assurer ces opérations ou cout global optimum ». [1]

1.2. Objectifs de la maintenance

C'est la nature de l'entreprise qui dicte les objectifs du service de maintenance à parier de la prise en compte trois objectifs essentiels [1] :

1.2.1. Objectifs techniques

- ❖ Maintenir l'équipement :
 - Dans les meilleures conditions possibles ;
 - Dans un état acceptable ;
- ❖ Assurer la disponibilité maximale des installations et des équipements à un prix rationnel ;
- ❖ Fournir un service qui élimine les pannes à tout moment et à tout prix ;
- ❖ Pousser à la dernière limite la durée de vie de l'installation (notion de durabilité) ;
- ❖ Assurer une performance de haute qualité ;
- ❖ Maintenir une installation d'une propreté absolue à tout moment.

1.2.2. Objectifs économiques (financiers)

- ❖ Réduire au minimum les dépenses de maintenance et maximiser les profits ;
- ❖ Assurer le service de maintenance dans les limites d'un budget ;
- ❖ Avoir des dépenses de maintenance portant sur le service exigé par l'installation et l'appareillage en fonction de son âge et de taux d'utilisation.

1.2.3. Objectifs humains et écologique

- ❖ Réduire les accidents de fonctionnement (notion de sécurité) et améliorer les conditions de travail ;
- ❖ Etudier toute modification, protection, à effectuer sur les matériels pour diminuer les risques d'accidents ;
- ❖ Lutter contre la nuisance et préserver l'environnement (fuites d'huile, bruits.....).

1.3. Types de maintenance

Il y'a deux types de maintenance :

- ❖ Preventive ;
- ❖ Corrective ;

1.3.1. Maintenance préventive

Selon l'AFNOR « La maintenance préventive est une maintenance ayant pour objet de réduire la probabilité de défaillance ou de dégradation d'un bien ». IL y a trois types de maintenance preventive: [1]

A. Maintenance préventive systématique

Selon l'AFNOR : « Maintenance effectuée selon un échéancier établi selon le temps ou un nombre prédéterminé d'unités d'usage ».

B. Maintenance préventive conditionnelle

Selon L'AFNOR : « Maintenance préventive subordonnée à un type d'évènement prédéterminé ». Ces indicateurs sont généralement la vibration, pression, bruit, température...etc.

C. Maintenance préventive prévisionnelle

Selon L'AFNOR : « Maintenance exécutée en suivant les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évaluation de paramètres significatifs de la dégradation du bien ».

1.3.2. Maintenance corrective

Selon L'AFNOR « Ensemble des activités réalisées après la défaillance d'un bien ou la dégradation de sa fonction pour lui permettre d'accomplir une fonction requise, au moins provisoirement, ces activités comportent notamment la localisation de la défaillance et son diagnostic, la remise en état avec ou sans modification, le contrôle du bon fonctionnement ». Il existe deux types de maintenance corrective: [1]

A. Maintenance palliative (dépannage)

C'est une remise en état de fonctionnement effectuée in-situ parfois sans interruption du fonctionnement de l'ensemble concerné. Elle a un caractère « provisoire » et doit être suivie par une action corrective durable.

B. Maintenance curative

Il s'agit de réparations faites sur place ou en atelier central parfois après dépannage, ce type de maintenance a un caractère définitif.

1.4. Niveaux de maintenance

Vu la diversité des opérations de maintenance, leur classement par ordre de complexité s'avère nécessaire. D'après la NF X60-011, il y'a cinq niveaux de maintenance :

Niveau 1 : Réglages simples prévus par le constructeur au moyen d'organes accessibles sans aucun démontage d'équipements, ou échange d'éléments accessibles en toute sécurité.

Niveau 2 : Dépannages par échange standard d'éléments prévus à cet effet, ou d'opérations mineurs de maintenance préventive (rondes).

Niveau 3 : Identification et diagnostic des pannes, réparations par échange de composants fonctionnels, réparations mécaniques mineurs.

Niveau 4 : Travaux importants de maintenance corrective ou préventive.

Niveau 5 : Travaux de rénovation, de reconstruction ou de réparations importantes confiées à un atelier central.

2. L'analyse des risques

2.1. Définition de l'analyse des risques

L'analyse des risques consiste à identifier et à comprendre les mécanismes conduisant à la concrétisation d'un (des) risques potentiels dans le but de réduire leur probabilité d'occurrence et / ou leur gravité. Cette étude doit aboutir à la mise en place de mesures permettant de réduire leur apparition ou leurs conséquences sur l'homme au travail, les matériels de production, les produits, les populations extérieures à notre domaine d'étude ainsi que les écosystèmes pour tendre le plus possible à une maîtrise des risques. [2]

2.2. La formalisation des étapes de l'analyse des risques

A priori toutes les analyses des risques visent à identifier les risques présentés par un système en vue de pouvoir ensuite agir pour en réduire la gravité et la probabilité. Ces objectifs se traduisent dans les méthodes d'analyse de risques par des étapes plus ou moins formalisées visant à : [2]

- 1- la définition du système auquel la méthode va être appliquée ;
- 2- l'identification des risques ;
- 3- l'identification des mécanismes générateurs de risques ;
- 4- l'évaluation des scénarios de réalisation de ces risques ;
- 5- la hiérarchisation de ces mêmes scénarios ;
- 6- l'identification des solutions.

2.3. Classification du risque

Nous proposons de garder les qualificatifs de la norme NF EN 50126, tout en les répartissant sur 3 classes distinctes : « risque maîtrisé » regroupant le risque négligeable et le risque acceptable, «risque maîtrisable» regroupant le risque indésirable non résiduel et enfin «risque non maîtrisable» regroupant le risque résiduel et le risque inacceptable. [3]

2.3.1. Risques maîtrisés

Risque négligeable : Le risque négligeable fait référence à un niveau de risque dont l'occurrence est de l'ordre de 1 par million et par année et au-dessous, et dont la possibilité de réalisation n'affecte pas la vie courante.

Risque acceptable : Un risque perçu comme insignifiant peut facilement être accepté. En d'autres termes, un accident potentiel caractérisé par une faible probabilité d'occurrence, peut facilement être accepté. En effet, nous continuons à prendre le train malgré les accidents possibles parce que la probabilité d'un déraillement ou d'une collision catastrophique est extrêmement faible.

2.3.2. Risques maitrisables

Risque tolérable : Le risque toléré traduit, à l'effet d'en retirer certains bienfaits, la volonté de vivre avec les risques que l'on saurait ni ignorer, ni considérer comme négligeables, mais avec la confiance qu'ils sont correctement maîtrisés.

Risque indésirable : Un risque indésirable est un risque qui peut être toléré moyennant des mesures appropriées de contrôle et de suivi.

2.3.3. Risques non maitrisables

Risque résiduel : Risque qui subsiste après avoir appliqué des mesures de réduction.

Risque qui subsiste après avoir appliqué toutes les mesures de réduction disponibles.

Risque inacceptable Proposition : Un risque inacceptable est un risque résiduel non toléré.

3. Analyse quantitative du risque

L'analyse quantitative a pour but d'évaluer la sûreté de fonctionnement et de sécurité. Cette évaluation peut se faire par des calculs de défaillance, ou de la probabilité d'occurrence d'un événement redouté ou bien par recours aux modèles différentiels probabilistes tels que les chaînes de Markov, les réseaux de Pétri, les automates d'états finis, etc. L'analyse quantitative a de nombreux avantages : [3]

- Evaluer la probabilité des composantes de la sûreté de fonctionnement ;
- Fixer des objectifs de sécurité ;
- Juger l'acceptabilité des risques en intégrant les notions de périodicité des contrôles, la durée des situations dangereuses, la nature d'exposition, etc. ;
- Apporter une aide précieuse pour mieux juger du besoin d'améliorer la sécurité ;
- Hiérarchiser les risques ;
- Comparer et ordonner les actions à entreprendre en engageant d'abord celles permettant de réduire significativement les risques ;

- Chercher de meilleures coordinations et concertations en matière de sécurité entre différents opérateurs (sous-systèmes interagissant) ou équipes (exploitation, maintenance, etc.).

Cependant l'analyse quantitative a aussi des inconvénients :

- Elle présente un certain investissement en temps, en efforts et également en moyens (logiciels, matériels, financiers, etc.) ;
- Il peut s'avérer que cet investissement soit disproportionné par rapport à l'utilité des résultats attendus, le cas échéant l'analyse quantitative est court-circuitée pour laisser la place aux approximations qualitatives (statistiques, retour d'expérience, jugement d'expert, etc.) ;
- Les résultats de l'analyse quantitative ne sont pas des mesures absolues, mais plutôt des moyens indispensables d'aide au choix des actions pour la maîtrise des risques.

3.1. Analyse de la fiabilité des équipements

3.1.1. Définition

D'après la norme AFNOR X 60-010 : «La fiabilité est l'aptitude d'un dispositif à accomplir une fonction requise dans des conditions d'utilisation et pour un intervalle de temps donnés ». Le terme de fiabilité est utilisé comme une caractéristique indiquant une probabilité ou une proportion de succès. Autrement dit, est considéré comme fiable un système dont la probabilité de connaître une défaillance est faible. Le nombre de défaillances par unité de temps ou d'usage est donc le critère d'évaluation de la fiabilité. [4]

3.1.2. Expressions mathématiques de la fiabilité

Un dispositif, mis en service pour la première fois, tombera inévitablement en panne à un instant T , non connu à priori. T est une variable aléatoire de la fonction de réparation $F(t)$. [4], [5].

- ❖ $F(t_i)$ est la probabilité pour que le dispositif soit en panne à l'instant t_i :

$$F(t_i) = \text{prob}(T < t_i)$$

- ❖ $R(t_i)$ est la probabilité de bon fonctionnement à l'instant t_i :

$$R(t_i) = \text{prob}(T > t_i)$$

$$\text{Donc : } F(t_i) + R(t_i) = \int_0^{t_i} f(t_i) \cdot dt + \int_{t_i}^{\infty} f(t_i) \cdot dt = 1$$

Par hypothèse on dit que :

$$\lambda(t) \cdot dt = \frac{F(t+dt) - F(t)}{R(t)} = \frac{dF(t)}{1 - F(t)}$$

On intègre les deux membres de l'expression, avec la condition initiale : $F(t=0) = 0$. Ce qui donne:

$$\begin{aligned} \int_0^t \lambda(t) \cdot dt &= \int_0^t \frac{dF(t)}{1 - F(t)} \Rightarrow -\int_0^t \lambda(t) \cdot dt = -\int_0^t \frac{dF(t)}{1 - F(t)} \\ &\Rightarrow -\int_0^t \lambda(t) \cdot dt = [\ln(1 - F(t))]_0^t \\ &\Rightarrow -\int_0^t \lambda(t) \cdot dt = \ln(1 - F(t)) \\ &\Rightarrow -e^{\int_0^t \lambda(t) \cdot dt} = 1 - F(t) \end{aligned}$$

Finalement, on obtient les trois lois fondamentales liées à la fiabilité :

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) \cdot dt}$$

$$F(t) = 1 - R(t) = 1 - e^{-\int_0^t \lambda(t) \cdot dt}$$

$$f(t) = \lambda(t) \cdot R(t) = \lambda(t) \cdot e^{-\int_0^t \lambda(t) \cdot dt}$$

Sachant que: $f(t) = \lambda(t) \cdot R(t) \Rightarrow \lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)}$

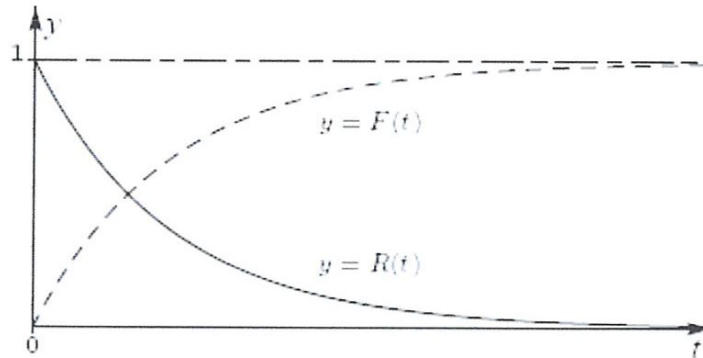


Figure I.1. Fonction de fiabilité et de défaillance

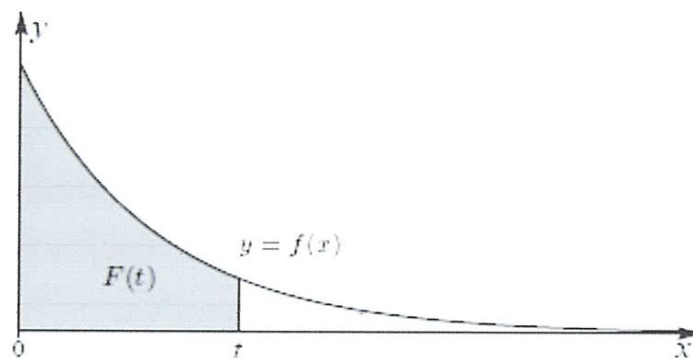


Figure I.2. Fonction de densité de probabilité de défaillance

La Moyenne des temps de bon fonctionnement (MTBF) : C'est la moyenne de la variable aléatoire T définie au départ. Elle représente l'espérance de vie du dispositif.

$$MTBF = E(t) = \int_0^{+\infty} t \cdot f(t) \cdot dt = \int_0^{\infty} R(t) \cdot dt$$

Pour évaluer la fiabilité, il est donc nécessaire de recourir à certains outils mathématiques de calcul de probabilité. Dans notre cas, on se limitera à l'utilisation de deux modèles uniquement (le modèle exponentiel et le modèle de Weibull). Pour cela, on adopte des formules d'approximations qui sont valables pour les deux modèles étudiés.

3.1.3. Modèles de fiabilité

3.1.3.1. Modèle exponentiel

Ce modèle est particulièrement bien adapté lorsque le taux de défaillance est constant (Pour tout $t \geq 0$, on a : $\lambda(t) = \lambda$ constante réelle strictement positive). De ce fait, on l'emploie dans le cas de matériels électriques ou électroniques et pour les systèmes mécaniques lors de leur période de maturité (Fig. I.3).

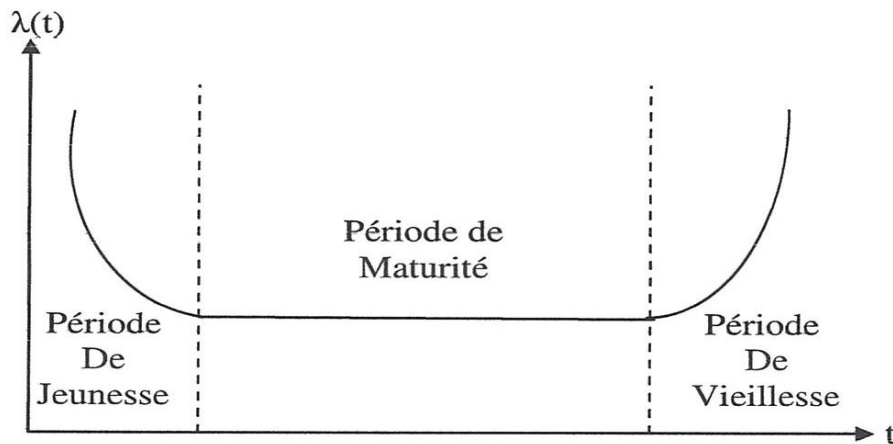


Figure I.3. Courbe en baignoire

Pour tout $t \geq 0$, on a :

- Fonction de fiabilité (Fig. I.4) : $R(t) = e^{-\lambda t}$
- Fonction de défaillance : $F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$
- Densité de probabilité (Fig. I.5) : $f(t) = \lambda(t) \cdot R(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda t}$
- Taux de défaillance : $\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\lambda \cdot e^{-\lambda t}}{e^{-\lambda t}} = \lambda$
- L'espérance mathématique : $E(T) = MTBF = \frac{1}{\lambda}$

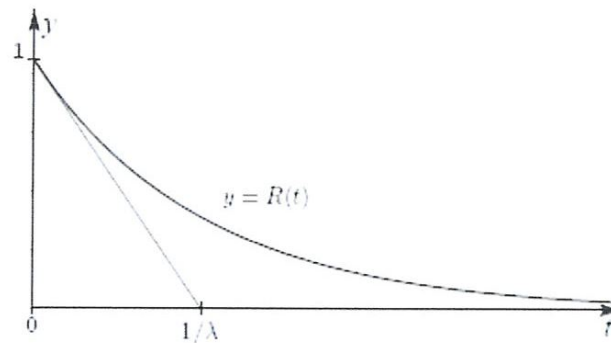


Figure I.4. Fonction de fiabilité

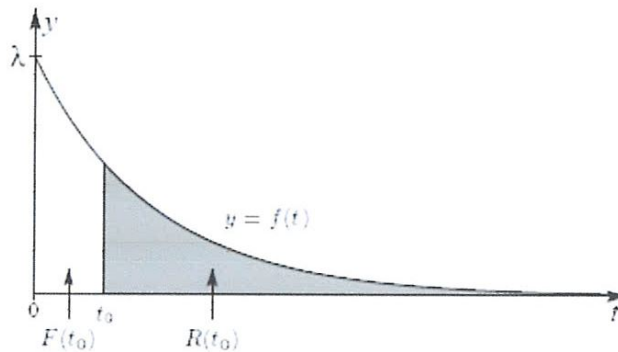


Figure I.5. Fonction de densité de probabilité de défaillance

3.1.3.2. Modèle de Weibull

Ce modèle a été proposé par Weibull un mathématicien suédois. Contrairement au modèle exponentiel, ce modèle peut s'adapter à toutes les périodes de vie des matériels. Ceci le rend le modèle le plus utilisé en fiabilité. [3]

- Fonction de fiabilité : $R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$
- Fonction de défaillance : $F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$
- Densité de probabilité : $f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$

- Taux de défaillance : $\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta - 1}$

β , γ , η sont appelés paramètres de Weibull, ils sont déterminés graphiquement par le papier de Weibull ou bien analytiquement. Il existe également des logiciels qui permettent d'étudier la fiabilité par plusieurs modèles en un temps record.

- **Détermination des paramètres du modèle de Weibull**

L'historique d'un dispositif permet de calculer les temps de bon fonctionnement (TBF), ou les durées de vie de composants, donc des fréquences cumulées de défaillances (déterminées précédemment) notées $F(i)$, approximation de $F(t)$ fonction de répartition. La méthode graphique (la plus utilisée) nécessite l'emploi d'un papier millimétré log-log spécial (**papier d'Allan Plait**) comportant 4 axes (Fig. I.6) : [4], [5], [6]

- Sur A, on trouve t ;
- Sur B, on trouve $F(t)$ en % ;
- Sur a, on trouve $\ln t$;
- Sur b, on trouve $\ln \ln \frac{1}{1 - F(t)}$.

Il est muni également d'un référentiel secondaire permettant de déterminer β par : $Y = \beta.X$. Le nuage de points formé par le report des points $M (F(i) ; t)$ du tableau de préparation des données en fonction de l'importance de l'échantillon doit ensuite être ajusté, soit par une droite soit par une courbe, passant au mieux de chacun des points formant le nuage.

- Recherche de η : La droite (D_1) de régression linéaire coupe l'axe A à l'abscisse $t = \eta$. Le point d'intersection entre (D_1) et l'axe A donne directement la valeur de η (l'unité de η est l'unité de temps).
- Recherche de β : β est la pente de la droite (D_1). Pour obtenir sa valeur, nous traçons la droite (D_2) parallèle à (D_1), et passant par l'origine du repère (X, Y) au point $t = \eta = 1$. On lit ensuite la valeur de β sur l'axe b (β est un paramètre sans dimension).

Dans le cas où l'ajustement se fait par une **droite** (ou plusieurs) on en déduit que γ est égal à 0. La figure (I.6) montre l'ajustement de la loi de Weibull dans le cas où le nuage de points met en évidence une droite.

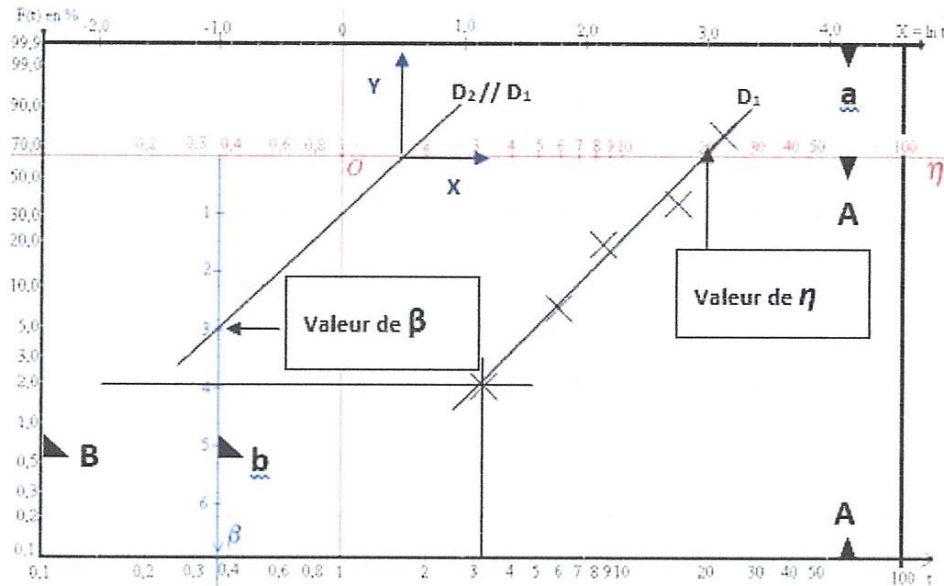


Figure I.6. Ajustement du nuage de points par une droite

Dans le cas où l'ajustement se fait par une droite (ou plusieurs) on en déduit que γ est égal à 0. Si cela n'est pas possible, à moins d'admettre un mauvais indice de corrélation, lorsque le nuage fait apparaître un cintrage ajustable uniquement par une courbe, deux cas sont possibles :

- Soit la courbe est convexe et $\gamma > 0$;
- Soit la courbe est concave et $\gamma < 0$.

Il est alors nécessaire d'effectuer un redressement de la courbe jusqu'à obtenir une droite. Cela se fait en retranchant ou en ajoutant (selon son signe), à la valeur d'abscisse de tous les points M (F(i) ; t), la valeur de γ obtenue par la relation suivante :

$$\gamma = \frac{t_2^2 - (t_1 \times t_3)}{2t_2 - (t_1 + t_3)}$$

Les points t1, t2 et t3 sont déterminés graphiquement (figure I.7).

Sur la courbe maintenant ajustée au nuage de points, il faut placer deux points A1 et A3 non extérieurs au nuage. A2 doit ensuite être trouvé sur la courbe de manière à ce que sur l'axe F(t)% les distances (Δ) [A1 – A2] et [A2 – A3] soient égales. Si la courbe est convexe, donc $\gamma > 0$ et il existe une période sans défaillance. A l'inverse, si la courbe est concave, $\gamma < 0$, et des défaillances sont apparues avant le début de l'historique. Le point d'intersection de la droite (D1), maintenant tracée à partir des valeurs $F(i) - \gamma$, et de l'axe η donne la valeur du paramètre η . De même, β est la pente de la droite (D2 // D1) passant par l'origine du repère (X, Y) et qui coupe l'axe b en un point égale à β .

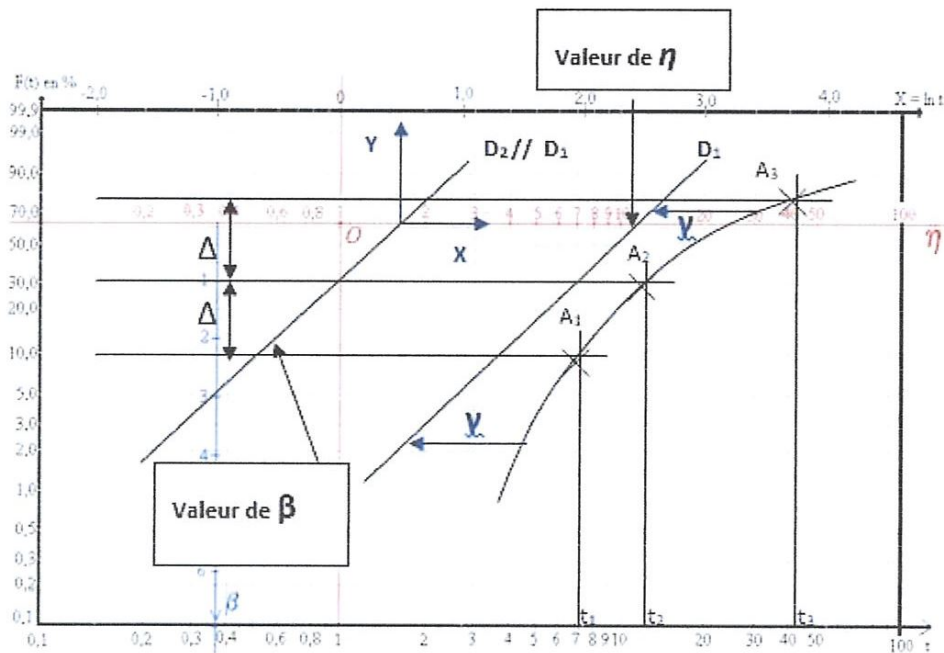


Figure I.7. Redressement dans le cas d'une courbe (ici $\gamma > 0$)

4. Analyse qualitative du risque

4.1. Principe de l'analyse qualitative

Elle utilise des grilles d'analyse du risque. Ces listes non exhaustives servent d'aide-mémoire et aident le responsable à passer en revue les causes connues de dysfonctionnement. Cette base de diagnostic peut bien sûr s'enrichir au fur et à mesure que l'expérience est capitalisée et/ou que des situations inconnues apparaissent. Il est

important que les responsables aient conscience des potentialités de risques qui demeurent actives. La grille permet de s'assurer d'une maîtrise suffisante des événements. Elle distingue les risques encourus en phase d'élaboration du projet de ceux encourus en phase d'exécution. L'enjeu consiste à trouver un compromis entre l'augmentation du niveau d'information du responsable, l'externalisation des risques et l'organisation de la réactivité. [3]. L'analyse fonctionnelle, l'arbre de défaillance, L'APR, l'AMDEC, sont les méthodes qualitatives les plus utilisées actuellement. L'application des méthodes d'analyse fait systématiquement appel aux raisonnements par induction et par déduction. La plupart des méthodes revêtent un caractère inductif allant des causes aux conséquences éventuelles. En contrepartie, il existe quelques méthodes déductives qui ont pour but de chercher les combinaisons de causes conduisant à des événements redoutés. [3]

4.2. Analyse fonctionnelle

D'après la norme AFNOR NF X 50-151, « l'analyse fonctionnelle est une démarche qui a pour but rechercher, ordonner, caractériser les fonctions selon des critères d'appréciation, des niveaux et de flexibilité, hiérarchiser et/ou valoriser les fonctions en attribuant un poids en valeur relative ou absolue ». [7].

4.2.1. Méthodologie

L'analyse fonctionnelle s'effectue en quatre étapes : [7]

- 1- Recenser les fonctions;
- 2- Ordonner les fonctions;
- 3- Caractériser et quantifier les fonctions;
- 4- Hiérarchiser les fonctions.

4.2.1.1. Recenser les fonctions

La recherche des fonctions s'effectue en étudiant la relation du système avec son environnement .chaque fonction devra être exprimée en termes de finalité et être formulée par un verbe à l'infinitif suivi d'un ou plusieurs compléments.

4.2.1.2. Ordonner la fonction

Il est important d'ordonner les fonctions identifiées précédemment par un arbre fonctionnel qui établit la décomposition logique du système.

4.2.1.3. Caractériser quantitativement les fonctions

Une fois les fonctions sont identifiées, il faut définir les critères qui nous permettront d'effectuer la caractérisation des fonctions, cela consiste à énoncer pour chaque fonction de service :

- Les critères d'appréciation ;
- Les niveaux de chaque critère ;
- La flexibilité de chaque niveau.

4.2.1.4. Caractériser quantitativement les fonctions

Il faut pouvoir indiquer aux futurs prestataires, le service essentiel sur lequel il faudra concentrer leurs savoir-faire. Pour cela, il est possible de hiérarchiser la fonction soit en associant directement un coefficient à chacune, soit en comparant chaque fonction à toutes les autres en jugeant si elle est « plus importante ou « moins importante ». La figure (I-8) montre la démarche de la hiérarchisation des fonctions. [7]

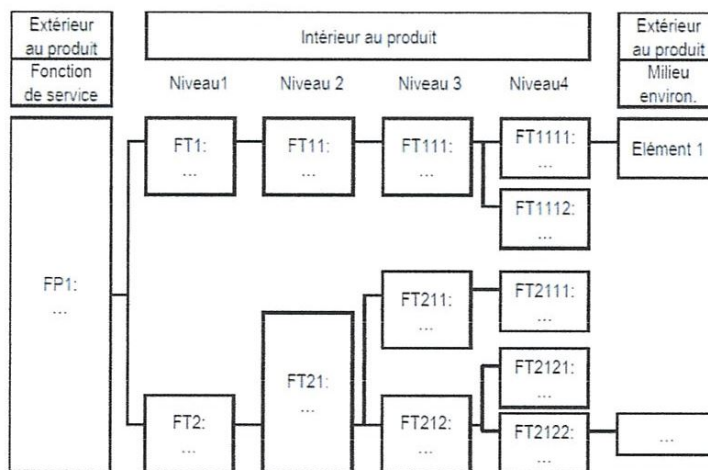


Figure I.8. Hiérarchisation des fonctions

4.3. Analyse qualitative du risque : Arbres de défaillances

4.3.1. Définition de l'arbre de défaillance

L'arbre de défaillances est une méthode déductive (déductif : procédant d'un raisonnement logique rigoureux). Elle permet de savoir comment un système peut être indisponible. Il s'agit de représenter les différents événements et leurs liaisons par des portes logiques (fonction ET ou fonction OU selon que la défaillance du matériel se produit lorsque les événements se réalisent ensemble ou séparément). [8]

4.3.2. Principe

Cette méthode déductive (de l'effet vers ses causes) a pour objet la recherche de toutes les combinaisons de défaillances élémentaires pouvant aboutir à un événement redouté, parfois identifié par une AMDEC. A partir de cet « événement sommet », on construit une arborescence (schéma graphique en forme d'arbre inversé) représentant l'enchaînement logique des « événements intermédiaires » jusqu'à la mise en cause des « événements élémentaires » (défaillance d'un composant). Cela par utilisation du symbolisme logique de l'algèbre de Boole. Il est ainsi possible d'identifier toutes les défaillances élémentaires pouvant conduire à l'événement redouté, puis de quantifier celui-ci par son taux de défaillance obtenu à partir des taux de défaillances de chaque composant mis en cause. [8]

Ce type d'analyse permet, dans le domaine de la maintenance de :

- Améliorer la conception ;
- Faire un diagnostic rapide ;
- Prévoir une meilleure logistique.

4.3.3. Définition des événements

4.3.3.1. Événement redouté

L'événement redouté est l'événement indésirable pour lequel nous faisons l'étude de toutes les causes qui y conduisent. Cet événement est unique pour un arbre de défaillances et se trouve au "sommet" de l'arbre. Avant de commencer la décomposition

qui permet d'explorer toutes les combinaisons d'événements conduisant à l'événement redouté, il faut définir avec précision cet événement ainsi que le contexte de son apparition. L'événement redouté est représenté par un rectangle au sommet de l'arbre comme par exemple l'explosion du réservoir de carburant d'un véhicule.

4.3.3.2. Événements intermédiaires

Les événements intermédiaires sont des événements à définir comme l'événement redouté. La différence avec l'événement redouté est qu'ils sont des causes pour d'autres événements. Par exemple c'est la combinaison d'événements intermédiaires qui conduit à l'événement redouté. Un événement intermédiaire est représenté par un rectangle comme l'événement redouté. Dans l'exemple la figure (I-9) c'est la combinaison d'une fuite de carburant avec d'autres événements qui est susceptible de provoquer l'explosion du réservoir. [8]

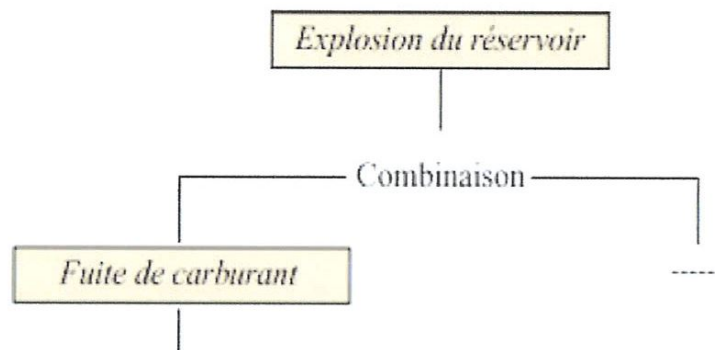


Figure I.9. Exemple d'évènement intermédiaire

4.3.3.3. Événements élémentaires

Les événements élémentaires sont des événements correspondant au niveau le plus détaillé de l'analyse du système. Dans un arbre de défaillances, ils représentent les défaillances des composants qui constituent le système étudié. Dans l'exemple de la figure (I-10) c'est la combinaison de la défaillance « joint percé » et « vanne bloquée ouverte » qui provoque une fuite de carburant. [8]

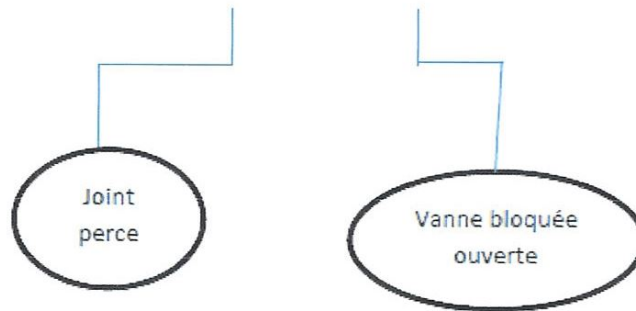


Figure I.10. Exemple d'évènement élémentaire

4.3.4. Résumé de la symbolique des événements

Il existe d'autre type d'évènements défini par la norme, leurs symboles ainsi que leurs significations sont répertoriées dans le tableau (I-1)






symbole	Nom	Signification
	Rectangle	Evènement redoute ou évènement intermédiaire
	Cercle	évènement intermédiaire
	Losange	évènement élémentaire non développe
	Double Losange	Evènement élémentaire dont développe est à faire ultérieurement
	Maison	Evènement de base survente normalement pour le fonctionnement du base

Tableau I.1. Symboles des événements

4.3.5. Portes logiques

Les portes logiques permettent de représenter la combinaison logique des événements intermédiaires qui sont à l'origine de l'évènement décomposé.

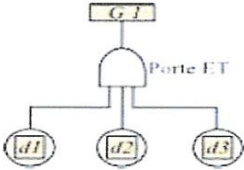
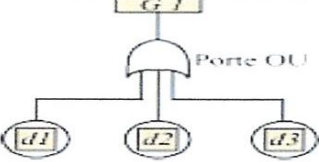
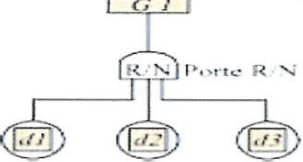
<p>Porte OU L'événement G1 ne se produit que si les événements élémentaires d1, d2 et d3 existent simultanément.</p>	
<p>Porte ET L'événement G1 se produit de manière indépendante si l'un ou l'autre des événements élémentaires d1, d2 ou d3 existe.</p>	
<p>Porte R/N Si R=2 et N=3 alors il suffit que deux des événements élémentaires d1, d2, d3 soient présents pour que l'événement G1 se réalise.</p>	

Tableau I.2. Portes de logiques

4.4. Analyse des Modes de Défaillances de leurs Effets et de leur Criticité (AMDEC)

4.4.1. Historique

L'armée américaine a développé l'AMDEC. La référence militaire MIL-P-1629, intitulée **Procédures pour l'Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité**, est datée du 9 novembre 1949. Cette méthode était employée comme une technique d'évaluation des défaillances afin de déterminer la fiabilité d'un équipement et d'un système. Les défaillances étaient classées selon leurs impacts sur le personnel et la réussite des missions pour la sécurité de l'équipement. Le concept personnel et équipement interchangeable ne s'applique pas dans le monde moderne de fabrication des biens de consommation. Les fabricants de produits de consommation ont établi de nouvelles valeurs telles que la sécurité et la satisfaction client. Ensuite, les outils d'évaluation du risque sont devenus partiellement démodés. Ils n'ont pas été suffisamment mis à jour. En 1988, L'ISO émettait les normes de la série ISO 9000. Le QS 9000 est l'équivalent de l'ISO 9000 pour l'automobile. Un groupe de travail représentant entre autres Chrysler a développé le QS 9000 pour standardiser les systèmes qualité des

fournisseurs. Conformément au QS 9000, les fournisseurs automobiles doivent utiliser la planification qualité du procédé (APQP), incluant l'outil AMDEC et développant les plans de contrôle.

La méthode a fait ses preuves dans les industries suivantes : spatiale, armement, mécanique, électronique, électrotechnique, automobile, nucléaire, aéronautique, chimie, informatique. Et plus récemment, on commence à s'y intéresser dans les services dans le domaine de l'informatique, la méthode d'analyse des effets des erreurs logicielles (AFEL) a été développée. Cette approche consiste à une transcription de l'AMDEC dans un environnement de logiciels.

Aujourd'hui, dans un contexte plus large comme celui de la qualité totale, la prévention n'est pas limitée à la fabrication. Il est maintenant possible d'anticiper les problèmes dans tous les systèmes du processus d'affaires et de rechercher a priori des solutions préventives. C'est pourquoi l'application de l'AMDEC dans les différents systèmes du processus d'affaires est très utile. Souvent même indispensable. Cette méthode est donc considérée comme un outil de la qualité totale.

Il est important de souligner que l'utilisation de la méthode se fait avec d'autres outils de la qualité et cette combinaison augmente considérablement la capacité et l'efficacité de la méthode [9].

4.4.2. Définition de l'AMDEC

L'AMDEC est une méthode qualitative et inductive (qui définit une règle ou une loi à partir de l'expérience : un raisonnement inductif visant à identifier les risques de pannes potentielles contenues dans un avant-projet de produit ou du système, quelles que soient les technologies, de façon à les supprimer ou à les maîtriser (norme AFNOR X 60-510 de décembre 1986).

Les mots relatifs à l'AMDEC sont :

- **Fréquence (F)**: Fréquence d'apparition de la défaillance : elle doit représenter la probabilité d'apparition du mode de défaillance résultant d'une cause donnée.

- **Détection (D)** : Fréquence de non-détection de la défaillance : elle doit représenter la probabilité de ne pas détecter la cause ou le mode de défaillance avant que l'effet survienne.
- **Gravité (G)** : Gravité des effets de la défaillance : la gravité représente la sévérité relative à l'effet de la défaillance.
- **Criticité (C)** : elle est exprimée par l'indice de priorité risque [10].

4.4.3. But de l'AMDEC

On ne réalise pas une étude AMDEC pour le plaisir de «faire de l'AMDEC» ou seulement pour faire travailler ensemble un groupe de personnes. Il faut être conscient que l'AMDEC requiert des compétences et du temps.

Dans le cas de système complexe, comportant de nombreux composants, elle peut même constituer un énorme travail.

Il convient donc de l'utiliser à bon escient, lorsque l'investissement (objectif, résultats attendus, mobilisation des personnes, coût) le justifie.

Parmi ce que l'on peut en attendre, citons de manière non exhaustive :

- procéder à un examen critique de la conception.
- Identifier les défaillances simples qui pourraient avoir des effets ou des conséquences graves ou inacceptables.
- Préciser, pour chaque mode de défaillance, les moyens de détection et les actions correctives à mettre en œuvre.
- Valider une conception ou identifier les points de conception devant faire l'objet de modifications ou d'améliorations.
- Dans ce dernier cas, déterminer s'il est préférable de chercher à diminuer la probabilité d'apparition des modes de défaillance ou de chercher à diminuer la gravité des effets des défaillances.
- Vérifier si la conception est conforme aux exigences de sûreté de fonctionnement du client (interne ou externe).

- Identifier les éléments qui devront faire l'objet d'un programme de maintenance préventive.
- Organiser la maintenance (niveaux de maintenance, pièces de rechange, documentation...).
- Pour les produits, faire apparaître la nécessité de procéder à des essais.
- Pour les procédés, faire apparaître la nécessité de mettre en place des contrôles.
- Pour les machines, concevoir de telle sorte que la tâche des opérateurs soit facilitée en cas de défaillance, et prévoir des possibilités de fonctionnement en mode dégradé, fournir aux responsables des choix techniques, des éléments d'aide à la décision sur le plan de la sûreté de fonctionnement.
- Mieux connaître et comprendre le fonctionnement du matériel [11].

4.4.4. Déroulement de l'AMDEC

L'AMDEC se déroule suivant les quatre étapes suivantes :

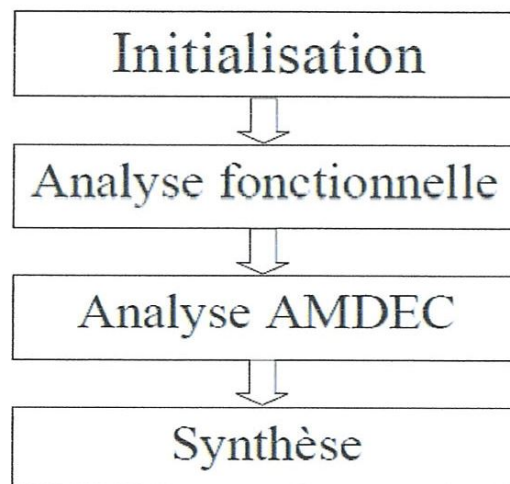


Figure I.11. Déroulement d'AMDEC [12]

**Chapitre 02 : PRESENTATION DE L'ENTREPRISE D'ACCUEIL
ET ETUDE CRITIQUE DE LA POLITIQUE DE
MAINTENANCE EXISTANTE.**

CHAPITRE II : PRESENTATION DE L'ENTREPRISE D'ACCUEIL ET ETUDE CRITIQUE DE LA POLITIQUE DE MAINTENANCE EXISTANTE

Introduction

Ce chapitre est dédié à la réalisation d'une étude critique de la politique de maintenance existante à l'entreprise où nous avons passé notre stage. Ce genre d'audit est très important et peut conduire à des résultats très fructueux. Pour ce faire nous avons choisi d'appliquer la méthode de Lavina (ou questionnaire de Lavina). Mais avant d'entamer cette méthode, nous présentons d'abord dans la première partie quelques informations utiles sur l'entreprise d'accueil.

1. Présentation de l'organisme de SONATRACH

1.1. Introduction

Avant juillet 1962, le code pétrolier offrait pratiquement le monopole sur le pétrole algérien aux compagnies françaises et leurs accordait des avantages fiscaux au détriment du national. Au lendemain de l'indépendance, l'entreprise national SONATRACH a été créé par le décret (63 -491) du 31 décembre 1963. Son objectif initial était le transport et la distribution des hydrocarbures. La volonté de l'Algérie de récupérer ses richesses naturelles et d'assurer pleinement le contrôle de leurs explorations, a toujours été une constante. Le 24 février 1971 a été choisi pour annoncer publiquement la décision de nationalisation des hydrocarbures. Ainsi, notre pays récupérait en toute légitimité sa souveraineté sur ses richesses naturelles en hydrocarbures en confiant à la SONATRACH leur gestion et leur développement.

1.2. Présentation de la région de TFT

1.2.1. Historique

La Direction Régionale de Tin Fouyé Tabankort connue sous le nom de TFT est une unité opérationnelle de la Société Nationale SONATRACH (Activité amont, division Production), elle est située dans la partie Nord-Ouest du bassin d'ILLIZI, plus précisément à 260 km au Nord-Ouest de In Amenas et à 450 km de Hassi Messaoud sur la Route Nationale N°3. Ayant le statut de Sous – District relevant du District de In-Aménas avant le découpage intervenu en 1976 qui a vu naître la Direction Régionale de TFT.

Cependant, la Région de TFT composée de 2 secteurs (nord et sud) occupe le 2^{ème} rang en production d'huile après celui de Hassi- Messaoud, de même le développement du gaz en partenariat entre (SONATRACH, TOTAL, et REPSOL) fait de TFT une région gazière importante.

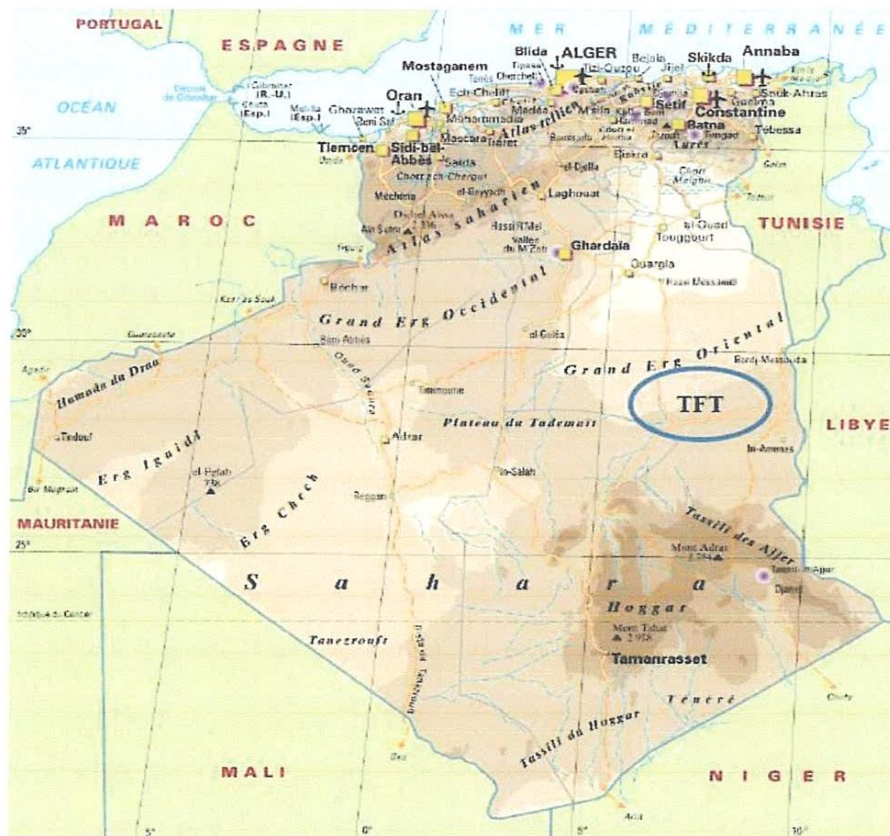


Figure II.1. Position géographique du champ TFT

1.2.2. Direction Régionale

La direction régionale de Tin Fouyé Tabankort (TFT) fait partie de la division production de l'entreprise SONATRACH. Elle est chargée de la production du pétrole et gaz du champ de TFT et de la gestion de toutes les divisions qui lui sont rattachées, l'organigramme de la figure (II.2) représente ses différentes divisions.

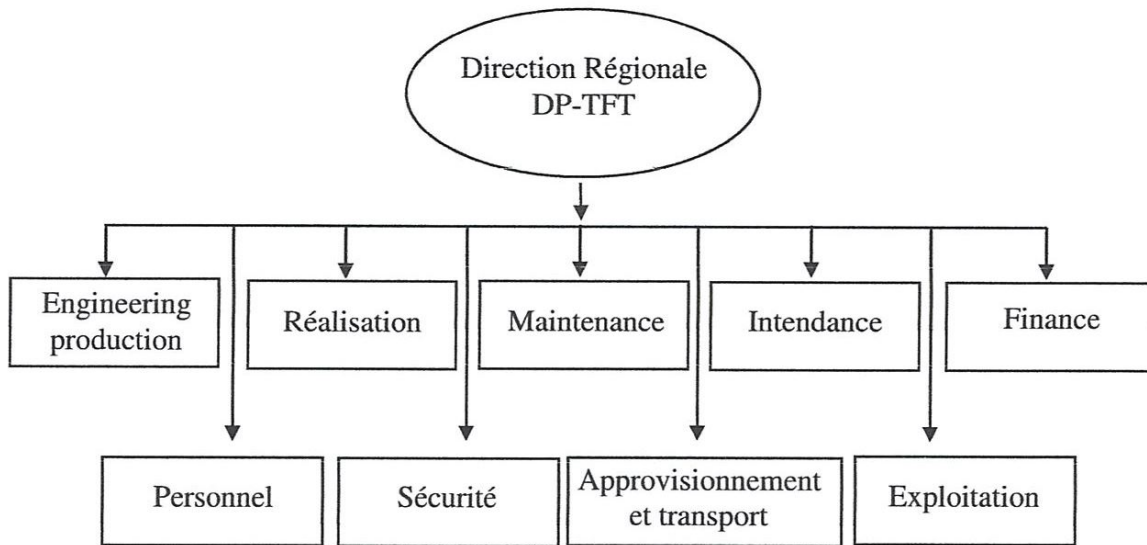


Figure II.2. Organigramme de la division de production de la DP-TFT

1.2.3. Division maintenance

Structurée en 05 services, elle est chargée de la maintenance des installations de surfaces. La figure (II.3) représente l'organigramme de la division maintenance.

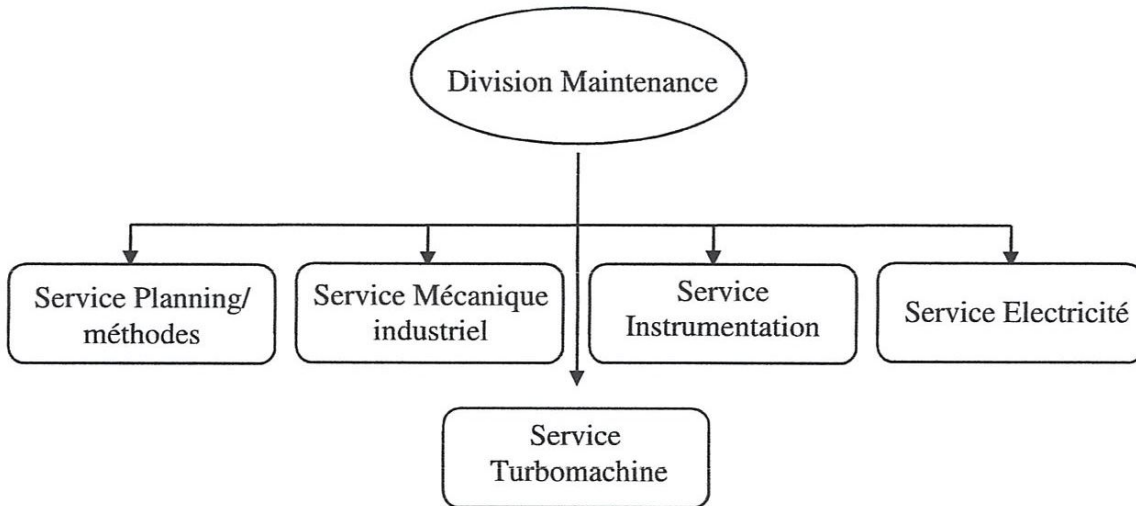


Figure II.3 Organigramme de la division maintenance de la DP-TFT

❖ Service Méthodes et Planification

C'est le poumon de toute la division maintenance dont il joue un rôle primordial dans cette dernière, à savoir la planification et la préparation des programmes de révision de toutes les machines de production et instruments.

❖ Service Electricité

Il est chargé de l'entretien et la réparation des équipements et machines de toutes anomalies d'origine électrique. Il s'occupe de l'exploitation et la maintenance de la centrale électrique. C'est un service chargé de l'électricité industrielle (production, distribution et maintenance). La centrale électrique est un grand centre de production de l'énergie électrique qui est la seule source électrique de toute la région TFT et ses périphéries.

❖ Service Mécanique Industrielle

Il intervient dans la réparation et l'entretien de toute machine ou équipement à sa disposition relevant du domaine de la mécanique. Le service gère un atelier mécanique qui s'occupe des rénovations des machines tournantes, ainsi que l'usinage et la confection des diverses pièces.

❖ Service Instrumentation

Ce service est chargé du suivi du bon fonctionnement des équipements et machines sous sa responsabilité à l'aide d'un tableau de bord doté d'un certain nombre d'indicateurs qui permettent d'informer l'opérateur tableautiste sur le fonctionnement normal et /ou anormal des différents points d'installations.

❖ Service Turbomachines

On peut définir ce service comme étant une équipe d'intervention et maintenance des trois sortes d'équipements au niveau de toute la région de TFT à savoir les turbines à gaz, les pompes et les compresseurs. Le service turbomachines est structuré en quatre (04) sections :

- Section entretien et maintenance turbine ;

- Section maintien de pression (MP) ;
- Section mécanique gaz Lift (FGL) ;
- Section unité de traitement de gaz associée (UTGA).

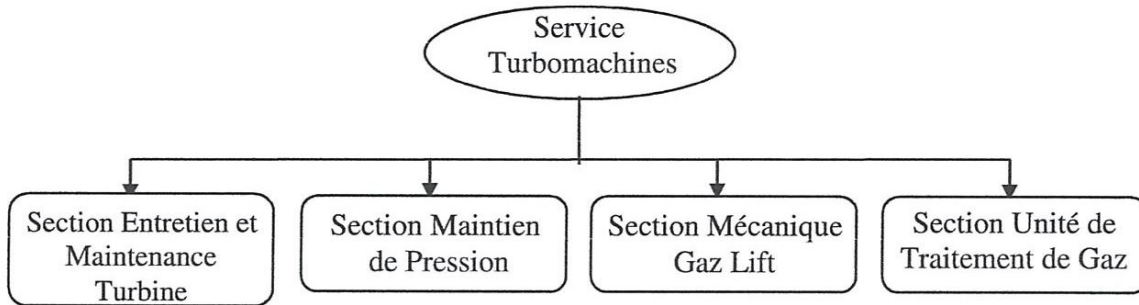


Figure II.4 Organigramme du service turbomachines

1.2.4. Présentation de la station UTGA

La station UTGA implantée près du centre de séparation CS2 est conçue pour la récupération des gaz initialement torchés au niveau des centres de séparations CS1, CS2, CS3, CS4 et CS5, AMA, les traiter par déshydratation et les comprimer à 80 bar à peu près. Par conséquent, cela permet la récupération du condensât. Les gaz associés HP (haute pression), et BP (basse pression) produits aux niveaux des centres de séparation d'huile CS1, CS2, CS3, CS4, CS5, (AMA#HP) sont acheminés par différents réseaux de collectes. La figure (II.5) montre le schéma du réseau de collecte des gaz.

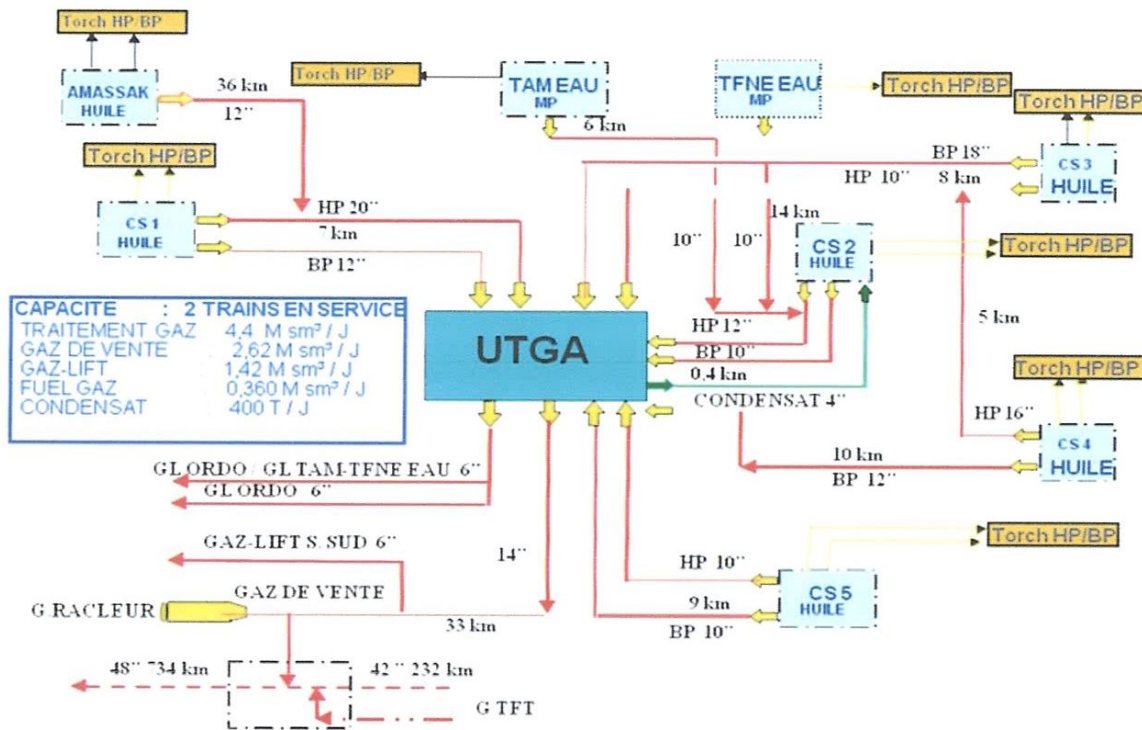


Figure II.5 Schéma de réseau de collectes gaz TFT

❖ **Les principales sections de l'unité**

Elle se compose essentiellement des sections et installations suivantes :

- Réception des gaz : les gaz associés envoyés à la station sont réceptionnés par un séparateur d'entrée gaz BP /HP par l'intermédiaire d'un collecteur BP/HP.
- Section de compression BP : les gaz associés BP sont envoyés à la section qui est constituée d'un compresseur de gaz BP, un refroidisseur et 2 ballons.
- Section de déshydratation : elle a pour fonction de réduire la teneur en eau du gaz, est constituée de 3 sécheurs à tamis moléculaires et 3 réchauffeurs de gaz de régénération.
- Section de traitement : elle assure la production du gaz traité ainsi que l'extraction et dégazage du condensat.
- Installation commune : se forme d'un système de distribution du gaz combustible, système de torche pourvu d'une torche, d'un ballon tampon et d'une unité de régénération du lubrifiant des compresseurs de gaz.

- Section de compression et de recompression : elle se compose de 2 unités de compression, chacune comporte :
 - 3 compresseurs centrifuges du type (BCL), deux comme boosters et un pour la recompression qui sont entraînés par une turbine à gaz type (MS 5002) et les installations auxiliaires.
 - 4 ballons.
 - 3 refroidisseurs.

❖ Description du procédé en général

La figure (II.6) représente un schéma typique des procédés cités avant, or, il a été tenu compte essentiellement de la relation compression- injection en GL et gaz commercial, donc de la fonction de compression (HP) du gaz, qui s'effectue dans la section compression boosting et de recompression. Les gaz HP émanant des centres CS1, CS2, CS3, CS4 et CS5, (AMA #HP), sont introduits avec ceux provenant du compresseur de gaz BP dans le séparateur de gaz HP (D101), ainsi le gaz est envoyé à 2 trains de compression identiques. Dans chacun de ces trains, le gaz entre dans le premier compresseur (K101 A/B) via le ballon d'aspiration (D102 A/B), en sortant du (K101), il se mélange avec le gaz chaud de régénération provenant de la section de déshydratation et entre dans le deuxième compresseur booster (2ème étage) (K102) après avoir été refroidi, décanté respectivement par le refroidisseur complémentaire du premier compresseur booster (E101) et le ballon d'aspiration (D103) du 2ème compresseur booster.

Le gaz de refoulement du compresseur (K102) est refroidi par le refroidisseur complémentaire (E102) du 2ème compresseur et décanté par le ballon (D104), ainsi les gaz comprimés provenant des 2 trains A et B passent dans les sécheurs de gaz (D301 A/B/C). Après avoir quitté le (D105), le gaz traité est comprimé par le compresseur (K103) jusqu'à une pression suffisante pour être expédié de la station, ainsi après avoir été refroidi dans le (E103) le gaz comprimé est envoyé au réseau de gaz lift et à la canalisation du gaz commercial. Le gaz traité sortant du (D402) est envoyé aux ballons d'aspiration (D105) via le (E402). Le tableau (II.1) représente les

abréviations et leurs désignations des différents équipements constituant l'unité (UTGA).

Abréviations	Désignations
A /B	Train de compression
D	Ballon d'aspiration et refoulement
E	Refroidisseur (aérorefrigérant)
K	Compresseur
KT	Turbine à gaz
H	Réchauffeur (four)
C	Stripper
G	Pompe de drainage
E402	Echangeur de chaleur gaz /gaz
E403 A/B	Echangeur de chaleur gaz/liquide
D301 A/B/C	Sécheurs de gaz
100	Section haute pression
200	Section basse pression
300	Section déshydratation
400	Section traitement

Tableau II.1 Abréviations et désignations

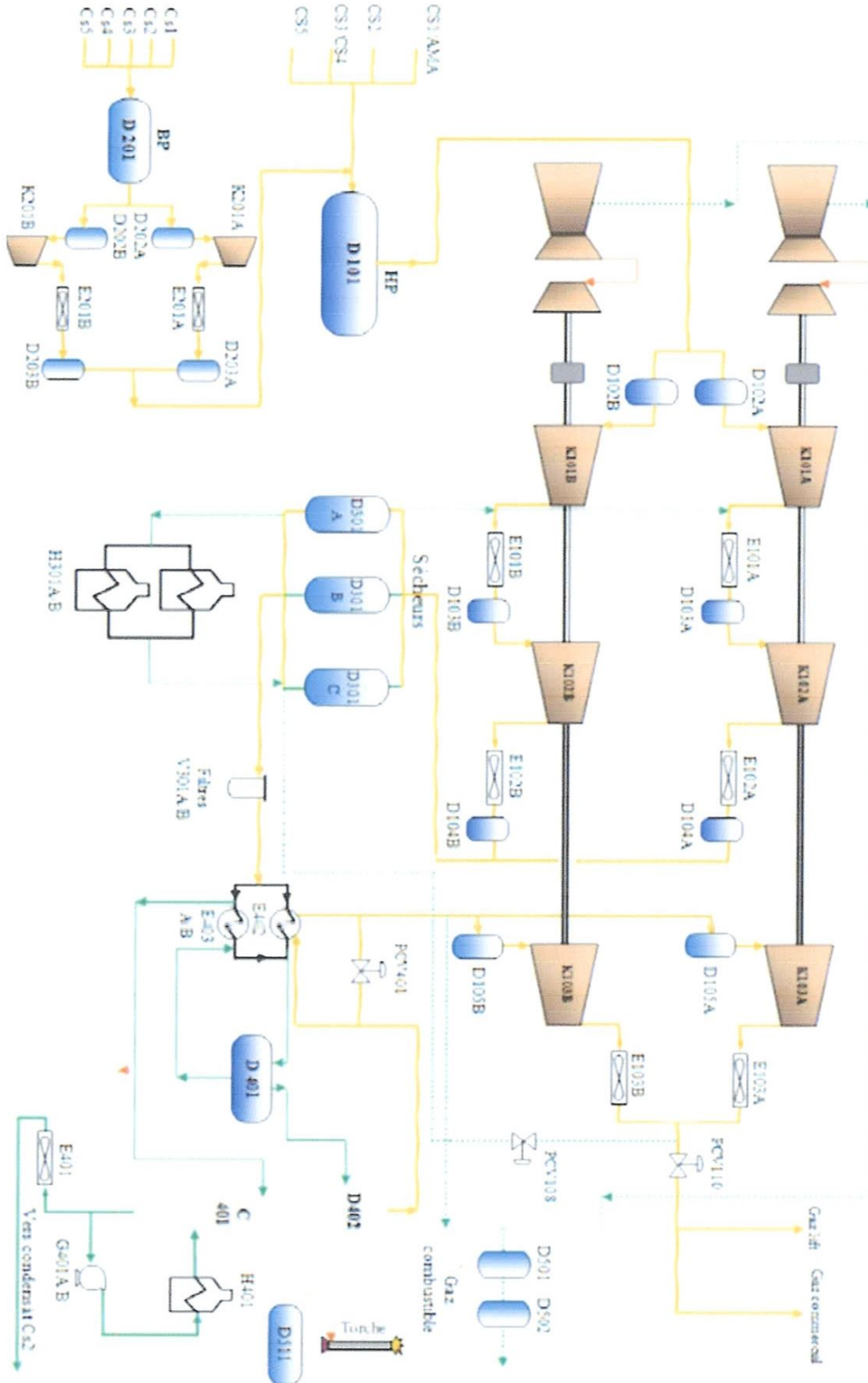


Figure II.6. Schéma simplifié de l'UTGA

2. Etude critique de la politique de maintenance existante (méthode de Lavina)

2.1. Introduction

Le diagnostic de la maintenance est un examen méthodique d'une situation relative à une organisation ou à des prestations en maintenance et ce en vue de vérifier la conformité à des règles établies en maintenance. En effet, le diagnostic est effectué en collaboration avec les intéressés chaque fois qu'on décide un changement d'organisation ou pour apporter des améliorations dans la pratique de la maintenance.

2.2. Présentation de la démarche LAVINA

Le diagnostic de la maintenance consiste à détecter les éventuels écarts entre la situation actuelle et une situation de référence visée « la norme », puis à prendre des actions correctives visant à mieux atteindre les objectifs du progrès. [13]

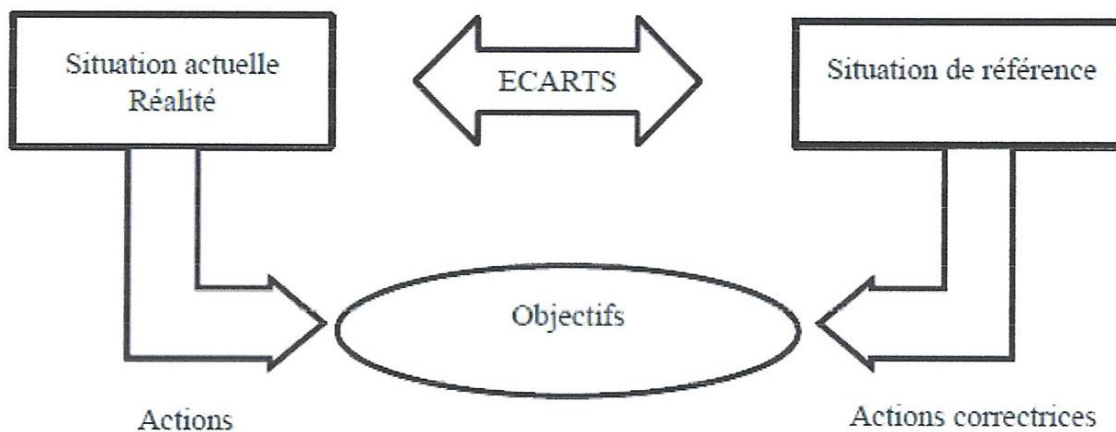


Figure II.7. Processus du diagnostic de la maintenance

Nous avons opté pour la méthode LAVINA comme outil du diagnostic de la fonction maintenance actuelle au sein de l'entreprise. En effet cette méthode de diagnostic permet l'analyse de fonctionnement de la maintenance selon les rubriques suivantes : [13]

1. L'organisation générale : Elle couvre les procédures générales d'organisation du service maintenance, les règles selon lesquelles est établi l'organigramme (compromis hiérarchie/fonctionnel) et les éléments de la politique du service.

2. Les méthodes de travail : Elles permettent la préparation du travail avec, en particulier, les estimations de temps et les méthodes d'intervention.
3. Le suivi technique des équipements : Il regroupe toutes les actions d'analyse menées en vue de doser correctement, en fonction d'objectifs de disponibilité et de coût, les interventions palliatives, préventives et correctives sur les divers équipements. En fait, il s'agit essentiellement de traiter l'information concernant les équipements : fiches techniques, gestions des modifications et historiques.
4. La gestion du portefeuille de travaux : Elle couvre le traitement des demandes de travaux et des plans de maintenance, de programmation, d'ordonnancement et de lancement.
5. La gestion des pièces de rechange : Elle permet de nous renseigner sur comment sont tenus les stocks ? Comment les pièces sont-elles stockées ? Quels modes de gestion sont-t-ils adoptés ? ...
6. L'outillage et appareils de mesure : Les métiers de la maintenance demandent à être de mieux en mieux outillés et doivent disposer de nombreux moyens de manutention. Cela demande une organisation et une gestion sérieuses.
7. La documentation technique : Il faut avoir une documentation complète, avec un accès facilité par un classement irréprochable et bénéficiant d'une mise à jour systématique.
8. Le personnel et la formation : Cette rubrique évalue les compétences du personnel ainsi que le climat de travail.
9. La sous-traitance : A-t-on de bons contrats ? Evalue-t-on les sous-traitants ? Comment assurer les suivis sur site ?
10. Le contrôle de l'activité : Tableau de bord, système d'informations comptes rendus d'activité et d'élaboration du budget.

2.3. Le déroulement du diagnostic

Pour bien mener ce diagnostic, les questionnaires de LAVINA sont remplis en collaboration avec les exploitants du complexe et le responsable du service technique et maintenance. Les réponses possibles sont :

- "Oui" ;

- "Non" ;
- "Plutôt Oui" ou "Plutôt Non", si l'on n'est pas totalement affirmatif ou totalement négatif ;
- "Ni Oui, Ni Non", si l'une des options précédentes ne convient pas.

Pour l'utiliser, il suffit de cocher ou d'encrer le nombre indiqué dans la colonne se rapprochant le plus de l'appréciation portée pour la question posée. Donc, pour chaque réponse, une note lui correspond, laquelle varie en fonction de l'importance de la question. Un sous-total est ensuite calculé pour chacune des rubriques. Le tableau (II.1) montre un exemple tiré de la littérature d'une fiche d'un questionnaire de Lavina. Cet exemple concerne la rubrique « Méthodes de travail », et on remarque les chiffres encadrés correspondant aux réponses de l'interlocuteur.

B- Méthodes de travail	Non	Plutôt non	Ni oui ni non	Plutôt oui	Oui
1- Pour les interventions importantes en volume d'heures et /ou répétitives, privilégie-t-on la préparation du travail ?	0	10	-	20	30
2- Utilisez-vous des supports imprimés pour préparer les travaux?	0	-	10	-	20
3- Disposez-vous de modes opératoires écrits pour les travaux complexes ou délicats ?	0	-	10	-	20
4- Avez-vous une procédure écrites et appliquée définissant les autorisations du travail (consignation, déconsignation) pour les travaux à risque ?	0	-	-	-	25
5- Conservez-vous et classez-vous de manière particulière les dossiers de préparation ?	0	5	-	10	15
6- Y a-t-il des actions visant à standardiser les organes et pièces ?	0	5	-	20	30
7- Avez-vous des méthodes d'estimation des temps autres que celles enregistrées sur les fiches d'interventions ?	0	-	5	-	10
8- Utilisez-vous la méthode PERT pour la préparation des travaux longs ?	0	5	-	10	20
9- Avez-vous recours à des méthodologies formalisées pour les interventions palliatives ?	0	10	-	20	30
10- Réservez-vous les pièces en magasin, faites-vous préparer des Kits (pièces, outillages) avant vos interventions ?	0	10	-	20	30
11- L'ensemble de la documentation est-elle correctement classée et facilement accessible ?	0	5	-	10	20
B- 250 Points possibles	Sous -score :			81,25	

Tableau II.2. Exemple d'une grille du questionnaire de LAVINA avec notation

**3. Application de la méthode de Lavina à l'entreprise
SONATRACH-DP-TFT**

Ce questionnaire a été établi grâce au concours de plusieurs responsables de l'entreprise intervenant dans les différentes rubriques ci-dessous. Les chiffres en gras soulignés sont la note attribuée par chaque responsable.

A- Organisation générale	Non	Plutôt non	Ni oui ni non	Plutôt oui	Oui
1- Avez-vous défini par écrit et fait approuver l'organisation de la fonction maintenance ?	0	10	15	<u>20</u>	30
2- Les responsabilités et les tâches définies dans l'organisation sont-elles vérifiées périodiquement pour adaptation ?	0	2.5	5	7.5	<u>10</u>
3- Les responsabilités et les tâches des techniciens sont-elles clairement définies ?	0	5	10	<u>15</u>	20
4- Le personnel de l'encadrement et de supervision est-il suffisant ?	0	10	15	20	<u>30</u>
5- L'activité de chaque chef d'équipe est-elle encadrée par un budget de fonctionnement ?	0	2.5	5	<u>7.5</u>	10
6- Y a-t-il quelqu'un de désigné pour assurer la coordination des approvisionnements, des travaux, des études d'installations et de la formation ?	0	5	10	15	<u>20</u>
7- Existe- il des fiches d'intervention et de suivi pour chacun des machine ?	0	5	10	15	<u>20</u>
8- Les agents exploitant le matériel disposent-ils de consignes écrites pour réaliser les tâches de maintenance (surveillance, contrôle de fonctionnement,...) de premier niveau ?	0	10	15	<u>20</u>	30
9- Réunissez-vous périodiquement pour examiner les travaux à effectuer ?	0	5	10	15	<u>20</u>
10- Les objectifs du service maintenance sont-ils écrits et sont-ils contrôlés régulièrement ?	0	10	15	<u>20</u>	30
11- Etes-vous consulté ou suivi par l'exploitant ou bien la direction technique.	0	10	15	<u>20</u>	30
A- 250 Points possibles	Sous -score :			202.5	

B- Méthodes de travail	Non	Plutôt non	Ni oui ni non	Plutôt oui	Oui
1- Pour les interventions importantes en volume d'heures et /ou répétitives, privilégie-t-on la préparation du travail ?	0	10	15	20	<u>30</u>
2- Utilisez-vous des supports imprimés pour préparer les travaux où établir des devis (fiches de préparation ou fiche de devis) ?	0	5	10	15	<u>20</u>
3- Disposez-vous de modes opératoires écrits pour les travaux complexes ou délicats ?	0	5	10	<u>15</u>	20
4- Avez-vous une procédure écrites (et appliquée) définissant les autorisations du travail (consignation, déconsignation) pour les travaux à risque ?	0	10	15	20	<u>30</u>
5- Conservez-vous et classez-vous de manière particulière les dossiers de préparation ?	0	2.5	5	<u>7.5</u>	15
6- Y a-t-il des actions visant à standardiser les organes et pièces ?	0	10	15	20	<u>30</u>
7- Avez-vous des méthodes d'estimation des temps autres que celles enregistrées sur les fiches d'interventions ?	0	2.5	5	<u>7.5</u>	10
8- Utilisez-vous la méthode PERT pour la préparation des travaux longs ?	0	5	10	15	<u>20</u>
9- Avez-vous recours à des méthodologies formalisées pour les interventions palliatives ?	0	10	15	<u>20</u>	30
10- Réservez-vous les pièces en magasin, faites-vous préparer des Kits (pièces, outillages) avant vos interventions ?	0	10	15	20	<u>30</u>
11- L'ensemble de la documentation est-elle correctement classée et facilement accessible ?	0	5	10	<u>15</u>	20
D- 250 Points possibles	Sous -score :			225	

C- Suivi technique des équipements	Non	Plutôt non	Ni oui ni non	Plutôt oui	Oui
1- Disposez-vous d'une récapitulative (inventaire) par emplacement des équipements de votre unité ?	0	10	15	20	<u>30</u>
2- Est-ce que chaque équipement possède un numéro d'identification unique autre que le numéro chronologique d'immobilisation ?	0	5	10	15	<u>20</u>
3- Sur le site, tout équipement a-t-il son numéro d'identification clairement signalé ?	0	5	7.5	<u>10</u>	15
4- Les modifications sur équipement, nouvelles installation ou suppressions d'équipement sont-elles enregistrées systématiquement ?	0	5	7.5	10	<u>15</u>
5- Un dossier technique est-il ouvert pour chaque équipement ou installation ?	0	10	15	20	<u>30</u>
6- Possédez-vous un historique des travaux pour chaque équipement ?	0	10	<u>15</u>	20	30
7- Disposez-vous des informations concernant les heurs passés, les équipements consommés et les coûts, équipement par équipement ?	0	10	20	30	<u>40</u>
8- Y a-t-il un (ou plusieurs) responsable(s) de la tenue de l'historique des travaux ?	0	5	10	15	<u>20</u>
9- Assurez-vous un suivi formel des informations relatives aux comptes rendus de visites ou inspections préventives?	0	10	15	20	<u>30</u>
10- Les historiques sont-ils analysés une fois par an ?	0	<u>5</u>	10	15	20
C- 250 Points possibles	Sous -score :			210	

D- Gestion portefeuille de travaux	Non	Plutôt non	Ni oui ni non	Plutôt oui	Oui
1- Avez-vous un programme établi de maintenance préventive? (action préventives, périodicité, charge de travail ...)	0	10	<u>20</u>	30	40
2- Disposez-vous de fiche ou (check-lists) écrit de maintenance préventive ?	0	5	10	<u>15</u>	20
3- Existe-il un responsable de l'ensemble des actions de maintenance préventive?	0	2.5	5	7.5	<u>10</u>
4- Les utilisateurs des équipements ont-ils des responsabilités en matière de réglage et de maintenance de routine ?	0	5	10	15	<u>20</u>
5- Avez-vous un système d'enregistrement des demandes de travaux ?	0	<u>10</u>	20	30	40
6- Y a-t-il une personne plus responsable de l'ordonnancement des travaux ?	0	5	10	<u>15</u>	20
7- Avez-vous défini des règles permettant d'affecter les travaux selon les priorités ?	0	10	15	20	<u>30</u>
8- Connaissez-vous en permanence la charge de travail en portefeuilles ?	0	10	15	<u>20</u>	30
9- Existe-il un document bon (ou demande) de travail permettant de renseigner et de suivre toutes les interventions, qui soit utilisé systématiquement pour tout travail ?	0	10	15	20	<u>30</u>
10- Les techniciens ainsi que les chefs d'équipes se rencontrent périodiquement pour débattre des priorités, problème de planning, personnel, etc... ?	0	10	<u>15</u>	20	30
11- Disposez-vous d'un planning hebdomadaire de lancement des travaux ?	0	10	15	20	<u>30</u>
D- 300 Points possibles	Sous -score :		215		

E- Tenue du stock de pièces de rechange	Non	Plutôt non	Ni oui ni non	Plutôt oui	Oui
1- Disposez-vous d'un magasin fermé pour stocker les pièces de rechange ?	0	5	10	15	<u>20</u>
2- Disposez-vous de libre-service pour les consommations courantes ?	0	<u>2.5</u>	5	7.5	10
3- Tenez-vous à jour des fiches de stocks (manuel ou informatisé)?	0	10	<u>15</u>	20	30
4- Eliminez-vous systématiquement les pièces obsolètes ?	<u>0</u>	2.5	5	7.5	10
5- Suivez-vous la consommation des articles par équipement ?	<u>0</u>	2.5	5	15	10
6- La valeur et le nombre d'articles en stocks est-il facilement disponible ?	0	5	<u>10</u>	15	20
7- Les pièces sont-elles bien rangées et identifiées ?	0	<u>5</u>	10	15	20
8- A-t-on bien défini le seuil de déclenchement et les quantités à approvisionner pour chaque article en stock ?	<u>0</u>	5	10	15	20
9- Les pièces interchangeables sont-elles identifiées ?	0	10	<u>15</u>	20	30
10- Les procédures d'approvisionnement sont-elles suffisamment souples pour stocker au maximum chez le fournisseur ?	0	10	<u>15</u>	20	30
E- 200 Points possibles	Sous -score :			82,5	

F – Achat et approvisionnement des pièces et matières	Non	Plutôt non	Ni oui ni non	Plutôt oui	Oui
1- A-t-on une procédure formalisée et adaptée d'émission des demandes d'achat et de passation des commandes?	0	5	10	15	<u>20</u>
2- Y a-t-il une ressource dans le service particulièrement chargée des suivis des demandes d'achat?	0	15	10	15	<u>20</u>
3- Toute demande de pièces a cout élevé requière-t-elle l'accord du responsable du service?	0	10	<u>15</u>	20	30
4- Les délais d'émission d'une demande sont-ils à votre avis suffisamment court ?	0	10	<u>15</u>	20	30
5- A-t-on des machines négociées pour les articles standard ?	0	10	15	<u>20</u>	30
6- Pour les articles a consommation régulière, passez-vous par des fournisseurs autres que le constructeur de l'équipement ?	0	10	15	<u>20</u>	30
7- Disposez-vous d'un processus d'homologation des fournisseurs ?	0	5	10	<u>15</u>	20
8- Lors des différentes négociations avec les fournisseurs, y a-t-il une grande cohésion entre le service achat et le service de maintenance ?	0	5	10	<u>15</u>	20
F- 200 Point possibles	Sous -score :			140	

G – Organisation matérielle de l'atelier maintenance	Non	Plutôt non	Ni oui ni non	Plutôt oui	Oui
1- L'espace atelier de maintenance est-il suffisant ?	0	10	15	20	<u>30</u>
2- Votre atelier pourrait-il être mieux situé par rapport aux équipements à entretenir ?	40	30	20	<u>10</u>	0
3- Les bureaux des superviseurs sont-ils de plein pied sur l'atelier ?	0	5	<u>10</u>	15	20
4- Votre atelier dispose-t-il de chauffage et d'air conditionné ?	0	2.5	5	7.5	<u>10</u>
5- Le magasin d'outillage et de pièces de rechange est-il au voisinage de votre atelier ?	0	5	<u>10</u>	15	20
6- Y a-t-il un responsable du magasin ?	0	2.5	5	7.5	<u>10</u>
7- Le magasin outillage est-il affecté exclusivement à la maintenance et aux travaux neufs ?	0	5	10	15	<u>20</u>
8- Chaque intervenant dispose-t-il d'un poste de travail bien identifié ?	0	5	10	15	<u>20</u>
9- Les moyens de manutention de l'atelier sont-ils adaptés ?	0	10	15	20	<u>30</u>
G- 200 Points possibles	Sous score :			160	

H- Outillages	Non	Plutôt non	Ni oui ni non	Plutôt oui	Oui
1- Disposez-vous d'un inventaire d'outillage et équipement de test en votre possession ?	0	5	10	15	<u>20</u>
2- Cet inventaire est-il mis à jour régulièrement ?	0	5	7.5	10	<u>15</u>
3- Disposez-vous de tous les outillages spéciaux et équipement de tests ou contrôle en votre possession ?	0	10	15	20	<u>30</u>
4- Exécutez-vous votre maintenance à l'aide des équipements de test ou contrôle en votre possession ?	0	10	<u>15</u>	20	25
5- Les outillages et équipements de test ou de contrôle sont-ils facilement disponibles et suffisante en quantité ?	0	10	15	<u>20</u>	25
6- L'étalonnage des appareils s'est-il bien défini (vérification et tolérance) et effectué ?	0	5	7.5	10	<u>15</u>
7- Avez-vous défini par écrit le processus de mise à disposition et d'utilisation des outillages ?	0	2.5	5	7.5	<u>10</u>
8- Chaque exécutant dispose-t-il d'une boîte à outils personnelle ?	0	10	15	20	<u>30</u>
9- Disposez-vous suffisamment de moyens de manutention sur site (palan, treuil, nacelle, échelle,...) ?	0	10	15	20	<u>30</u>
H- 200 Points possibles	Sous -score :			185	

I - Documentation technique	Non	Plutôt non	Ni oui ni non	Plutôt oui	Oui
1- Disposez-vous d'une documentation générale suffisante mécanique, électrique, électronique, informatique... ?	0	5	10	15	<u>20</u>
2- Pour tout équipement (ou installation) disposez-vous des plans d'ensembles et schémas nécessaires ?	0	15	20	30	<u>40</u>
3- Les notices techniques d'utilisation et de maintenance ainsi que les listes pièces détachées sont-elles disponibles pour les équipements majeurs ?	0	10	15	20	<u>30</u>
4- Les plans des installations accessibles et utilisables ?	0	10	15	20	<u>30</u>
5- Les plans et schémas sont-ils mis à jour au fur et à mesure des modifications apportées ?	0	10	15	20	<u>30</u>
6- Enregistre-t-on les travaux de modification des équipements et classe-t-on les dossiers de préparation correspondants (préparation mise à jour documentation) ?	0	5	10	15	<u>20</u>
7- Les contrats de maintenance sont-ils facilement accessibles ?	0	5	10	<u>15</u>	20
8- Les moyens de classement et archivage sont-ils suffisants ?	0	2.5	5	<u>7.5</u>	10
I- 200 Point possibles	Sous -score :			192,5	

J - Personnel et formation	Non	Plutôt non	Ni oui ni non	Plutôt oui	Oui
1-Le climat de travail est-il généralement positif ?	0	10	20	30	<u>40</u>
2- Les techniciens encadrent-ils correctement les travaux réalisés par les agents ou les opérateurs ?	0	10	15	20	<u>30</u>
3- Les problèmes sont-ils souvent examinés en groupe incluant les exécutants ?	0	10	15	20	<u>30</u>
4- Existent-ils des entretiens annuels d'appréciation du personnel d'encadrement et exécutant ?	0	5	10	15	<u>20</u>
5- Les agents de maintenance sont-ils suffisamment disponibles ?	0	10	15	20	<u>30</u>
6- Considérez-vous globalement que la compétence technique de votre personnel soit suffisante ?	0	15	25	35	<u>50</u>
7- Dans le travail au quotidien, estimez-vous que le personnel a l'initiative nécessaire ?	0	10	15	20	<u>30</u>
8- Le responsable maintenance assure-il régulièrement le perfectionnement de son personnel dans les domaines technique ?	0	10	15	20	<u>30</u>
9 Recevez-vous une formation aux nouvelles technologies par l'intermédiaire de visite chez les constructeurs ou des expositions ?	0	10	15	20	<u>30</u>
10- Votre personnel reçoit-il régulièrement une formation à la sécurité ?	0	10	15	20	<u>30</u>
11- La formation des agents est-elle programmée et maîtrisée par le service maintenance ?	0	5	10	15	<u>20</u>
12- Les qualifications et les habilitations du personnel sont-elles suivies rigoureusement ?	0	5	10	15	<u>20</u>
13- Avez-vous des pertes importantes de temps productifs dû à des retards, absences... ?	30	20	<u>15</u>	10	0
14- La relation entre votre personnel et le service client est-elle bonne ?	0	2.5	5	7.5	<u>10</u>
J- 400 Points possibles	Sous -score :		385		

K- Sous-traitance	Non	Plutôt non	Ni oui ni non	Plutôt oui	Oui
1- Avez-vous un processus d'évaluation formelle des sous-traitants ?	0	2.5	5	<u>7.5</u>	10
2- Les descriptifs de travaux et cahier des charges sont-ils soigneusement élaborés ?	0	15	20	<u>30</u>	40
3- La sélection des sous-traitants s'effectue-t-elle sur des critères de technicité et de compétence ?	0	5	10	<u>15</u>	20
4- Avez-vous localement la possibilité de recours à de multiples entreprises sous-traitantes pour les domaines qui vous concernent ?	0	<u>5</u>	10	15	20
5- Sous-traitez-vous les tâches pour lesquelles vous considérez ne pas disposer d'une technicité suffisante ?	0	10	15	<u>20</u>	30
6- Vos contrats avec les sous-traitants incluent-ils des clauses de résultats ?	0	5	<u>10</u>	15	20
7- Développez-vous l'assurance de la qualité et le partenariat avec vos sous-traitants ?	0	10	15	<u>20</u>	30
8- Créez-vous et mettez-vous à jour un dossier par affaire selon une procédure de constitution pré-déterminée ?	0	5	<u>10</u>	15	20
9- Le suivi des travaux du sous-traitant et la réception de ceux-ci sont-ils effectués par une personne de votre service nommément désignée et selon des procédures rigoureuses ?	0	10	15	<u>20</u>	30
10- Disposez-vous d'une documentation propre à faciliter la maintenance de vos équipements par des entreprises de l'extérieur ?	0	10	<u>15</u>	20	30
K- 250 Point possibles	Sous -score :			152.5	

L- Contrôle de l'activité	Non	Plutôt non	Ni oui ni non	Plutôt oui	Oui
1- Disposez-vous d'un tableau de bord vous permettant de décider des actions correctives à prendre ?	0	15	<u>20</u>	30	40
2- Existe-il des rapports réguliers de suivi des heures et de mains d'œuvres des agents de maintenance ?	0	15	20	30	<u>40</u>
3- Les performances du service maintenance sont-elles suivies ?	0	15	20	<u>30</u>	40
4- L'efficacité du potentiel de la maintenance est-elle contrôlée ?	0	10	15	20	<u>30</u>
5- Maîtrisez-vous votre charge de travail ?	0	10	15	20	<u>30</u>
6- Disposez-vous des coûts de maintenance équipement par équipement ?	0	10	15	<u>20</u>	30
7- Le service maintenance dispose-t-il d'un outil de gestion informatisé de l'activité ?	0	10	15	20	<u>30</u>
8- Disposez-vous des informations de synthèse dans un délai suffisamment court ?	0	10	15	<u>20</u>	30
9- Emettez-vous régulièrement (tous les mois ou annuellement) un compte rendu des activités ?	0	10	15	20	<u>30</u>
L- 300 Points possibles	Sous -score :		250		

3.1. Résultats du diagnostic

Après avoir analysé le questionnaire de LAVINA réalisé à l'entreprise SONATRACH-DP-TFT, nous avons abouti aux résultats suivants :

Domaines d'analyses	Scores obtenus	Max possible	Pourcentage
A- Organisation générale	202.5	250	81%
B- Méthodes de travail	225	250	90%
C- Suivi technique des équipements	210	250	84%
D- Gestion du portefeuille de travaux	215	300	<u>71.5%</u>
E- Stock de pièces de rechange	82.5	200	<u>41.25%</u>
F- Achat et approvisionnement des pièces et matières	140	200	<u>70%</u>
G- Organisation matérielle de l'atelier maintenance	160	200	80%
H- Outillages	185	200	92.5%
I- Documentation technique	192,5	200	96.25%
J- Personnel et formation	385	400	96.25%
K- Sous-traitance	152.5	250	<u>61%</u>
L- Contrôle de l'activité	250	300	83.3%
SCORE TOTAL	2400	3000	80%

**Tableau II.3. Résultats du questionnaire de LAVINA réalisé à l'entreprise
SONATRACH-DP-TFT**

Le tableau (II.3) permet d'identifier quatre domaines présentant des faiblesses ou dont l'action est prioritaire. Ce sont les domaines dont le pourcentage indiqué à la quatrième colonne du tableau est inférieur à celui du score total (Gestion du portefeuille de travaux, Stock de pièces de rechange, Achat et approvisionnement des pièces et matières et la Sous-traitance).

3.2. Critique et propositions

Le tableau (II.4) montre les propositions que nous formulons pour remédier aux manques observés dans les quatre rubriques qui affichent une faiblesse. Ces propositions devraient augmenter le score de chaque rubrique jusqu'à arriver à un pourcentage aussi proche que possible de la moyenne totale. La figure (II.5) montre la situation actuelle et celle souhaitée, c'est-à-dire celle que devrait atteindre l'entreprise une fois les propositions précédentes sont adoptées.

Rubriques du questionnaire	Propositions d'amélioration
D- Gestion du portefeuille de travaux	Etablir un programme détaillé de maintenance préventive
	Etablir un système d'enregistrement des demandes des travaux
	Programmer des rencontres périodiques entre les techniciens ainsi que les chefs d'équipes pour débattre des priorités, problèmes de planning, personnel, etc.
E- Stock de pièces de rechange	Eliminer systématiquement les pièces obsolètes
	Suivre rigoureusement la consommation des articles par équipement
	Définir le seuil de déclenchement et les quantités à approvisionner pour chaque article en stock
F- Achat et approvisionnement des pièces et matières	Toute demande de pièces à cout élevé doit faire l'objet d'un accord spécial du responsable de service
	Les délais d'émission d'une demande doivent être aussi courts que possible
K- Sous-traitance	Avoir la possibilité de recours à de multiples entreprises locales de sous-traitance
	Les contrats avec les sous-traitants doivent inclure des clauses de résultats
	Créer et mettre à jour un dossier par affaire selon une procédure de constitution pré-déterminée

Tableau II.4. Propositions d'amélioration

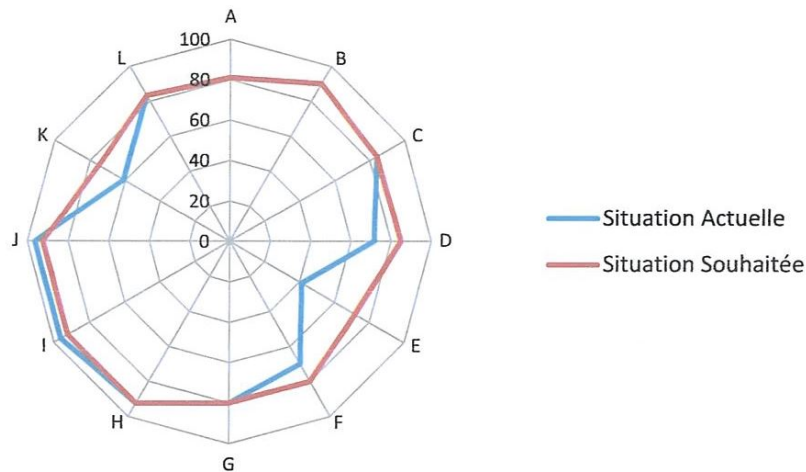


Figure II.8. Digramme de Kiviat montrant la situation actuelle et celle souhaitée

4. Conclusion du chapitre

Ce chapitre avait pour objectif deux volets principaux : le premier concerne la présentation de l'entreprise où nous avons passé notre stage pratique, le deuxième concerne l'étude critique de la maintenance au sein de l'entreprise. En effet après une brève présentation du rôle, fonctions et différentes sections et départements de l'entreprise, nous avons entamé une étude critique de la fonction maintenance existante par l'application de la méthode de Lavina. Un questionnaire formé de douze rubriques, chacune contenant des dizaines de questions, a été réalisé grâce au concours de plusieurs responsables de l'entreprise intervenant de près ou de loin dans la fonction maintenance. Les résultats ont permis de cibler quatre domaines qui présentent des faiblesses et qui nécessitent une amélioration. Des propositions ont alors été formulées et qui permettront, une fois adoptées, d'améliorer les faiblesses dans les domaines ciblés.

Chapitre 03 : ANALYSE QUANTITATIVE PAR ETUDE FIABILISTE.

CHAPITRE III : ANALYSE QUANTITATIVE PAR ETUDE FIABILISTE

Introduction

Ce chapitre vise une analyse quantitative des défaillances par application d'une étude fiabiliste. Pour ce faire notre choix s'est posé sur un système d'une importance capitale dans l'entreprise. Il s'agit d'un système de deux trains de compression de gaz travaillant en redondance passive constitués de huit machines. L'étude s'est donc portée sur les huit machines en appliquant le modèle probabiliste de Weibull et en utilisant le logiciel de fiabilité FIABOPTIM. Une fois les résultats de chaque machine obtenus, une étude fiabiliste par application des techniques des redondances est ensuite entamée pour permettre l'étude de chaque train séparément et enfin de tout le système en entier.

1. Présentation du système étudié

Après discussion avec les responsables de l'entreprise et après un constat personnel durant notre période de stage, notre choix s'est posé sur un ensemble de deux trains de compression parallèles travaillant en redondance passive. Cette installation est d'une importance capitale pour l'entreprise ce qui justifie notre choix. Les deux trains sont identiques, chaque train est constitué de deux turbines, trois compresseurs, un multiplicateur et un réducteur auxiliaire. La figure (III.1) représente un schéma simplifié d'un train de compression.

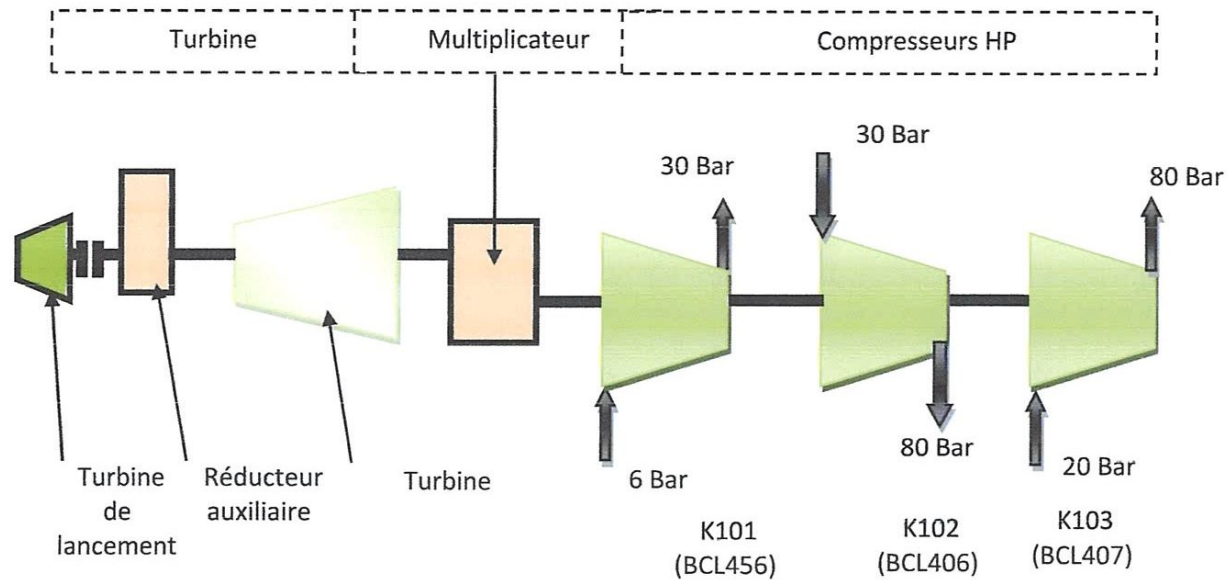


Figure III.1. Schéma simplifié du train de compression

1.1. Eléments constitutifs du train de compression

❖ Turbine de lancement

La turbine de lancement est un lanceur à gaz qui convertit l'énergie de pression en énergie mécanique. Elle sert à entraîner ou ramener l'arbre HP de la turbine de la vitesse 0 à 60% ou de 00 t/mn à 3000 t/mn de la charge totale par l'intermédiaire d'un système d'embrayage hydraulique avec muni d'un accouplement spécial, et devient indépendante jusqu'à 100% de la HP et 80% de la BP.

❖ Réducteur auxiliaire

Il est utilisé pour entraîner les divers auxiliaires mécaniques, il est composé d'un train d'engrenages nécessaires pour permettre une réduction de vitesse désirée (de 5100 t/mn à 3000 t/mn). Les accessoires entraînés par le réducteur auxiliaire sont la pompe hydraulique principale ainsi que la pompe à huile de graissage principale.

❖ Turbine

La turbine à gaz a deux arbres à entraînement mécanique modèle série 5002B ou C, fabriquée par NUOVO PIGNONE, est une machine utilisée pour entraîner une

charge variante. Le premier étage HP entraîne le compresseur axial et ses accessoires à 5100 t/mn. La roue turbine deuxième étage BP entraîne les compresseurs de charge. Le but des roues turbines non reliées est de permettre à la roue BP de fonctionner à des vitesses différentes pour satisfaire aux exigences variables des compresseurs centrifuges. La turbine à gaz est conçue avec quatre paliers utilisant des coussinets lisses elliptiques et à patins oscillants graissés sous pression. Les coussinets lisses 1 et 2 supportent le rotor du compresseur axial et la roue de la turbine premier étage HP. Les coussinets 3 et 4 à patins oscillants supportent la roue turbine deuxième étage BP et l'arbre de puissance. La conception avec quatre paliers assure des vitesses critiques des parties tournantes supérieures à la plage de vitesse de service de la turbine. Elle permet aussi un démarrage facile et une montée en puissance variante.

❖ **Multiplicateur**

Le multiplicateur ou boîte de vitesse est une machine à deux arbres (PV et GV) conçue pour ramener la vitesse de sortie turbine (5000 t/mn) avec un rapport de 2.119 à la vitesse de charge d'environ 10000 t/mn. La vitesse de sortie du multiplicateur varie avec la charge de la turbine.

❖ **Compresseurs HP**

Il s'agit de trois compresseurs centrifuges en série (BCL 456- BCL 406- BCL 407) entraînés par une turbine à gaz par l'intermédiaire d'un multiplicateur avec un rapport de transmission de 2.119 où la vitesse d'entraînement est d'environ 10000 t/mn pour ramener la pression d'aspiration de 6 bars à la pression de refoulement du 2^{ème} et le 3^{ème} étage à 80 bars.

1.2. Fiche technique de la turbine et des compresseurs

a. Les compresseurs

Fabricant		NUOVO PIGNONE		
N° de l'appareil		K101-A/B	K102-A/B	K103-A/B
Type		BCL 456	BCL 406	BCL 407
N° de série		10528/10531	10529/10532	10530/10533
Capacité	Nm3/H	86968	94919	84631
Débit Pondéral	KG/mn	1494,1	1619,1	1331,6
Pression Aspiration	KG/cm2	6,7	27,5	23
Température Aspiration	°C	45	55	48,5
Pression Refoulement	KG/cm2	28,5	82,7	83,5
Température Refoulement	°C	162	153	170
Puissance requise	KW	18650	18650	18650
Vitesse Nominale	Tr/mn	9780	9780	9780
Nombre Rotors		6	6	7
Poids	KG	650	350	380

b. Les deux turbines A et B

Fabricant		GENERAL ELECTRIC
Type		5001
Modèle		Pc-534-1
N° série		245149/245150
Température Compresseur	C°	15
Pression Compresseur	Psi	14,7
Fuel		Gaz Naturel
Puissance Sortie	Kw	25850
Taux de Chaleur	Btu/kw-hr	12230
Consommation	Btu/hr	310x10exp6

Flux Air	Lbs/hr	928.000
Vitesse Arbre	Rpm	5105
Modèle		Peak
Nombre Etages compresseur		17
Année		

b.1. Alternateurs

Fabricant		SMIT
Type		Dtg165/180/180
N° Série		1-3245-1b2
Puissance	Kva	26750
Vitesse	Tr/mn	3000
Tension	Volts	5500
Intensité	Ampère	2808
Facteur de puissance	Cos α	0,8
Fréquence	Hz	50
Excitation		190v-600a

b.2. Moteurs turbines

Fabricant		HEEMAF
Type	Electrique	Ik3151bt-2
N° série		88/cr1/88cr2
Tension	Volts	380
Puissance	Kw	300
Intensité	Ampère	324
Vitesse	Rpm	2950
Quantité		2



Figure III.2. Les trois compresseurs en série plus la turbine

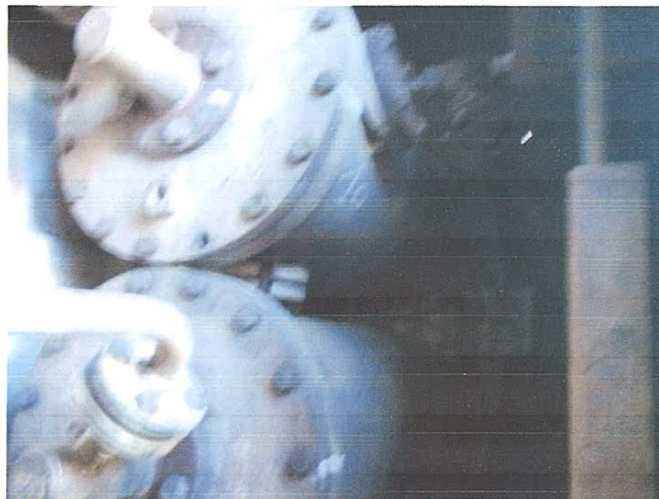


Figure III.3. La turbine

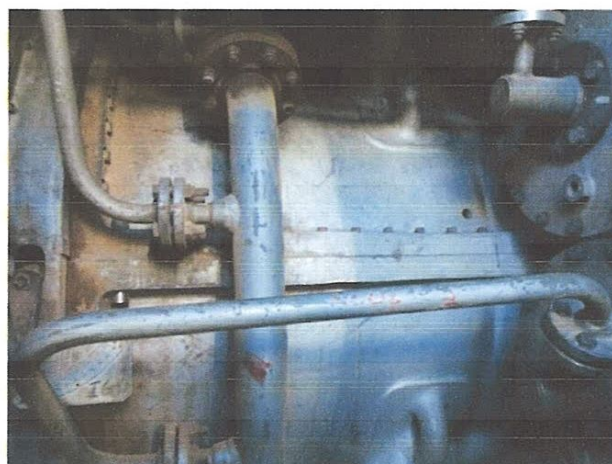




Figure III.4. Compresseur BCL

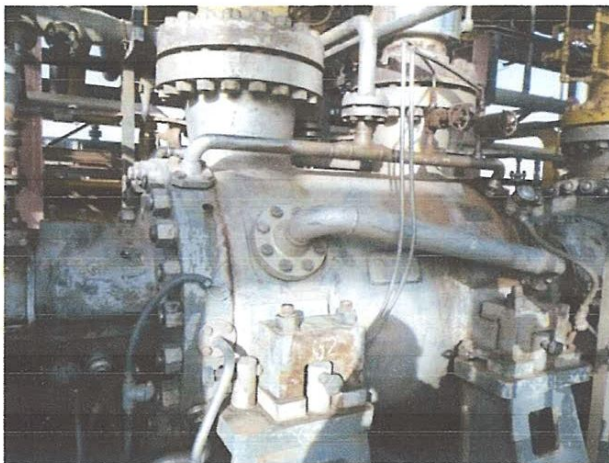


Figure III.5. BCL406

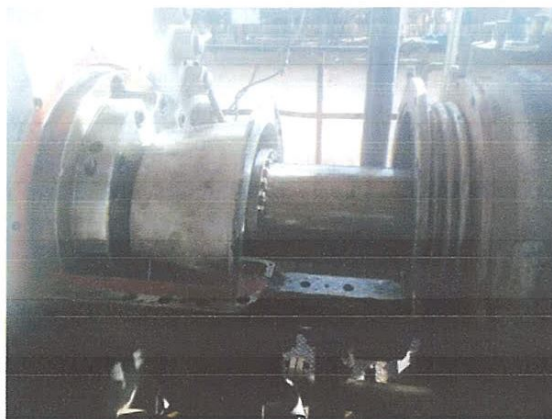


Figure III.6. L'accouplement entre les deux compresseurs

2. Analyse fiabiliste du système

2.1. Présentation du logiciel FAIBOPTIM

FIABOPTIM est un logiciel destiné à l'analyse numérique et graphique des données de fiabilité. Il permet, à partir de données opérationnelles ou expérimentales, d'estimer la loi de distribution des défaillances, d'estimer les paramètres caractéristiques de ces lois et de calculer ensuite la fiabilité prévisionnelle du système étudié pour les dates (temps, cycles, km, etc...) désirées. Conçu par des spécialistes de la fiabilité ayant une grande expérience du terrain, **FIABOPTIM** se veut un outil pratique, simple et efficace. Son aspect pratique provient de la connaissance acquise par la société **OPTIM DEVELOPPEMENT** des problèmes concrets rencontrés par les entreprises, notamment dans les évaluations de fiabilité prévisionnelle de leur produit.

FIABOPTIM a également été développé dans le souci d'une grande simplicité d'utilisation pour convenir aussi bien au spécialiste qu'au néophyte. Un grand soin a donc été apporté à la logique de l'enchaînement des opérations du logiciel ainsi qu'à sa présentation pour aboutir à une simplicité et une convivialité optimales. Son efficacité, enfin, qui découle aussi des qualités précédentes, est due à l'utilisation des modèles mathématiques les plus récents en matière d'estimation. [14]

2.2. Présentations des données et des résultats obtenus

Nous allons dans la partie qui suit présenter l'étude de la fiabilité de chaque constituant de chaque train séparément. Huit machines seront donc traitées (4 machines dans chaque train). Notons que les données de base pour entamer une étude de la fiabilité sont les TBF. Ceux-ci ont été collectés à partir du dossier historique de chaque machine. Le modèle de fiabilité utilisé est celui de Weibull étant le modèle le plus souple et le plus utilisé en pratique.

2.2.1. Le train A

2.2.1.1. Compresseur BCL 456(K01A)

i	TBF (h)
1	589
2	3934
3	5242
4	8823
5	12050
6	13345
7	24814
8	43607

Paramètres du modèle

Beta= 1.023

Eta =16170.8 h

Gamma=-840.476

MTBF=A*Eta + Gamma

Depuis l'annexe A=0.9803 donc : MTBF=15010.975 h

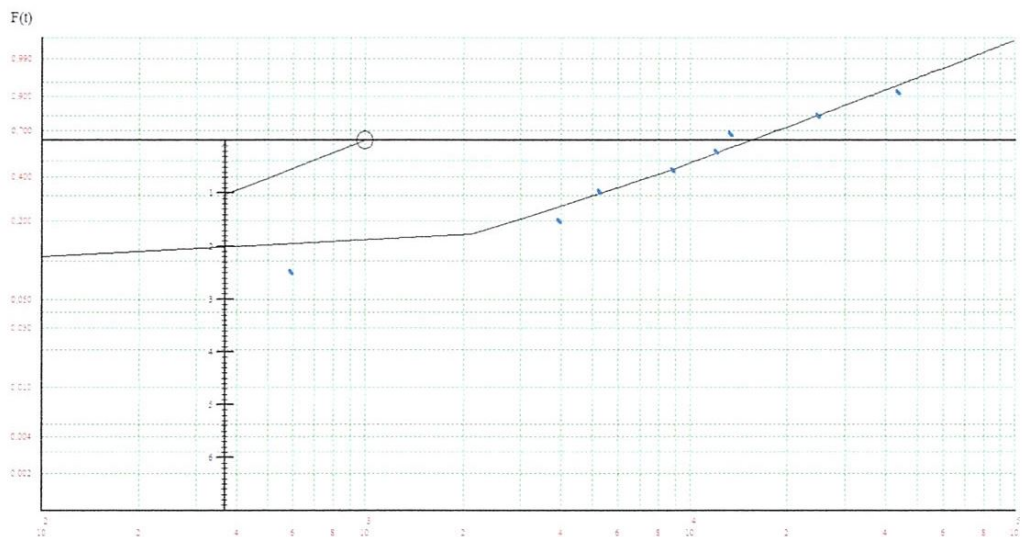


Figure III.7. Représentation des TBF sur le papier de Weibull

Lois de fiabilité

La fonction de défaillance, notée $F(t)$, est de la forme :

$$F(t) = 1 - R(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} = 1 - e^{-\left(\frac{t+840.476}{16170.8}\right)^{1.023}}$$

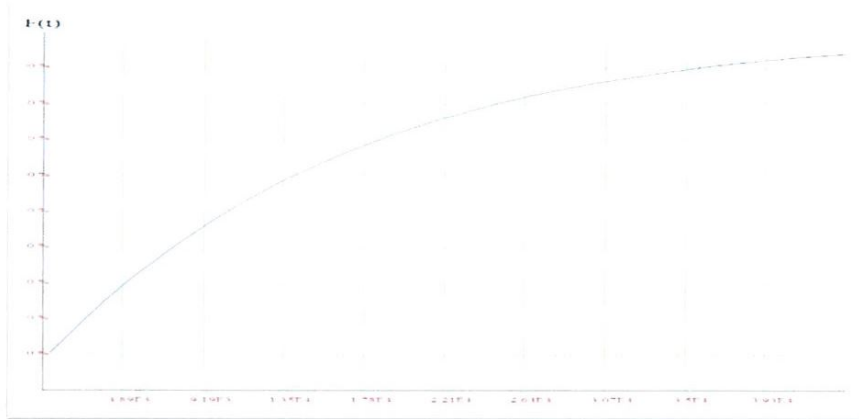


Figure III.8. Fonction de défaillance $F(t)$

Cette fonction est croissante avec le temps, ce qui est parfaitement logique car la probabilité d'avoir une panne augmente avec le temps. La valeur de cette fonction pour $t=MTBF$ est égale à 62%, ce qui implique que le compresseur a 62 % de chances d'avoir une panne avant d'atteindre la MTBF, ceci confirme qu'il n'est pas fiable.

La fonction de fiabilité est donnée par l'équation de $R(t)$:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} = e^{-\left(\frac{t+840.476}{16170.8}\right)^{1.023}}$$

Avec : $R(t=MTBF)=0.37=37\%$

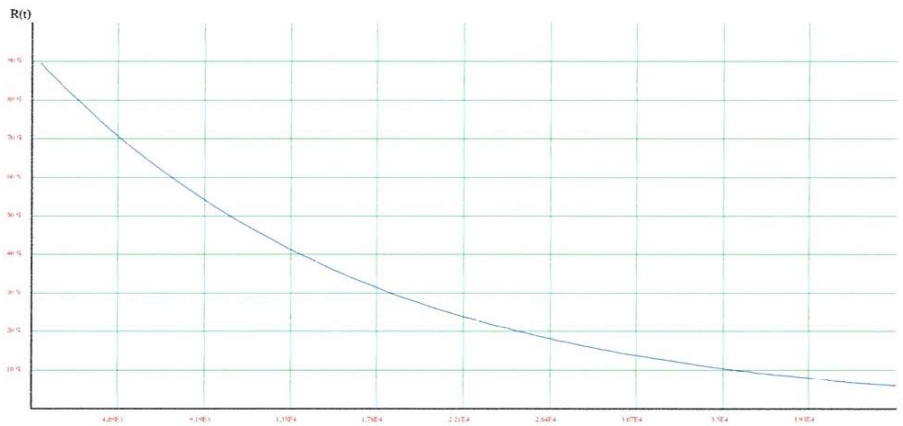


Figure III.9. Fonction de fiabilité R(t)

Cette fonction est décroissante avec le temps, ce qui est parfaitement logique car la probabilité de bon fonctionnement diminue avec le temps. La valeur de cette fonction pour $t=MTBF$ est égale à 38%, ce qui implique que le compresseur a 38 % de chances d’atteindre la MTBF, ceci confirme parfaitement la conclusion qu’il n’est pas fiable.

La troisième loi de fiabilité est la densité de probabilité de défaillance $f(t)$. Elle permet d’estimer à n’importe quel instant la densité d’avoir une panne. Son expression est la suivante :

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^\beta} = \frac{1.023}{16170.8} \left(\frac{t + 840.476}{16170.8} \right)^{0.023} \cdot e^{-\left(\frac{t + 840.476}{16170.8} \right)^{1.023}}$$

Enfin le taux de défaillance est donné par l’expression :

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} = \frac{1.023}{16170.8} \left(\frac{t + 840.476}{16170.8} \right)^{0.023}$$

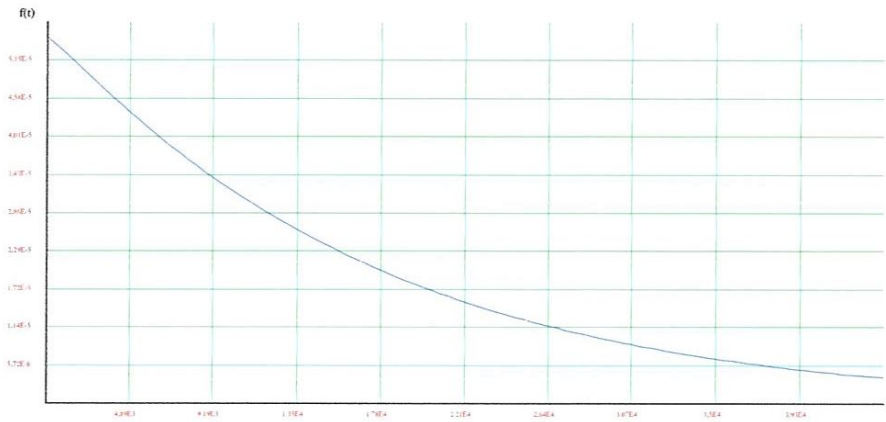


Figure III.10. Densité de probabilité de défaillance $f(t)$

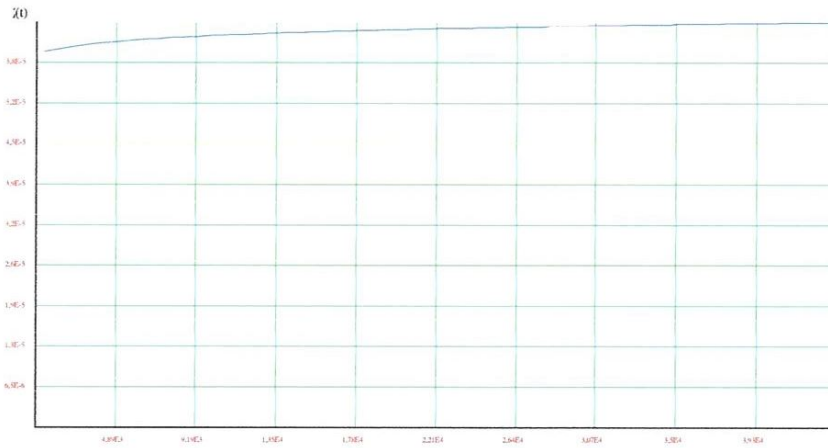


Figure III.11. Taux de défaillance $\lambda(t)$

Le taux de défaillance affiche une allure presque constante, ceci est expliqué par le fait que le paramètre Beta de la loi de Weibull est presque égal à 1. En conclusion ce compresseur est en période de maturité, il faut appliquer une politique de maintenance basée sur du préventif et du correctif. Vu l'importance de ce compresseur, une maintenance conditionnelle basée sur un suivi et une analyse vibratoire est souhaitable. Des visites préventives sont également à programmer dont les périodes seront définies en fonction de la MTBF calculée par le logiciel et le planning de maintenance de l'entreprise.

2.2.1.2. Compresseur BCL 406

i	TBF (h)
1	2569
2	3048
3	3401
4	3740
5	4303
6	5422
7	6270
8	6378
9	7181
10	7374
11	8114
12	8310
13	9400
14	9691
15	10348
16	13144
17	13665
18	14416
19	14466

Paramètres du modèle

Beta=1.35824

Eta=6867.02 h

Gamma=1909.32

MTBF=A *Eta + Gamma ; A= 0.9170

MTBF=8206.4 h

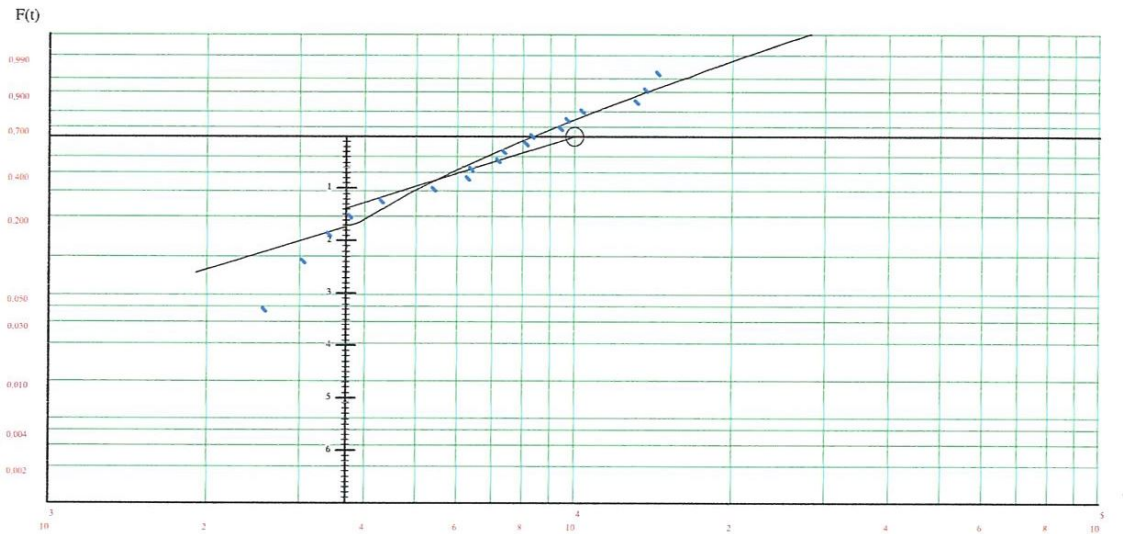


Figure III.12. Représentation des TBF sur le papier de Weibull

Lois de fiabilité

La fonction de défaillance, notée F(t), est donc de la forme :

$$F(t) = 1 - R(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} = 1 - e^{-\left(\frac{t-1909.32}{6867.02}\right)^{1.36}}$$

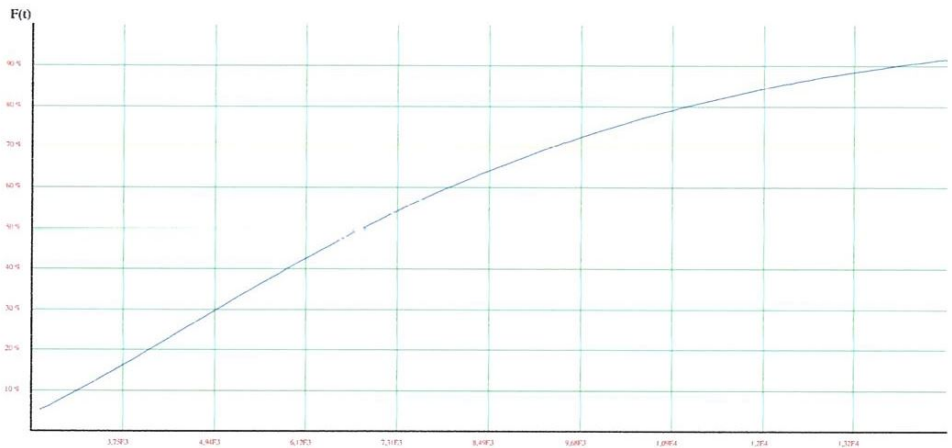


Figure III.13. Fonction de défaillance F(t)

Cette fonction est croissante avec le temps, ce qui est parfaitement logique car la probabilité d’avoir une panne augmente avec le temps. La valeur de cette fonction pour t=MTBF est égale à 59 %, ce qui implique que le compresseur a 59% de chances d’avoir une panne avant d’atteindre la MTBF, ceci confirme parfaitement la conclusion qu’il n’est pas fiable.

La fonction de fiabilité est donnée par l'équation de R(t) :

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} = e^{-\left(\frac{t-1909.32}{6867.02}\right)^{1.36}}$$

Avec : $R(t=MTBF)=0.41=41\%$

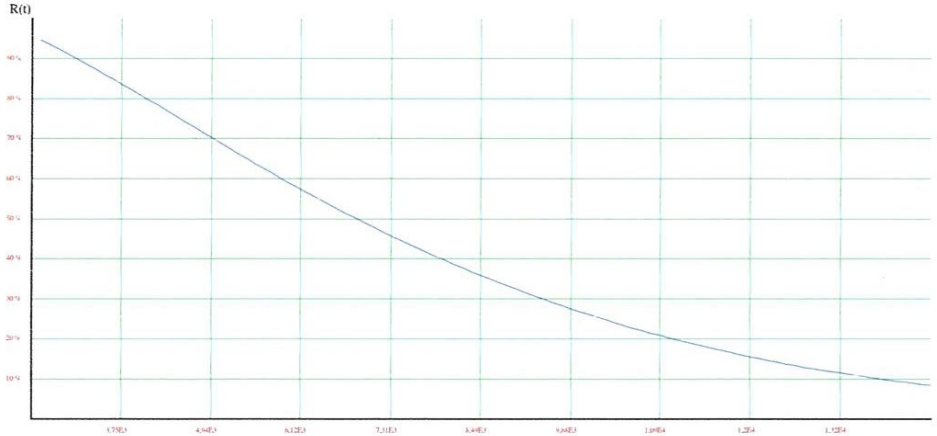


Figure III.14. Fonction de fiabilité R(t)

Cette fonction est décroissante avec le temps, ce qui est parfaitement logique car la probabilité de bon fonctionnement diminue avec le temps. La valeur de cette fonction pour $t=MTBF$ est égale à 41%, ce qui implique que le compresseur a 41 % de chances d'atteindre la MTBF, ceci confirme parfaitement la conclusion qu'il n'est pas fiable.

La troisième loi de fiabilité est la densité de probabilité de défaillance $f(t)$. Elle permet d'estimer à n'importe quel instant la densité d'avoir une panne. Son expression est la suivante :

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} = \frac{1.36}{6867.02} \left(\frac{t-1909.32}{6867.02}\right)^{0.36} \cdot e^{-\left(\frac{t-1909.32}{6867.02}\right)^{1.36}}$$

Le taux de défaillance affiche une allure croissante avec le temps, ceci est expliqué par le fait que le paramètre Beta de la loi de Weibull est supérieur à 1 (1,35). En conclusion ce compresseur est en période de vieillesse, il faut appliquer une politique de maintenance basée plutôt sur du correctif. Il faut assurer la disponibilité des pièces de rechange, car la vitesse de survenue des pannes sera de plus en plus rapide. Vu l'importance de ce compresseur, une maintenance conditionnelle basée sur un suivi et une analyse vibratoire est souhaitable. Des visites préventives sont

également à programmer dont les périodes seront définis en fonction de la MTBF calculée par le logiciel et le planning de maintenance de l'entreprise.

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} = \frac{1.36}{6867.02} \left(\frac{t - 1909.32}{6867.02} \right)^{0.36}$$

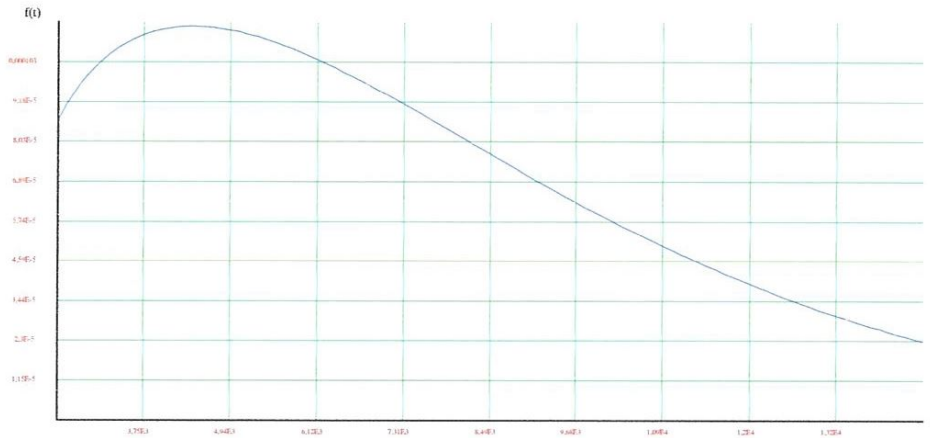


Figure III.15. Densité de probabilité de défaillance f(t)

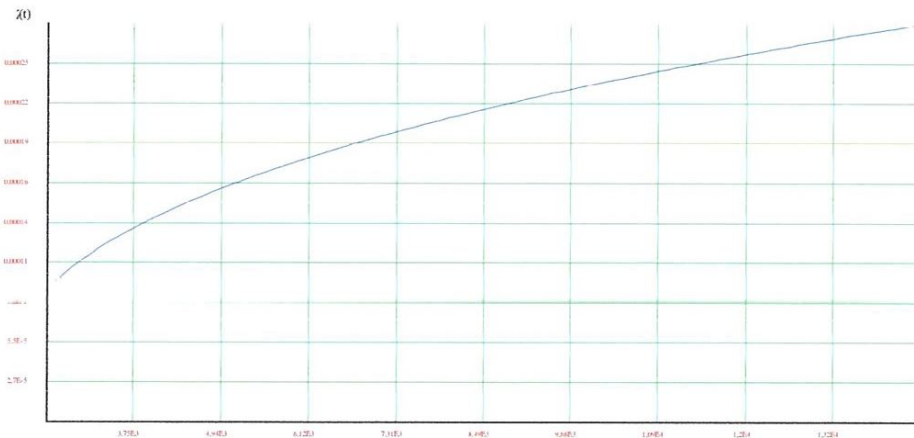


Figure III.16. Taux de défaillance lambda(t)

2.2.1.3. Compresseur BCL 407

i	TBF (h)
1	311
2	1739
3	5422
4	7384
5	13144
6	19362
7	21800

Paramètres du modèle

Beta=1.02

Eta=12401.7 h

Gamma=-1061.75

MTBF= A*Eta + Gamma ; A=0.9803

MTBF=11095.6 h

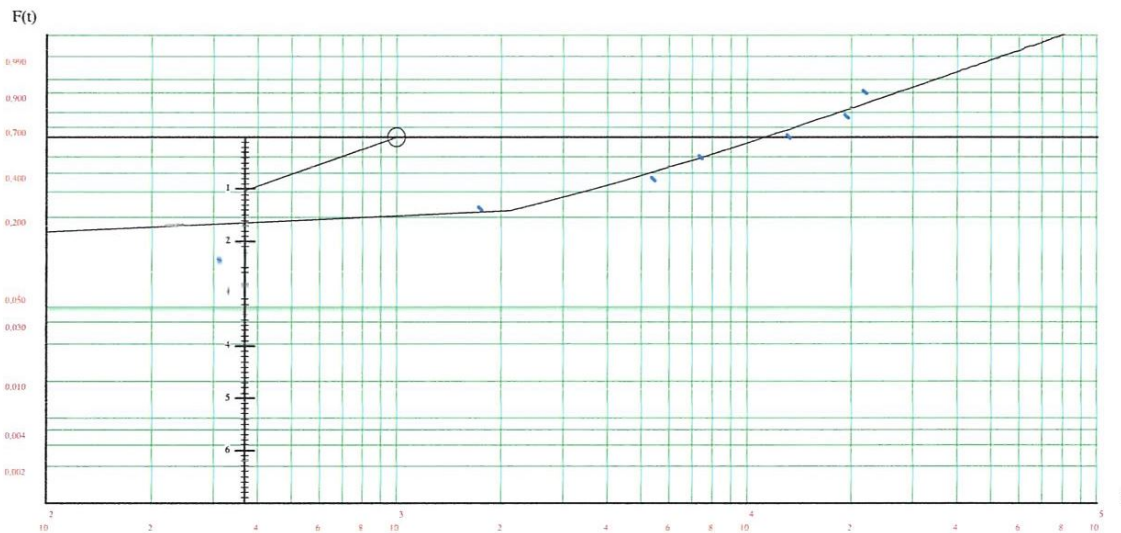


Figure III.17. Représentation des TBF sur le papier de Weibull

Lois de fiabilité

La fonction de défaillance, notée F(t), est de la forme :

$$F(t) = 1 - R(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} = 1 - e^{-\left(\frac{t+1061.75}{12401.7}\right)^{1.02}}$$

Cette fonction est croissante avec le temps, ce qui est parfaitement logique car la probabilité d’avoir une panne augmente avec le temps. La valeur de cette fonction pour t=MTBF est égale à 63%, ce qui implique que le compresseur a 63% de chances d’avoir une panne avant d’atteindre la MTBF, ceci confirme qu’il n’est pas fiable.

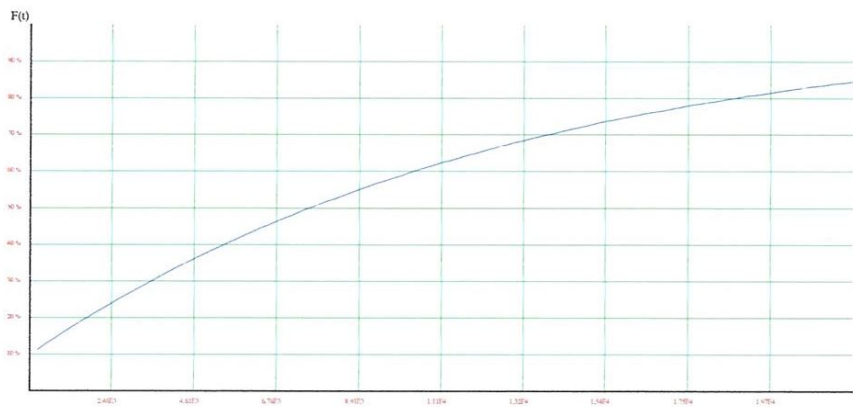


Figure III.18. Fonction de défaillance F(t)

La fonction de fiabilité est donnée par l’équation de R(t) :

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} = e^{-\left(\frac{t+1061.75}{12401.7}\right)^{1.02}} \quad \text{Avec : } R(t=MTBF)=0.37=37\%$$

Cette fonction est décroissante avec le temps, ce qui est parfaitement logique car la probabilité de bon fonctionnement diminue avec le temps. La valeur de cette fonction pour t=MTBF est égale à 37%, ce qui implique que le compresseur a 37 % de chances d’atteindre la MTBF, ceci confirme parfaitement la conclusion qu’il n’est pas fiable.

La troisième loi de fiabilité est la densité de probabilité de défaillance f(t). Elle permet d’estimer à n’importe quel instant la densité d’avoir une panne. Son expression est la suivante :

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} = \frac{1.02}{12401.7} \left(\frac{t+1061.75}{12401.7}\right)^{0.02} \cdot e^{-\left(\frac{t+1061.75}{12401.7}\right)^{1.02}}$$

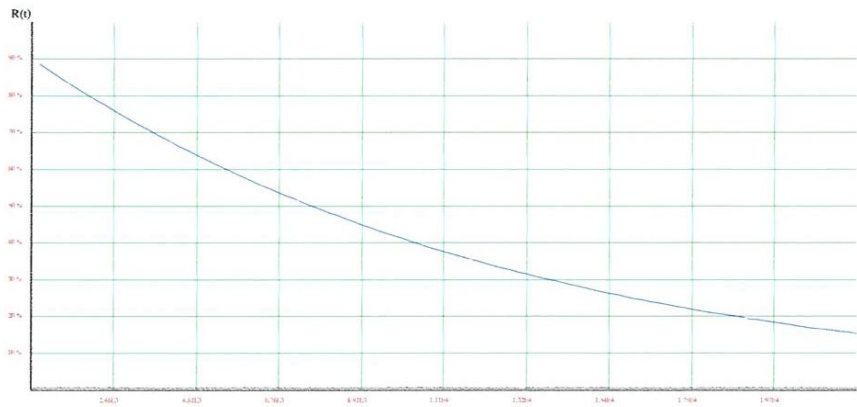


Figure III.19. Fonction de fiabilité R(t)

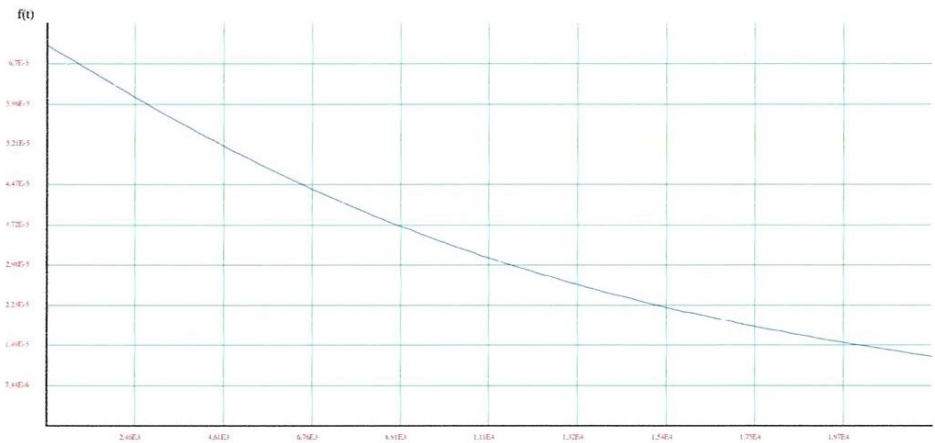


Figure III.20. Densité de probabilité de défaillance f(t)

Le taux de défaillance affiche une allure presque constante, ceci est expliqué par le fait que le paramètre Beta de la loi de Weibull est presque égal à 1. En conclusion ce compresseur est en période de maturité, il faut appliquer une politique de maintenance basée sur du préventif et du correctif. Vu l'importance de ce compresseur, une maintenance conditionnelle basée sur un suivi et une analyse vibratoire est souhaitable. Des visites préventives sont également à programmer dont les périodes seront définies en fonction de la MTBF calculée par le logiciel et le planning de maintenance de l'entreprise. L'expression du taux de défaillance pour ce compresseur est donnée par :

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} = \frac{1.02}{12401.7} \left(\frac{t+1061.75}{12401.7} \right)^{0.02}$$

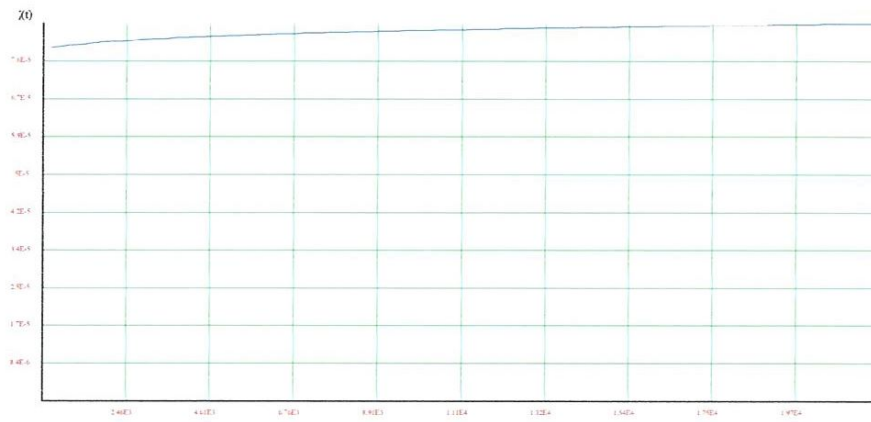


Figure III.21. Taux de défaillance $\lambda(t)$

2.2.1.4. La turbine A

i	TBF (h)
1	70
2	93
3	123
4	124
5	147
6	160
7	180
8	210
9	232
10	253
11	270
12	295
13	321
14	350
15	432
16	443
17	596
18	723
19	789
20	846
21	856

Paramètres du modèle

Beta=1.095

Eta=322.049 h

Gamma=56.4461

MTBF=A*Eta + Gamma ; A=09649

MTBF=367.19 h

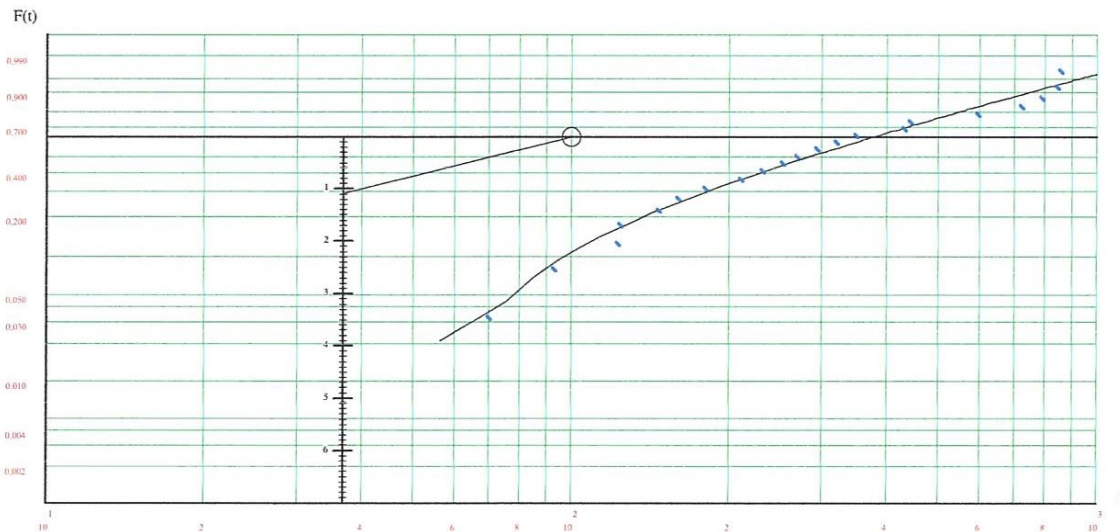


Figure III.22. Représentation des TBF sur le papier de Weibull

Lois de fiabilité

La fonction de défaillance, notée F(t) est de la forme :

$$F(t) = 1 - R(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} = 1 - e^{-\left(\frac{t-56.45}{322.049}\right)^{1.095}}$$

La valeur de cette fonction pour t=MTBF est égale à 62 %, ce qui implique que la turbine à 62% de chances d’avoir une panne avant d’atteindre la MTBF, ceci confirme la conclusion qu’elle n’est pas fiable.

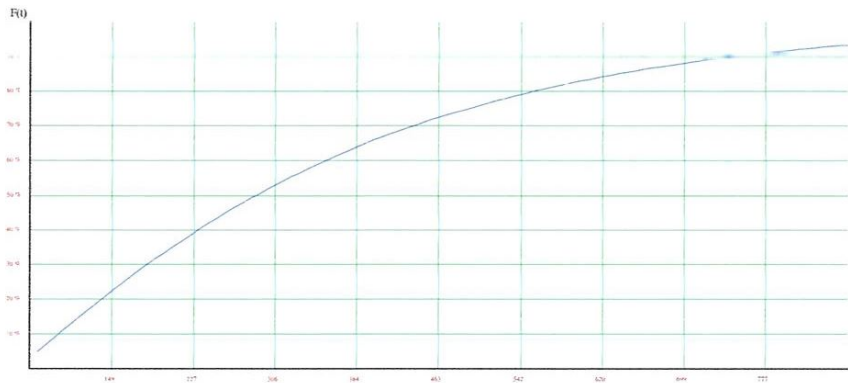


Figure III.23. Fonction de défaillance F(t)

La fonction de fiabilité est donnée par l’équation de R(t) :

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} = e^{-\left(\frac{t-56.45}{322.049}\right)^{1.095}} \quad \text{Avec : } R(t=MTBF)=0.38=38\%$$

Cette fonction est décroissante avec le temps, ce qui est parfaitement logique car la probabilité de bon fonctionnement diminue avec le temps. La valeur de cette fonction pour $t=MTBF$ est égale à 38%, ce qui implique que la turbine a 38 % de chances d'atteindre la MTBF, ceci confirme parfaitement la conclusion qu'elle n'est pas fiable.

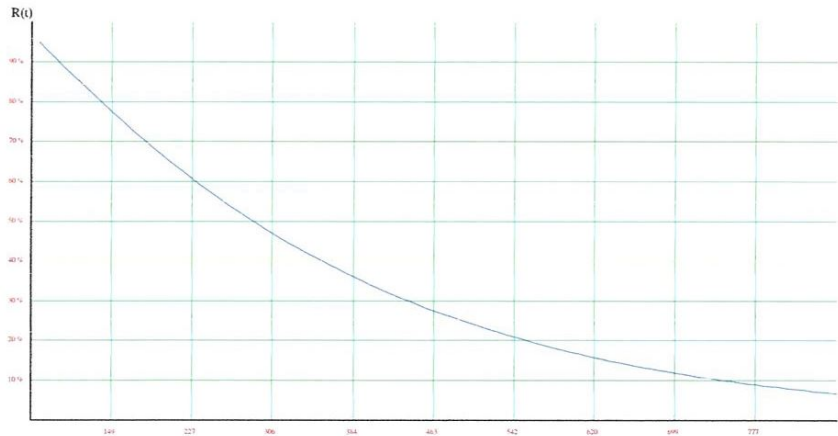


Figure III.24. Fonction de fiabilité R(t)

La troisième loi de fiabilité est la densité de probabilité de défaillance f(t). Son expression est la suivante :

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^\beta} = \frac{1.095}{322.049} \left(\frac{t - 56.45}{322.049} \right)^{0.095} \cdot e^{-\left(\frac{t - 56.45}{322.049} \right)^{1.095}}$$

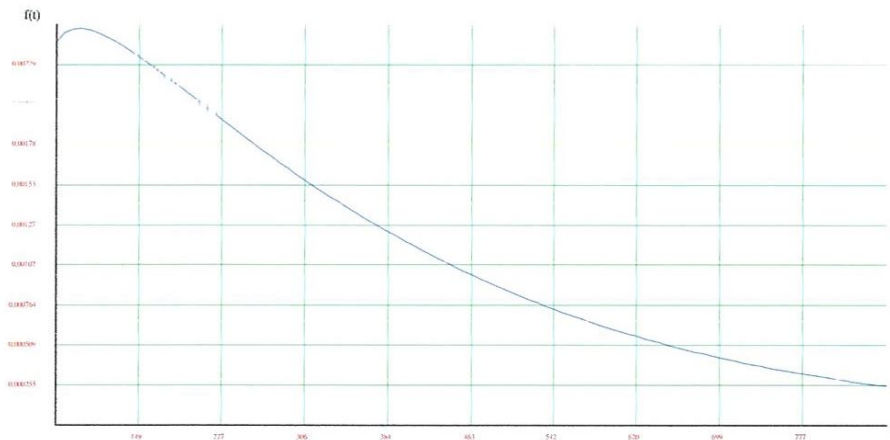


Figure III.25. Densité de probabilité de défaillance f(t)

Le taux de défaillance affiche une allure légèrement croissante, ceci est expliqué par le fait que le paramètre Beta de la loi de Weibull est proche de 1 (1.09).

En conclusion la turbine est au début de la période de vieillesse, il faut appliquer une politique de maintenance basée sur du correctif avec disponibilité des pièces de rechange. Vu l'importance de la turbine, une surveillance vibratoire permanente est indispensable

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} = \frac{1.095}{322.049} \left(\frac{t - 56.46}{322.049} \right)^{0.095}$$

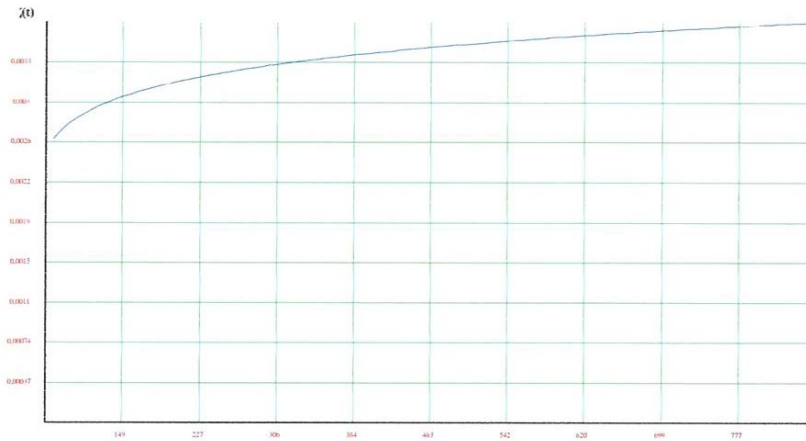


Figure III.26. Taux de défaillance $\lambda(t)$

2.2.2. Le train B

2.2.2.1. Le compresseur BCL 456

i	TBF (h)
1	1143
2	1831
3	3949
4	6320
5	11174
6	14298
7	15326
8	17900
9	24847

Paramètres du modèle

Beta=1.008

Eta=12118 h

Gamma=20.0871

MTBF=A*Eta + Gamma ; A=1

MTBF=12138 h

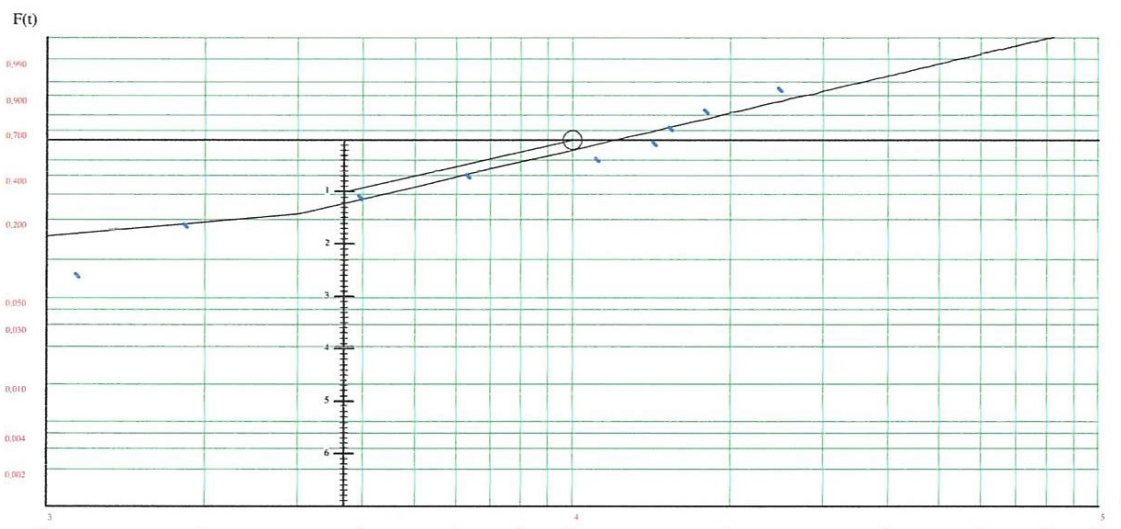


Figure III.27. Représentation des TBF sur le papier de Weibull

Lois de fiabilité

La fonction de défaillance, notée F(t), est donc de la forme :

$$F(t) = 1 - R(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} = 1 - e^{-\left(\frac{t-20.0871}{12118}\right)^{1.008}}$$

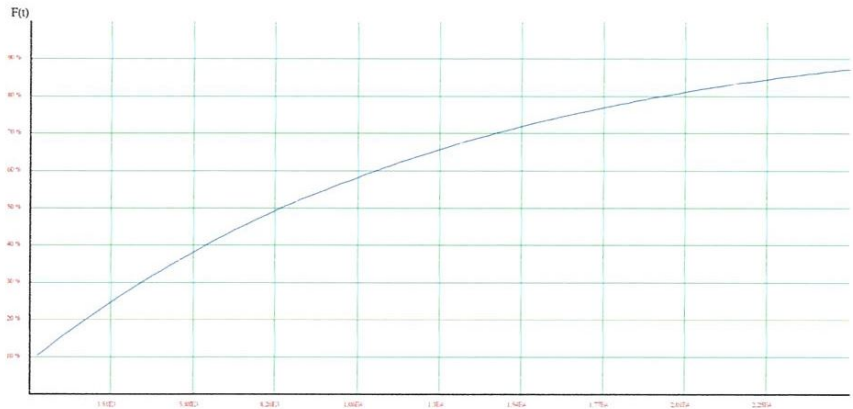


Figure III.28. Fonction de défaillance F(t)

Cette fonction est croissante avec le temps, ce qui est parfaitement logique car la probabilité d’avoir une panne augmente avec le temps. La valeur de cette fonction pour t=MTBF est égale à 63%, ce qui implique que le compresseur a 63% de chances d’avoir une panne avant d’atteindre la MTBF, ceci confirme qu’il n’est pas fiable.

La fonction de fiabilité est donnée par l’équation de R(t) :

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} = e^{-\left(\frac{t-20.0871}{12118}\right)^{1.008}} \quad \text{Avec : } R(t=MTBF)=37\%$$

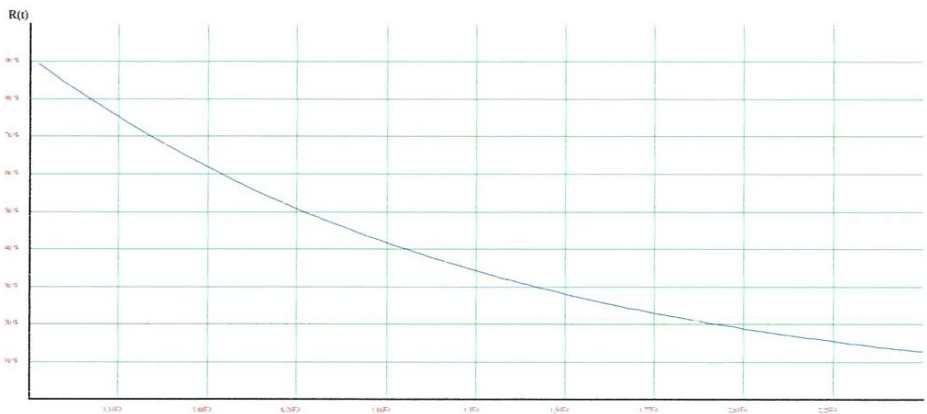


Figure III.29. Fonction de fiabilité R(t)

Cette fonction est décroissante avec le temps, ce qui est parfaitement logique car la probabilité de bon fonctionnement diminue avec le temps. La valeur de cette fonction pour $t=MTBF$ est égale à 37%, ce qui implique que la turbine a 37% de chances d'atteindre la MTBF, ceci confirme parfaitement la conclusion qu'elle n'est pas fiable.

La troisième loi de fiabilité est la densité de probabilité de défaillance $f(t)$. Elle permet d'estimer à n'importe quel instant la densité d'avoir une panne. Son expression est la suivante :

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^\beta} = \frac{1.008}{12118} \left(\frac{t - 20.0871}{12118} \right)^{0.008} \cdot e^{-\left(\frac{t - 20.0871}{12118} \right)^{1.008}}$$

Enfin le taux de défaillance est donné par :

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} = \frac{1.008}{12118} \left(\frac{t - 20.0871}{12118} \right)^{0.008}$$

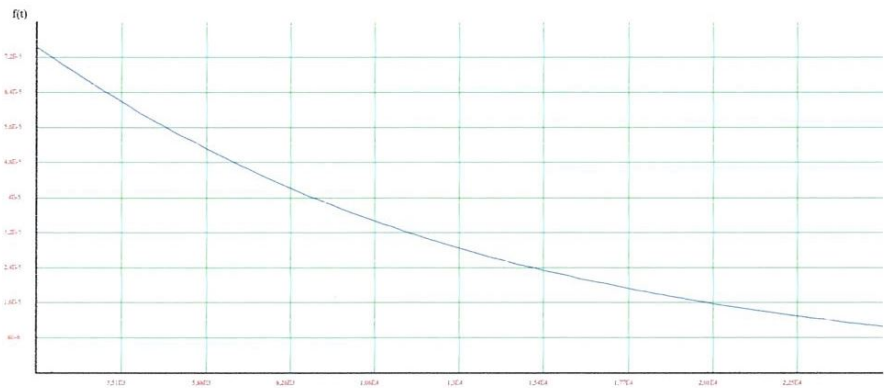


Figure III.30. Densité de probabilité de défaillance $f(t)$

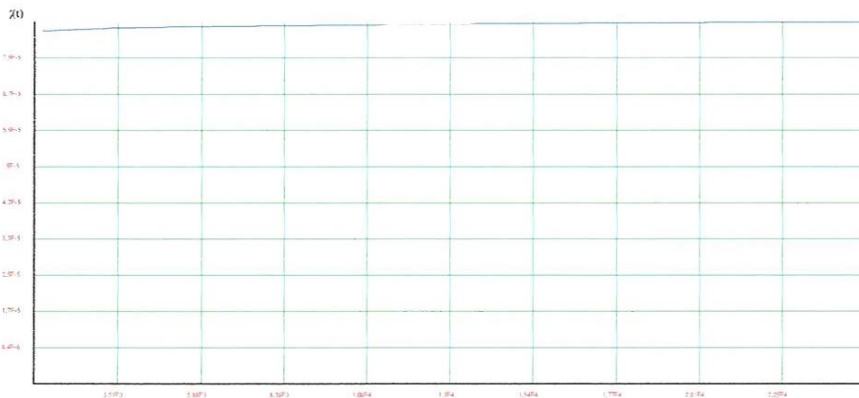


Figure III.31. Taux de défaillance $\lambda(t)$

Le taux de défaillance affiche une allure quasi-constante, ceci est expliqué par le fait que le paramètre Beta de la loi de Weibull est égal à 1. En conclusion ce compresseur est en période de maturité, il faut appliquer une politique de maintenance basée sur du préventif et du correctif. Vu l'importance de ce compresseur, une maintenance conditionnelle basée sur un suivie et une analyse vibratoire est souhaitable.

La densité de probabilité de défaillance $f(t)$ est la suivante :

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^\beta} = \frac{1.85}{36130.5} \left(\frac{t + 9371.92}{36130.5} \right)^{0.85} \cdot e^{-\left(\frac{t + 9371.92}{36130.5} \right)^{1.85}}$$

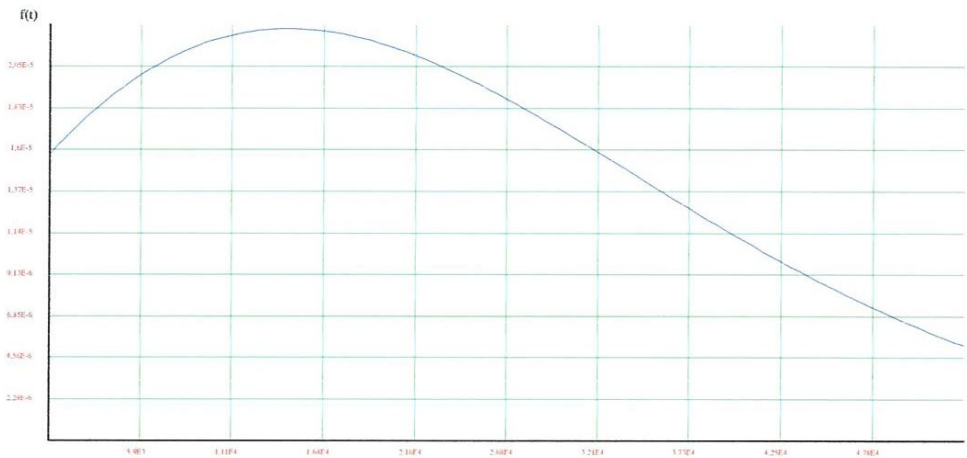


Figure III.40. Densité de probabilité de défaillance $f(t)$

Le taux de défaillance est donné par :

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} = \frac{1.85}{36130.5} \left(\frac{t + 9371.92}{36130.5} \right)^{0.85}$$

Il affiche une allure quasiment croissante avec le temps, ceci est expliqué par la valeur du paramètre Beta du modèle qui est très supérieur à 1 (1,85). Donc ce compresseur est en pleine période de vieillesse, il faut appliquer une maintenance corrective et préventive conditionnelle, une surveillance accrue basée sur un suivie vibratoire.

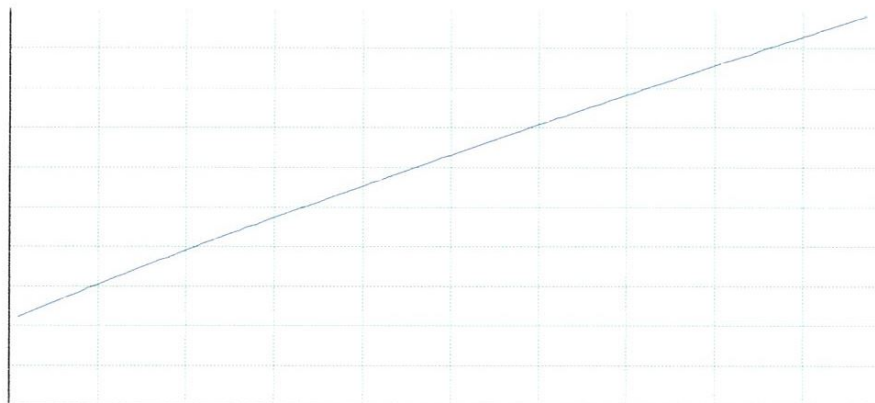


Figure III.41. Taux de défaillance $\lambda(t)$

2.2.2.4. La turbine B

i	TBF (h)
1	54
2	59
3	65
4	72
5	96
6	102
7	103
8	116
9	152
10	177
11	223
12	253
13	310
14	339
15	352
16	404
17	419
18	596
19	915
20	945
21	1037

Paramètres du modèle

Beta=1.188

Eta=339.397 h

Gamma=0

MTBF=A*Eta + Gamma; A=0.9407

MTBF=319.27 h

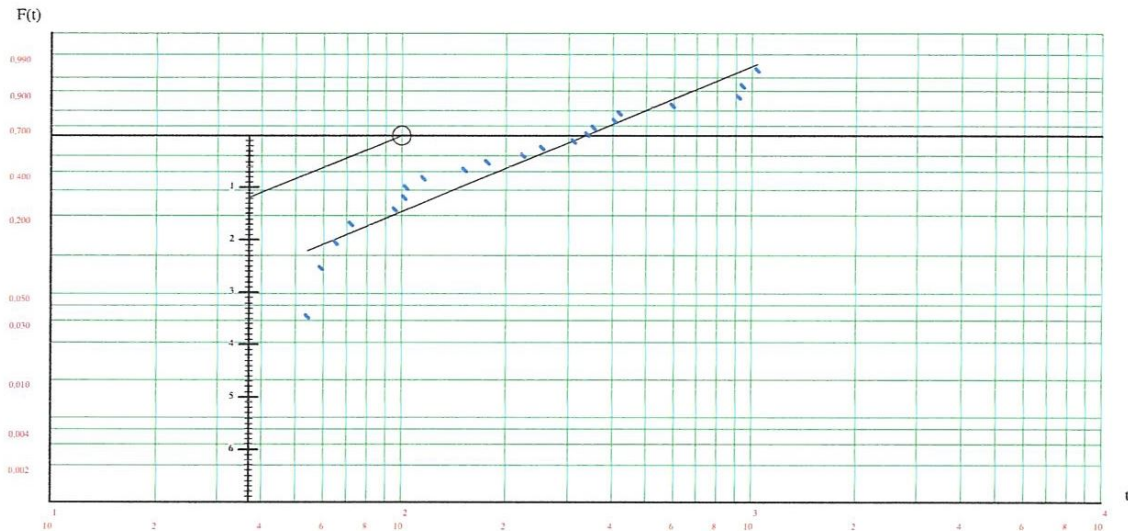


Figure III.42. Représentation des TBF sur le papier de Weibull

La fonction de défaillance, notée F(t), est donc de la forme :

$$F(t) = 1 - R(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} = 1 - e^{-\left(\frac{t}{339.397}\right)^{1.188}}$$

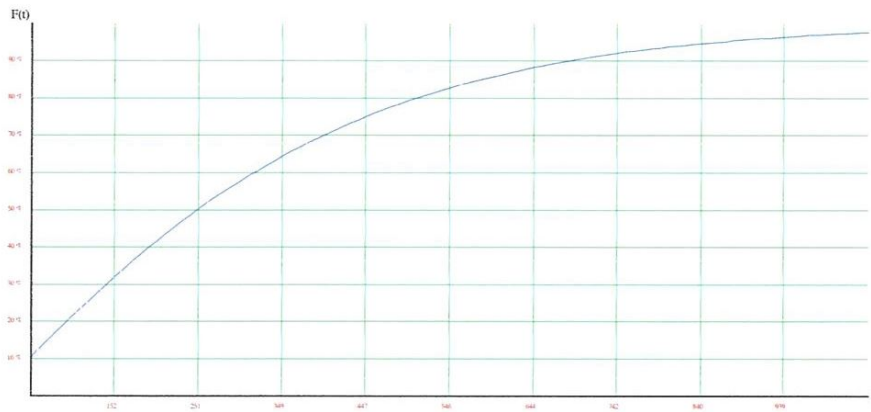


Figure III.43. Fonction de défaillance F(t)

La valeur de cette fonction pour t=MTBF est égale à 61%, ce qui implique que la turbine à 61% de chances d’avoir une panne avant d’atteindre la MTBF, ceci confirme parfaitement la conclusion qu’il n’est pas fiable.

La fonction de fiabilité est donnée par l’équation de R(t) :

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} = e^{-\left(\frac{t}{339.397}\right)^{1.188}} \quad \text{Avec : } R(t=MTBF)=39\%$$

La turbine à 39% de chances de vivre jusqu'à MTBF, donc elle n'est pas fiables

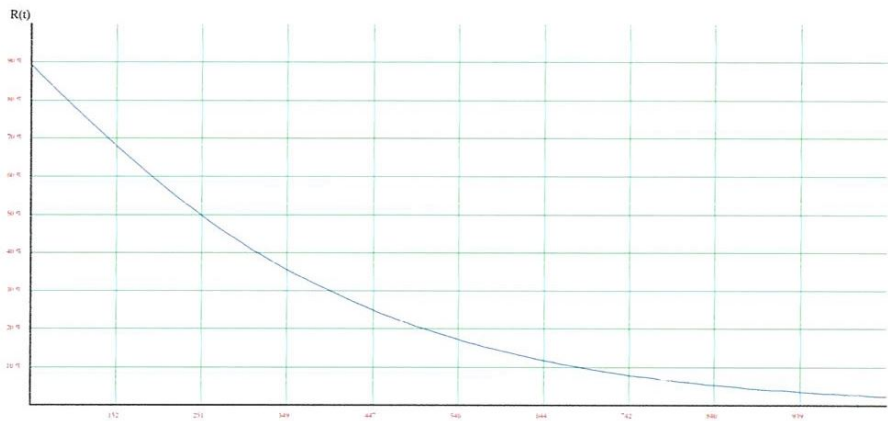


Figure III.44. Fonction de fiabilité R(t)

La densité de probabilité de défaillance f(t) est la suivante :

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^\beta} = \frac{1.188}{339.397} \left(\frac{t}{339.397} \right)^{0.188} \cdot e^{-\left(\frac{t}{339.397} \right)^{1.188}}$$

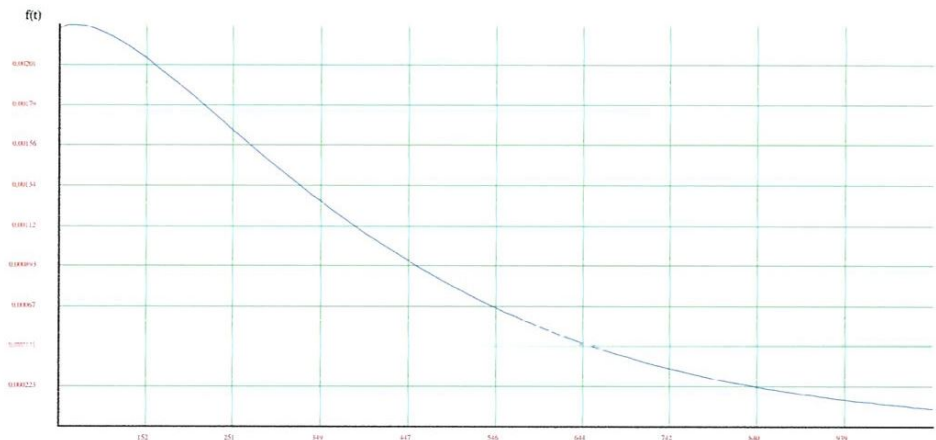


Figure III.45. Densité de probabilité de défaillance f(t)

Enfin le taux de défaillance est donné par :

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} = \frac{1.188}{339.397} \left(\frac{t}{339.397} \right)^{0.188}$$

Son allure est croissante avec le temps, ce qui signifie que la turbine est en période de vieillesse.

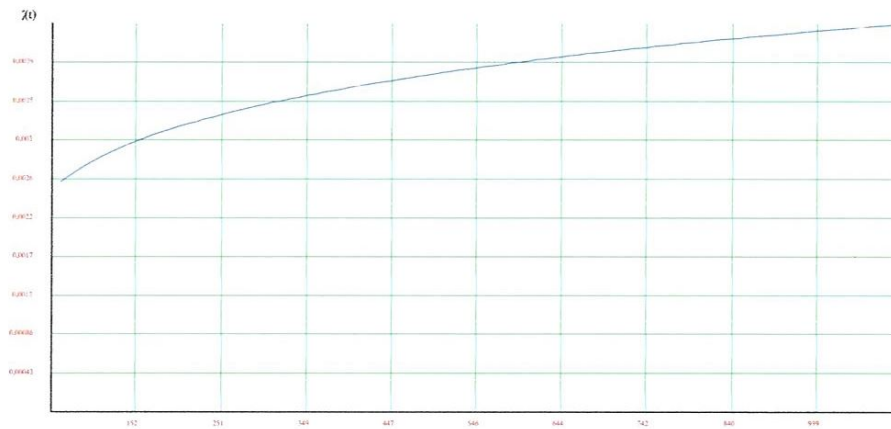


Figure III.46. Taux de défaillance $\lambda(t)$

2.3. Récapitulation des résultats de l'étude de fiabilité des huit machines des deux trains du système

Machine	MTBF (h)	Période de vie	Fiable ?	R(t= MTBF)
Turbine A	367.19	Fin maturité Début vieillesse	NON	38%
Compresseur BCL456A	15010.975	Maturité	NON	37 %
Compresseur BCL406A	8206.4	Vieillesse	NON	41%
Compresseur BCL407A	11095.6	Maturité	NON	37%
Turbine B	319.27	Vieillesse	NON	39%
Compresseur BCL456B	12138 h	Maturité	NON	37%
Compresseur BCL406B	13221.5	Maturité	NON	38%
Compresseur BCL407B	22719.2	Vieillesse	NON	45%

En conclusion :

1. Les huit machines des deux trains du système ne sont pas fiables, la fiabilité maximale pour $t=MTBF$ est enregistrée pour le compresseur BCL407B mais reste relativement faible (45%). Pour les autres machines, les fiabilités pour $t=MTBF$, faibles aussi, sont relativement proches les unes des autres (37%-41%). En pratique, il faut chercher les raisons responsables de ces taux faibles de fiabilité et essayer de trouver des solutions pour l'amélioration.

2. Les MTBF des deux turbines sont proches, pour les compresseurs les MTBF varient entre 8206.4 h à 22719.2 h. Notons que la plus faible MTBF est enregistrée pour le compresseur BCL406A, celle-ci nécessite plus d'investigation pour déterminer la/les cause(s).

3. Le calcul du paramètre Beta du modèle de Weibull a permis de déterminer la période de vie de chaque machine. Ce résultat permet d'adopter le type de maintenance adéquat et les dispositions spéciales (Surveillance, analyse vibratoire, disponibilité des PDR).

2.4. Calcul de la fiabilité du système entier par application de la technique des redondances

Le problème que se pose le technicien de maintenance lorsqu'il fait une étude de fiabilité est : comment peut-il l'améliorer ? Pour cela, il peut intervenir sur la technologie du composant, ou agencer les composants ou sous-systèmes de manière à les rendre plus fiables par l'utilisation de redondances. Il existe plusieurs types de redondances, nous aborderons les plus utilisées, à savoir : Redondances actives et Redondances passives. [15]

2.4.1. Redondance active

Une redondance active concerne des éléments assurant les mêmes fonctions et travaillant en même temps. On distingue deux types de redondance active : celle qui concerne les systèmes en série et celle qui concerne les systèmes parallèles.

2.4.1.1. Système série

On dit qu'un système est un système série du point de vue fiabilité, si le système tombe en panne lorsqu'un seul de ses éléments est en panne. La figure (III.48) montre le schéma bloc d'un système série.

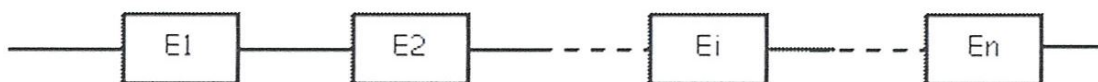


Figure III.47. Schéma bloc d'un système série

Dans ce cas la fiabilité du système est égale au produit de la fiabilité des éléments.

$$R_s = R_1.R_2.R_3...R_i....R_n = \prod_{i=1}^n R_i$$

2.4.1.2. Système parallèle

On dit qu'un système est un système parallèle du point de vue fiabilité si, lorsqu'un de ses éléments ou plusieurs tombent en panne, le système ne tombe pas en panne. La figure (III.49) montre les schémas bloc d'un système parallèle à deux et n éléments.

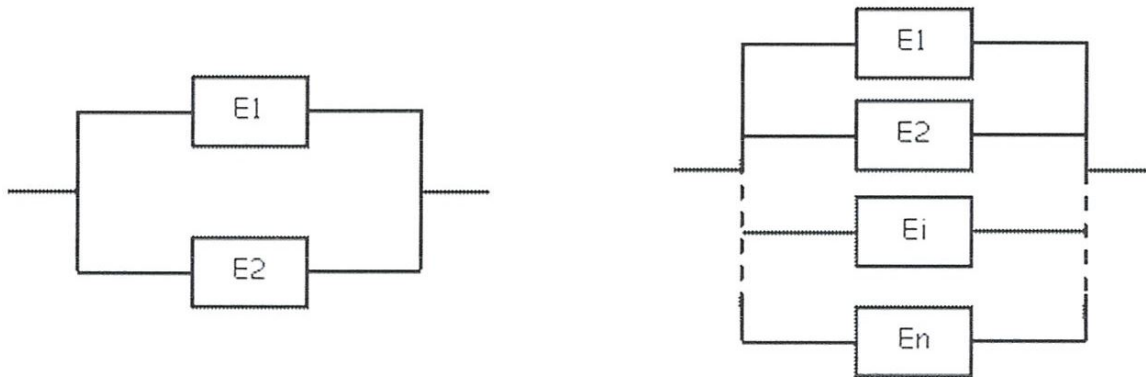


Figure III.48. Système parallèle à 2 et n éléments

Dans le cas d'un système à deux éléments, la fiabilité se calcule par la formule :

$$R_s = R_1 + R_2 - R_1.R_2$$

Pour le cas général d'un système à n éléments, la fiabilité est donnée par :

$$R_s = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i)$$

2.4.2. Redondance passive (standby)

Dans ce cas un seul élément travaille, l'autre ou les autres éléments sont en attente. Ceci a l'avantage de diminuer ou de supprimer le vieillissement des éléments ne travaillant pas. La figure (III.50) montre l'exemple d'une redondance passive à 2 et n éléments.

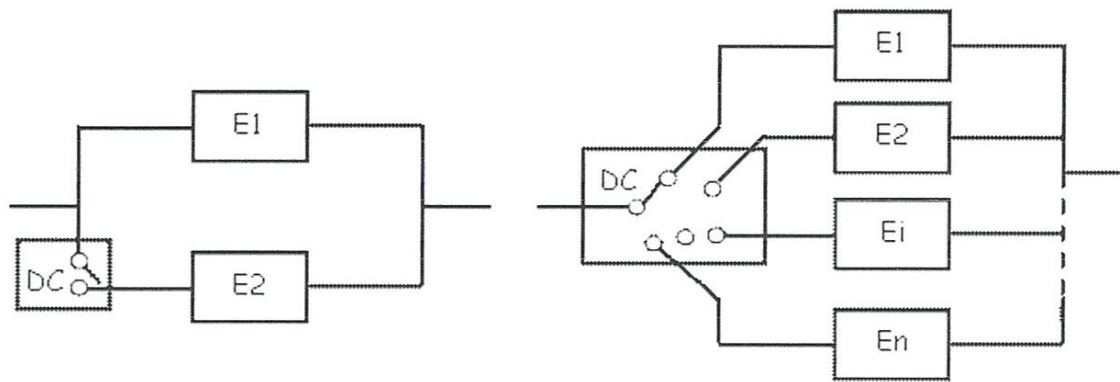


Figure III.49. Schéma bloc d'un système à redondance passive à 2 et n éléments

Pour le cas de deux éléments et en mettant en hypothèse que le taux de défaillance des éléments E1 et E2 est constant et égal respectivement à λ_1 et λ_2 avec :

$R1 = e^{-\lambda_1 t}$ et $R2 = e^{-\lambda_2 t}$, la fiabilité du système revient, tout calcul fait, à :

$$R_s = \frac{\lambda_1 \cdot e^{-\lambda_2 t} - \lambda_2 \cdot e^{-\lambda_1 t}}{\lambda_1 - \lambda_2}$$

Si on prend en compte l'élément DC et en considérant que $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda$, la fiabilité du système revient à :

$$R_s = e^{-(\lambda_{DC} + \lambda)t} (1 + \lambda t)$$

Pour un système à n éléments, la fiabilité revient à :

$$R_s = e^{-(\lambda_{DC} + \lambda)t} \left[\sum_{i=0}^{n-1} \frac{(\lambda t)^i}{i!} \right]$$

2.4.3. Application au système étudié

Le système en question est composé de deux trains de compression qui travaillent en redondance passive (un train travaille, l'autre est en attente). Chaque train comporte quatre éléments travaillant en redondance active en série : trois compresseurs et une turbine.

- **Fiabilité du train A**

$$R_A = R_{\text{Turbine A}} * R_{\text{BCL456A}} * R_{\text{BCL406A}} * R_{\text{BCL407A}}$$

$$R_A = e^{-\left(\frac{t-56.45}{322.049}\right)^{1.095}} * e^{-\left(\frac{t+840.476}{16170.8}\right)^{1.023}} * e^{-\left(\frac{t-1909.32}{6867.02}\right)^{1.36}} * e^{-\left(\frac{t+1061.75}{12401.7}\right)^{1.02}}$$

Cette expression permet de calculer la fiabilité du train A à n'importe quel instant

- **Fiabilité du train B**

$$R_B = R_{\text{Turbine B}} * R_{\text{BCL456B}} * R_{\text{BCL406B}} * R_{\text{BCL407B}}$$

$$R_B = e^{-\left(\frac{t}{339.397}\right)^{1.188}} * e^{-\left(\frac{t-1015.83}{12451}\right)^{1.025}} * e^{-\left(\frac{t-20.0871}{12118}\right)^{1.008}} * e^{-\left(\frac{t+9371.92}{36130.5}\right)^{1.85}}$$

Cette expression permet de calculer la fiabilité du train B à n'importe quel instant

- **Fiabilité du système entier**

En pose $\lambda = \text{constant}$ donc :

$$\lambda = \frac{1}{MTBF}$$

$$\lambda_{\text{Train}} = \lambda_{\text{turbine}} + \lambda_{\text{compresseur r1}} + \lambda_{\text{compresseur r2}} + \lambda_{\text{compresseur r3}}$$

Pour le train A

$$\lambda_{\text{moyen(A)}} = \frac{1}{MTBF1} + \frac{1}{MTBF2} + \frac{1}{MTBF3} + \frac{1}{MTBF4}$$

$$\lambda_{\text{moyen(A)}} = \frac{1}{15010.975} + \frac{1}{8206.4} + \frac{1}{11095.6} + \frac{1}{367.19}$$

$$\lambda_{\text{moyen(A)}} = 0.0037 \text{ pannes/heure}$$

Pour le train B

$$\lambda_{\text{moyen(B)}} = \frac{1}{MTBF1} + \frac{1}{MTBF2} + \frac{1}{MTBF3} + \frac{1}{MTBF4}$$

$$\lambda_{\text{moyen(B)}} = \frac{1}{12138} + \frac{1}{13221.5} + \frac{1}{22719.2} + \frac{1}{319.27}$$

$$\lambda_{\text{moyen(B)}} = 0.0033 \text{ pannes/heures}$$

Donc la fiabilité de tout le système est égale à :

$$R_s = \frac{\lambda_A \cdot e^{-\lambda_B t} - \lambda_B \cdot e^{-\lambda_A t}}{\lambda_A - \lambda_B}$$

$$R_s = \frac{0.0037 \cdot e^{-0.0033t} - 0.0033 \cdot e^{-0.0037t}}{0.0037 - 0.0033} \Leftrightarrow R_s = \frac{0.0037 \cdot e^{-0.0033t} - 0.0033 \cdot e^{-0.0037t}}{0.0004}$$

Cette expression permet de calculer la fiabilité de tout le système à n'importe quel instant.

3. Conclusion du chapitre

Ce chapitre avait pour objectif d'entamer une étude quantitative des défaillances par utilisation des études fiabilistes. Pour ce faire, notre choix s'est posé sur une installation d'une importance capitale dans l'entreprise. Il s'agit d'un système de compression de gaz composé de deux trains de compression, chacun comporte trois compresseurs et une turbine. L'étude de fiabilité que nous avons menée a porté donc sur les huit machines du système en utilisant le logiciel FIABOPTIM. Les résultats ont permis de déterminer les lois de fiabilité, la moyenne des temps de bon fonctionnement, ainsi que la période de vie de chaque machine du système. Sur la base des résultats relatifs à chaque machine, nous avons entamé une étude fiabiliste de tout le système en utilisant la technique de redondance.

Chapitre 04: ETUDE QUALITATIVE.

CHAPITRE IV : ETUDE QUALITATIVE DES RISQUES DE DEFAILLANCES

Introduction

L'objectif de ce chapitre est d'entamer une analyse qualitative des risques de défaillances. Comme nous ne pouvons appliquer cette analyse sur les huit machines du système, nous avons choisi une des machines les plus importantes, à savoir le compresseur BCL 406. Pour ce faire nous avons choisi d'associer plusieurs méthodes : l'analyse fonctionnelle, l'analyse préliminaire des risques, les arbres de défaillances et l'AMDEC. A l'issue du chapitre nous proposons un plan de maintenance préventive et corrective de ce compresseur.

1. Analyse fonctionnelle du compresseur BCL 406

Le compresseur BCL 406 est une machine très importante dans le système de compression, un arrêt imprévu de ce compresseur provoquera l'arrêt de tout le système. La figure (IV.1) montre une photo du compresseur, la figure (IV.2) montre un schéma explicatif des principaux constituants du compresseur.

En appliquant la démarche déjà expliquée dans le chapitre 1, nous proposons dans l'organigramme de la figure (IV.3) le schéma fonctionnel du compresseur. Ce schéma permet de bien comprendre les fonctions principales et techniques et les organes principaux qui les assurent.

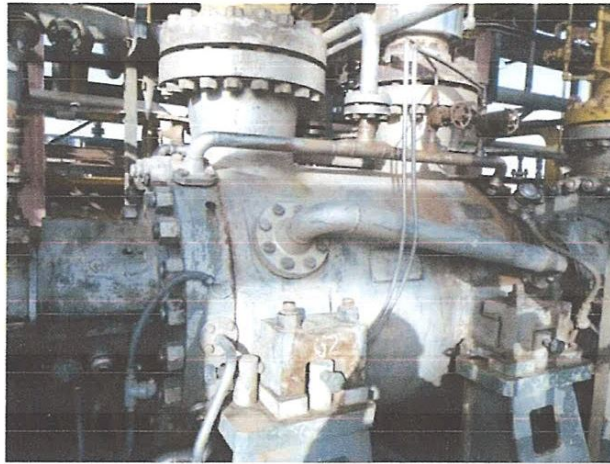


Figure IV.1. Photo du compresseur

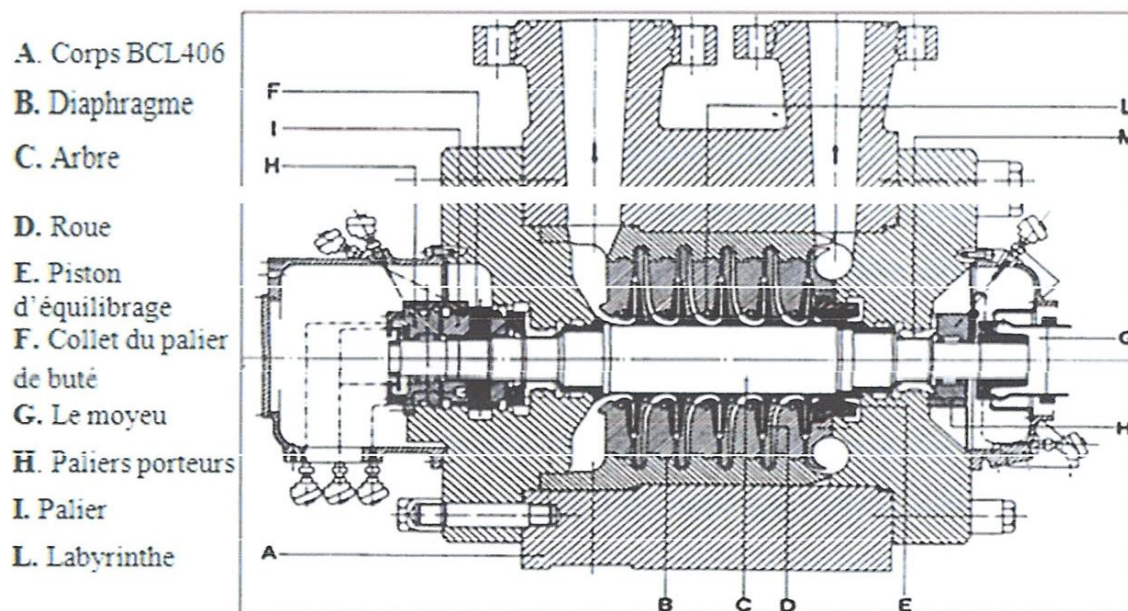


Figure IV.2. Schéma technique du compresseur

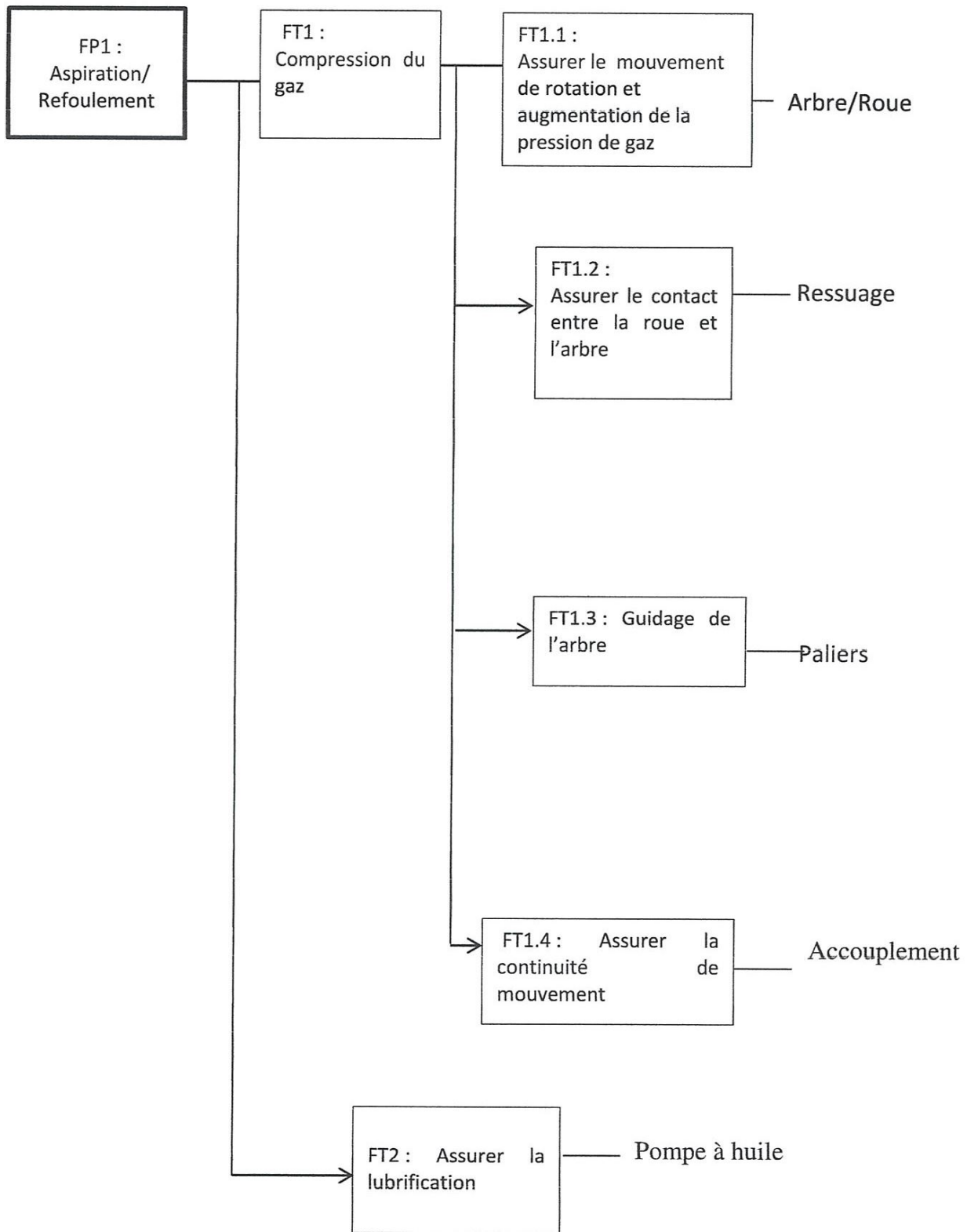


Figure IV.3. Analyse fonctionnelle du compresseur

2. Cause à effet de compresseur BCL406

Lorsqu'on remarque des inconvénients, la connaissance des causes éventuelles (et des remèdes à apporter) devient extrêmement importante. Dans le tableau suivant, nous donnons la liste des inconvénients les plus connus avec les causes susceptibles des avoir entraîné et les mesures à prendre. Ce tableau est d'une importance capital car il représente la donnée de base pour construire les arbres de défaillances que nous aborderons plus loin dans ce chapitre.

Inconvénient	Cause possible	Remède
Vibration ou bruits anormaux du compresseur.	Désalignement.	Retirer l'accouplement. Faire fonctionner le dispositif d'enchaînement tout seul .s'il tourne sans produire de vibration. La cause serait à rechercher dans le mauvais alignement.
	Endommagement de l'accouplement	Vérifier les conditions de l'accouplement.
	Déséquilibre du rotor du compresseur.	Contrôler le rotor s'assurer qu'il ne sera pas déséquilibré à cause de l'encrassement.
	Palier usé par l'encrassement présent dans l'huile.	Contrôler les paliers et les substituer si nécessaire.
	Efforts transmis au corps par les tuyauteries du gaz provoquant un mauvais alignement.	Les tuyauteries devraient être bien ancrées de manière à prévenir des efforts excessifs sur le corps du compresseur Il faut que les

		tuyauteries soient suffisamment élastiques pour permettre les dilatations thermiques.
	Déséquilibre de l'accouplement.	Démonter l'accouplement et vérifier son équilibrage
	Pompage.	Ecarter les conditions de marches des conditions de pompage.
	Machine fonctionnant à proximité du compresseur.	Isoler les fondations des machines respectives et augmenter l'élasticité des tuyauteries de jonction éventuelles.
Endommagement des paliers de porteurs.	Mauvais graissage.	S'assurer que l'huile soit de type recommandé, vérifier régulièrement l'absence d'eau et d'encrassement dans l'huile
	Poussée axiale excessive.	S'assurer que l'accouplement soit propre et qu'il soit monté de manière à ne pas transmettre une poussée excessive sur le compresseur.
Endommagement des paliers de butées.	Mauvais graissage.	S'assurer que l'huile soit de type recommandé, vérifier régulièrement l'absence d'eau et d'encrassement dans l'huile

	Désalignement	Vérifier l'alignement
Endommagement des bagues d'étanchéités à l'huile.	Encrassement de l'huile.	Contrôle l'état des filtres et remplacer ces cartouches encrassées. Vérifier l'état de propreté des canalisations.
	Jeu des bagues hors cotes.	Contrôler les jeux et le corriger s'il y a lieu
	Pression de l'huile insuffisante.	S'assurer que la pression du gaz de référence ne baisse au-dessous de la valeur minimale préconisée

Tableau IV.1. Analyse cause à effet du compresseur BCL 406

3. Analyse Préliminaire des Risques (APR)

Dans ce qui suit nous allons entreprendre une analyse des risques engendrés par chaque composant du compresseur. Cette analyse est connue sous le nom de l'analyse préliminaire des risques ou APR. Le tableau (IV.2) montre donc les principaux organes du compresseur, les éventuelles situations dangereuses qu'ils peuvent provoquer, ainsi que les conséquences observées sur le fonctionnement général du compresseur.

Système ou fonction	Elément dangereux	Elément transformant un élément dangereux en situation dangereuse	Situation dangereuse	Elément transformant une situation dangereuse en accident potentiel	Accident	Conséquences	Mesures préventives	Application des mesures préventives
Compresseur BCL406	Rotor	Oui	Déflexion	Oui	Vibrations excessives	Arrêt du compresseur	Maintenance préventive systématique et conditionnelle	Procéder à des mesures régulières des vibrations
	Roue	Oui	Usure	Oui	Vibrations excessives	Arrêt du compresseur		Procéder à des mesures régulières des vibrations
	Accouplement	Oui	Désalignement	Oui	Vibrations excessives	Arrêt du compresseur	Maintenance préventive systématique et conditionnelle	Vérification visuelle de l'accouplement
	Palier butée	Oui	Usure	Oui	Vibrations excessives	Arrêt du compresseur		Mesures vibratoires
	Palier porteur	Oui	Usure	Oui	Vibrations excessives	Arrêt du compresseur	Maintenance préventive systématique et conditionnelle	Mesures vibratoires
	Bague d'étanchéité	Non	Usure	Non	Fuite d'huile	Manque de graissage		Vérification fuite d'huile

Tableau IV.2 Analyse préliminaire des risques du compresseur BCL406

Conclusion

- Mis à part l'endommagement des bagues d'étanchéité, tous les autres risques représentent un danger potentiel pour le fonctionnement du compresseur allant jusqu'à l'arrêt de son fonctionnement ;
- La totalité des risques engendrés par les défaillances des organes sensibles du compresseur provoqueront des vibrations et un bruit excessives qui, s'ils ne sont pas pris en charge, causeront des dommages importants sur les autres organes du compresseur.
- Nous proposons d'appliquer une politique de maintenance basée sur des mesures régulières des vibrations pour prévenir tout changement dans l'état vibratoire de la machine. Ainsi si les valeurs mesurées dépasseront les seuils prédéterminés, une analyse vibratoire approfondie est à réaliser pour diagnostiquer le problème dès sa naissance et avant de s'aggraver et provoquer d'autres dégâts.

4. Arbre de défaillances

En appliquant la démarche et la procédure expliquées dans le chapitre 1 concernant la construction des arbres de défaillances, nous proposons dans ce qui suit les arbres de défaillances de chaque mode de défaillance du compresseur. Ces arbres seront d'une aide précieuse pour d'éventuelles analyses et formeront un document d'aide au diagnostic utile pour des réparations rapides, efficaces, et en toute sécurité. Les figures (IV.4) à (IV.7) représentent les arbres de défaillances de chaque mode séparément.

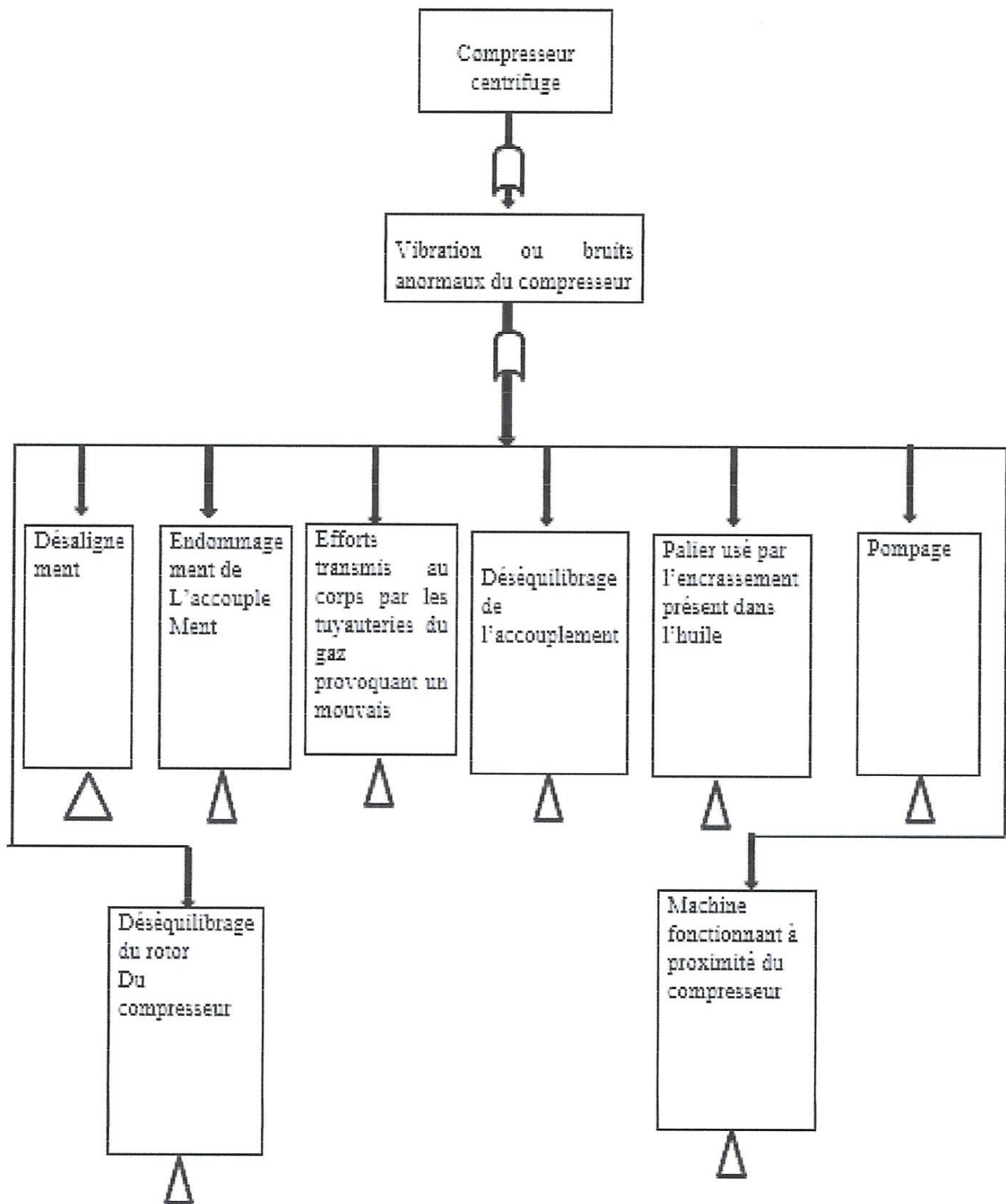


Figure IV.4. Arbre de défaillance du mode « Vibrations ou bruits anormaux »

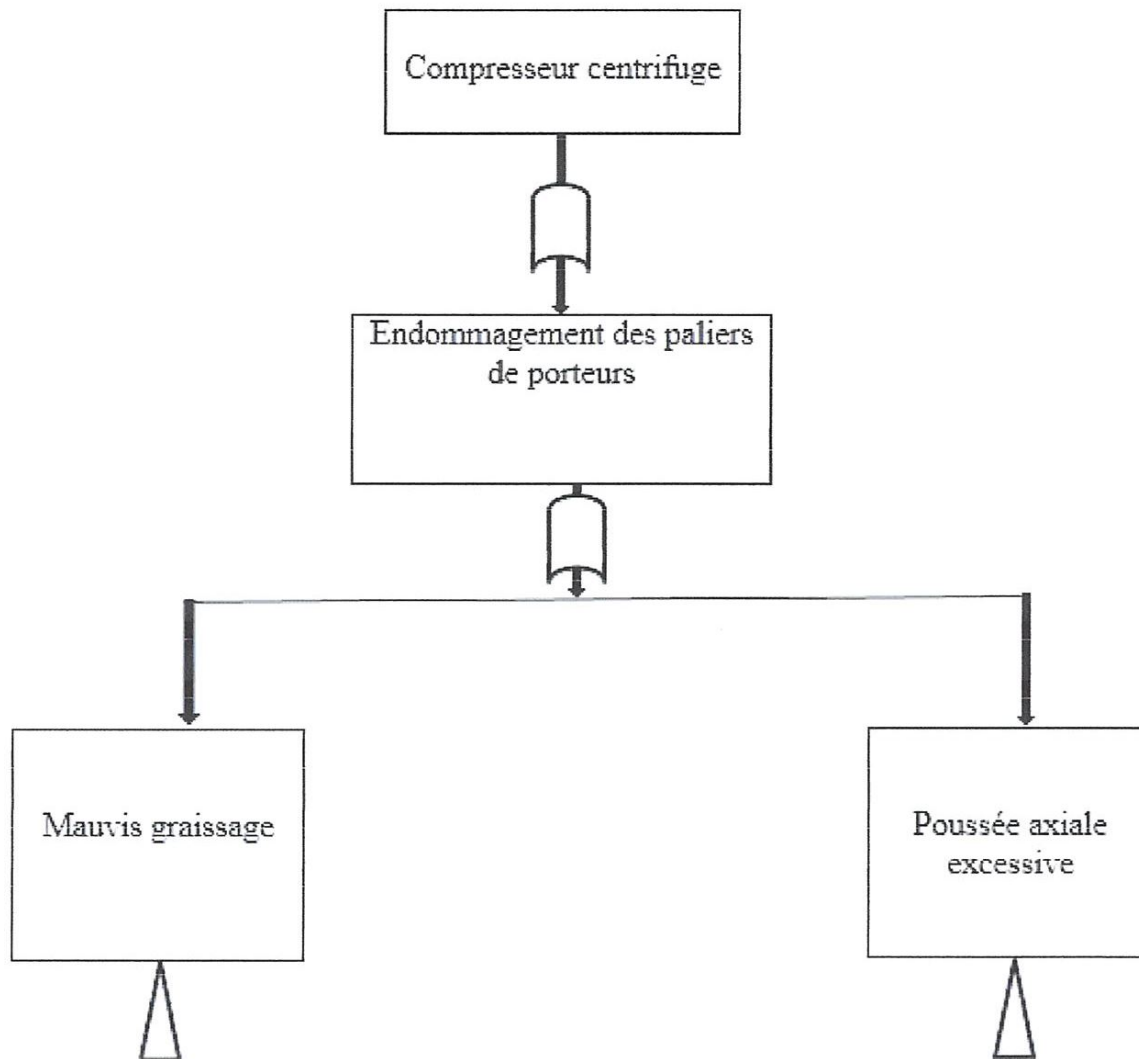


Figure IV.5. Arbre de défaillance du mode « Endommagement des paliers porteurs »

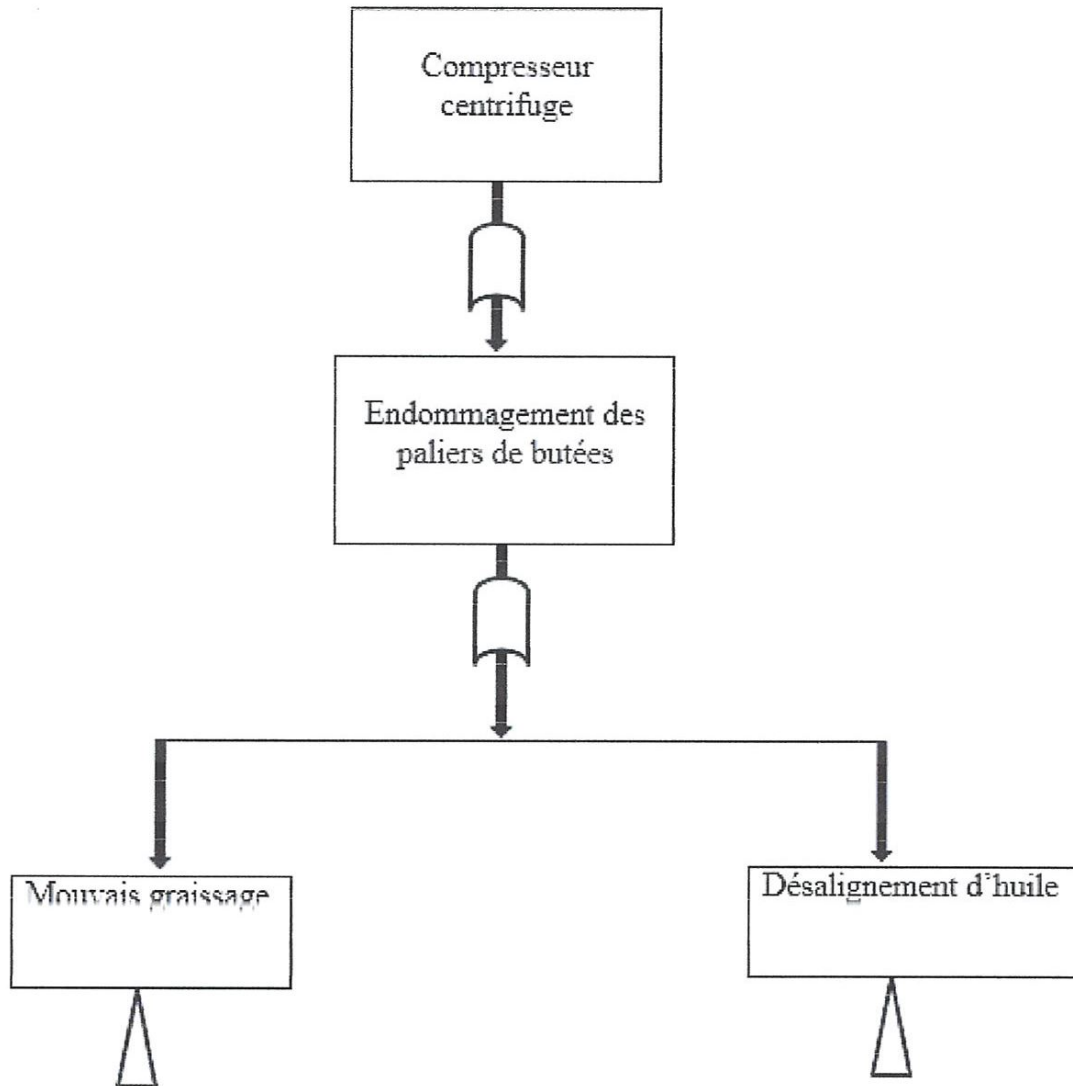


Figure IV.6. Arbre de défaillance du mode « Endommagement des paliers de butées »

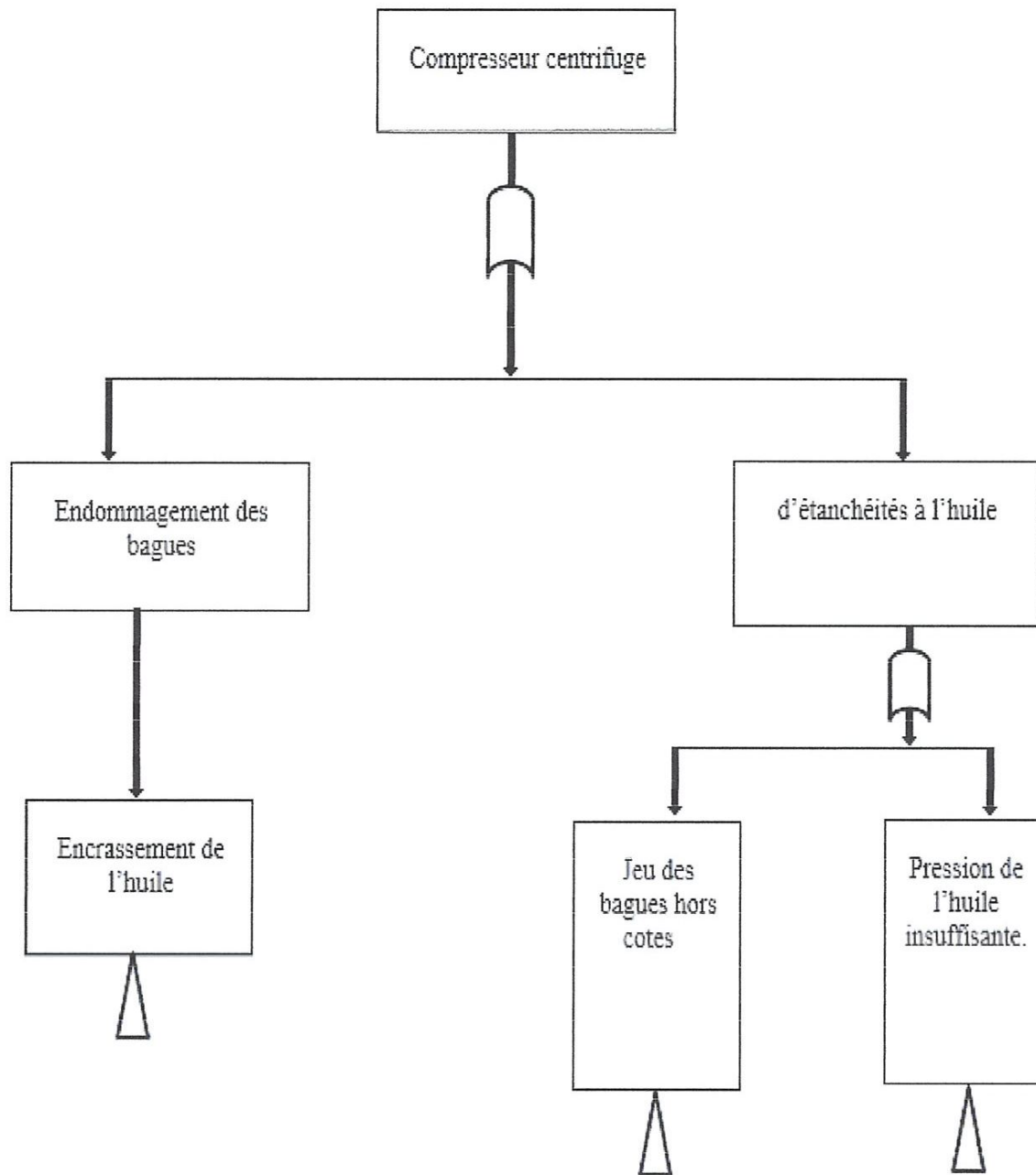


Figure IV.7. Arbre de défaillance du mode « Endommagement des bagues d'étanchéité »

5. Exemple d'analyse AMDEC

L'analyse AMDEC est un outil précieux pour une analyse qualitative des défaillances. Ce type d'analyse permet de faire un bilan qualitatif des différents modes de défaillance. Menées régulièrement, ce type d'analyse contribue efficacement à l'optimisation de la sûreté de fonctionnement des installations industrielles.

L'AMDEC nécessite un grand nombre de données, chose que malheureusement n'était pas disponible au sein de l'entreprise d'accueil. Donc par conviction de notre part de l'intérêt de cette analyse et afin de convaincre les responsables de l'entreprise à l'adopter comme outils d'analyse, nous proposons dans ce qui suit un exemple d'une AMDEC d'un turbocompresseur [16].

On peut aisément remarquer le grand avantage d'utiliser cette analyse, elle permet d'analyser chaque mode de défaillance à part, avec ses causes, et le quantifie par une criticité évaluée à partir de trois autres paramètres. Ceci a permis au terme du travail de classer les modes de défaillance par criticité, cibler les modes dangereux pour lesquels une politique de maintenance adéquate est à proscrire, et écarter les modes qui ne représentent pas un danger potentiel pour ne pas s'accaparer de tâches de faible importance. Le tableau (IV.3) représente les modes de défaillances du turbocompresseur.

Sous-système	Mode de défaillance
103-JT-HP/BP Turbine à vapeur	Pression d'entrée <101.7 bars Vibration élevée Bruit anormal Rendement insuffisant Vitesse non stable
103-J-HP/BP Compresseur de gaz de synthèse	Pression du gaz à l'entrée du corps HP < 63.9 bars Température du gaz à la sortie du corps BP >193°C Renflement Vibrations élevées Déplacement axial Bruit anormal Température de sortie > 66°C Pression de refoulement <150.2 bars
Les systèmes d'accouplement	Défaillance de système d'accouplement

Tableau IV.3. Modes de défaillances

Analyse des Modes de défaillance, de leurs Effets et leur Criticité									
Sous-système	Fonction	DEFAILLANCES			CRITICITE		Détection		
		Modes	Causes	Effets	F	D		G	C
103-IT-HP/BP Turbines à vapeur	Entrainer le compresseur avec une vitesse 10.343 tr /mn	Pression d'entrée <101.7 bars	-Fuite dans les conduites d'aspiration -Fausse indication -Problème dans le ballon 101-F (circuit de la production de vapeur)	Vitesse limitée du compresseur (diminution de la production)	3	2	1	6	Visuel
		Vibration élevée	-Désalignement -Perturbation du réseau vapeur -Dépôt de silicate sur les roues -Balourd sur le rotor -Jeux excessifs au niveau des paliers -Vitesse au voisinage de la vitesse critique	Arrêt d'urgence (diminution de la production)	2	3	3	18	Visuel
		Bruit anormal	-Endommagement des roues -Axe cassé du clapet anti-retour -Vibration -Endommagement du diffuseur	Arrêt d'urgence (perte de production)	2	2	3	12	Apparent (audible)
		Rendement insuffisant	-Vitesse insuffisante -Fuite interne -Filtre d'aspiration encrassée -Fausse indication	Diminution de la production	2	3	1	6	Impossible d'augmenter la vitesse du compresseur

		Vitesse non stable	<ul style="list-style-type: none"> -Usure dans le piston du servomoteur -Pression d'huile de régulation non stable -Endommagement du régulateur de vitesse -Pression de vapeur non stable 	Diminution de la production	3	3	1	9	Visuel
103-J-HP/BP Compresseur de gaz de synthèse	Compression du gaz de synthèse à: P=150 bars et T=66°c	Pression du gaz à l'entrée du corps HP < 63.9 bars	<ul style="list-style-type: none"> -Fuite dans les conduites d'aspiration -Pression de refoulement faible du corps BP -Vanne d'isolement partiellement ou totalement fermée -Vitesse insuffisante de la turbine -Fausse indication 	Pression de refoulement final faible (diminution de la production)	3	2	1	6	Visuel
	Température du gaz à la sortie du corps BP >193°c		<ul style="list-style-type: none"> -Rapport N2/H2 non respecté -Température à l'aspiration élevée 	Vibration élevée (arrêt d'urgence)	3	2	1	6	Vibration
	Renflement		-Pompage	Déplacement axial (perte de production)	2	3	2	12	Apparent (audible)

<p>103-I-HP/BP Compresseur de gaz de synthèse</p>	<p>Compression du gaz de synthèse à : P=150 bars et T=66°C</p>	<p>Vibration élevée</p>	<p>-Rapport N2/H2 non respecté -Jeux excessif des paliers -Température élevée du lubrifiant -Dépôt de la poussière du catalyseur 105-D -Dépôt des sels carboniques -Balourd sur le rotor -Pompage -Température élevée du gaz à l'aspiration -Jeux de palier trop petit (frottement) -Résonance d'un organe -Usure d'accouplement -Vanne d'aspiration ou de refoulement fermée -Vitesse au voisinage de la vitesse critique -Compresseur corps HP et corps BP mal alignés</p>	<p>-Arrêt d'urgence -Déplacement axial -Endommagement de la roue -d'aspiration (perte de production)</p>	<p>2</p>	<p>3</p>	<p>4</p>	<p>24</p>	<p>Visuel</p>
		<p>Déplacement Axial</p>	<p>-Pompage -Vibration excessif -Rapport N2/H2 non respecté -Vannes Fica-111 et Fica-113 non étanches</p>	<p>Déclenchement par HXA 341 et HXA 342 (perte de production)</p>	<p>2</p>	<p>3</p>	<p>4</p>	<p>24</p>	<p>Visuel</p>
		<p>Bruit anormal</p>	<p>-Vibration -Détérioration du diffuseur -Détérioration des roues</p>	<p>Arrêt d'urgence (perte de production)</p>	<p>2</p>	<p>2</p>	<p>3</p>	<p>12</p>	<p>Apparent (audible)</p>

<p>103--HP/BP Compresseur de gaz de synthèse</p>	<p>Compression de gaz de synthèse à : P=150 bars et T=66°C</p>	<p>Température de sortie > 66°C</p>	<p>-Fausse indication -Pompage -Température élevée d'huile de lubrifiant -Température d'entrée du corps HP supérieur à 8°C</p>	<p>Rendement faible de La réaction (diminution de la production)</p>	<p>3</p>	<p>2</p>	<p>1</p>	<p>6</p>	<p>Visuel</p>
<p>Les systèmes d'accouplement</p>	<p>Transmettre une puissance de 15.021Kwatts au compresseur</p>	<p>Défaillance de système d'accouplement</p>	<p>-Fausse indication -Fuite dans les conduites d'aspiration -Pression faible du corps BP -Vitesse faible de la turbine -Fuites de gaz au niveau du joint de la bride de l'extrémité côté aspiration et/ou de refoulement</p>	<p>Diminution de la production</p>	<p>3</p>	<p>4</p>	<p>4</p>	<p>48</p>	<p>Visuel</p>
			<p>-Desserrage des vis d'assemblage -Surcharge -Fatigue -Désalignement -Mauvaise qualité d'huile de graissage -Déplacement axial de chaque rotor -Balourd sur les rotors</p>	<p>-Mauvaise transmission -Usure des paliers -Usure des dents d'engrenage -Dégradation de fonctionnement de compresseur</p>	<p>3</p>	<p>4</p>	<p>4</p>	<p>48</p>	<p>Visuel</p>

5.1. Tableau de classification des éléments par leurs criticités :

On a choisi la valeur 12 comme seuil de criticité, les éléments dont la criticité dépasse 12 sont regroupés par ordre décroissant dans le tableau 2. C'est sur ces éléments qu'il faut agir en priorité en engageant des actions corrective appropriées.

Mode de défaillance	Criticité	Actions correctives à engager
Vibration élevée et bruit anormal au niveau de la turbine.	12	Amélioration des performances des éléments
Renflement et bruit anormal au niveau du compresseur	12	
Vibration élevée et déplacement axial au niveau du compresseur.	24	Maintenance préventive conditionnelle
Défaillance de système d'accouplement.	48	Remise en cause complète de la conception

Tableau IV.4. Actions correctives à engager

6. Maintenance appliquée au compresseur BCL406 (tirée de [17])

Vu le rôle important joué par le compresseur, on doit lui appliquer une maintenance adéquate de telle manière à augmenter sa disponibilité et sa durée de vie. Généralement pour ce type de machine on s'appuyer sur la maintenance préventive qui est utilisée sous ses deux formes à savoir:

- I. La maintenance préventive systématique.
- II. La maintenance préventive conditionnelle.

Ce type de maintenance ne permettra de diminuer la probabilité de défaillance en service et de supprimer les causes d'accident grave.

La maintenance corrective est aussi appliquée aux compresseurs pour le dépannage et le rétablissement du fonctionnement.

6.1. Cycle de réparation

Tous les équipements sont accompagnés d'un cycle de réparation établi par le constructeur, mais les conditions d'exploitation locale permettent de déterminer au mieux les intervalles de temps entre les visites. Le cycle de réparation comporte le nombre des différentes interventions planifiées ainsi que les intervalles préétablis. Pour le compresseur BCL 406 le cycle appliqué est le suivant :

6.1.1. Réparation générale

La réparation générale du compresseur consiste en l'ouverture complète du compresseur et la réalisation des tâches suivantes :

- 1) Nettoyage complet du compresseur, des accessoires, des conduites d'aspiration et de refoulement ;
- 2) Dépose de l'aérodynamique ;
- 3) Relevé de l'ensemble des jeux de labyrinthes sur deux demi-coquilles ;
- 4) Comparaison avec les tolérances données par le constructeur ;
- 5) Changement des labyrinthes si nécessaire ;
- 6) Changement des pièces d'usure du sous-ensemble paliers porteurs et la butée, ainsi que les boîtes d'étanchéité de refoulement et d'aspersion ;
- 7) Vérification de l'équilibrage statique et dynamique du stator.

6.1.2. Réparation partielle

Ce type de réparation comporte les travaux suivants :

- Démontage des paliers porteur des cotés aspiration et refoulement ainsi que les paliers de butée ;
- Vérification de l'usure des patins, en mesurant les jeux diamétraux et en les comparant aux cotes nominales ;
- Démontage des boîtes d'étanchéités et contrôle de l'usure des bagues et les remplacer si nécessaire ;
- Contrôle et nettoyage du système d'huile d'étanchéité et de graissage ;
- Etalonnage des instruments si nécessaire.
- Contrôle des systèmes d'alarme et déclenchement.

6.2. Entretien du palier porteur et butée coté couvercle

Après démontage on doit effectuer les inspections suivantes :

- Nettoyer soigneusement toutes les pièces et examiner chaque patin de butée pour réparer les signes d'usure excessive, remplacé tout patin qui n'est pas réparable. Les patins sont réutilisables tant que la surface de portée n'est pas usée au point de l'antifriction ;
- Inspecter le collet de butée pour réparer les rayures ;
- Vérifier les cales de réglage pour réparer les corps étrangers et remplacer le cas échéant ;
- Vérifier le reste des pièces pour déceler les cassures, les filets endommagés ou toute autre avarie et les remplacer le cas échéant.

6.3. Entretien de l'ensemble de l'étanchéité coté entraînement:

Après démontage, on effectue les inspections suivantes :

- Vérifier le jeu entre le labyrinthe et l'arbre du rotor. Si le jeu est excessif les étanchéités doivent être remplacées. Pour connaître le jeu de fonctionnement correct il faut se référer au tableau des jeux ;
- Vérifier les portées entre les anneaux d'étanchéité flottants et les boites d'étanchéité ;
- Vérifier le reste des pièces pour réparer les fissures, cassures et usures excessives ou toute autre avarie et réparer ou remplacer tous les joints au remontage.

7. Conclusion du chapitre

Ce chapitre avait pour objectif l'analyse qualitative des risques de défaillances du compresseur BCL406. Pour ce faire nous avons procédé à de multiples analyses incluant l'analyse fonctionnelle, l'APR, les arbres de défaillances, l'AMDEC. Toutes ces analyses ont permis de mettre en évidence tous les scénarios de défaillances potentielles du compresseur ainsi que les remèdes possibles et les démarches de maintenance proposées. Notons enfin que le travail réalisé sur le compresseur BCL406 peut se faire sur les sept autres machines du système de compression, et même pour les autres installations critiques du complexe.

Conclusion Générale

Ce travail consiste à l'étude des mesures préventives par l'analyse quantitative et qualitative des scénarios de défaillance d'une installation industrielle. Un cas réel est étudié dans l'entreprise SONATRACH-DP-TFT où nous avons passé un stage pratique et où nous avons pris comme application un système de compression de gaz constitué de deux trains de compression travaillant en redondance passive.

La première partie du travail s'est portée sur un audit de la fonction maintenance au sein de l'entreprise par application de la démarche de Lavina. Au terme de ce travail, réparti sur plusieurs secteurs en relation avec la maintenance, plusieurs points faibles représentant les faiblesses de la politique de maintenance actuelle sont à dégager :

- Gestion du portefeuille de travaux ;
- Stock de pièces de rechange ;
- Achat et approvisionnement des pièces et matières ;
- Sous-traitance

La deuxième partie de notre travail porte sur une analyse qualitative et quantitative des risques de défaillances du système de compression de gaz déjà mentionné. Pour l'analyse qualitative une étude fiabiliste a été réalisée sur les huit machines formant le système. Plusieurs paramètres et indicateurs de la fiabilité ont été mis en évidence permettant de mettre en œuvre une politique de maintenance adéquate pour chaque machine.

Pour l'analyse qualitative, nous avons choisi d'associer plusieurs outils très fiables, l'analyse fonctionnelle, l'AMDEC, l'analyse APR et les arbres de défaillance. Nous avons pu dresser un schéma pour identifier tous les scénarios de défaillances d'un compresseur pris comme exemple. Le travail réalisé sur ce compresseur peut facilement être généralisé sur les autres machines du système et sur les autres installations importantes du complexe.

Références Bibliographiques

- [1] Djebala Abderrazek, Cours de maintenance des systèmes électromécaniques. 3^{ème} année Licence Electromécanique, Université de Guelma, 2017.
- [2] Hassini Brahim, étude qualitative et quantitative des scénarios de défaillances de la pompe 2000 d de l'entreprise CERTAF, Mémoire de fin d'étude master, Université Aboubekr Belkaid –Tlemcen, 2013-2014.
- [3] Mohamed Habib Mazouni, Pour une meilleure approche du management des risques: de la modélisation ontologique du processus accidentel au système interactif d'aide à la décision, Doctorat de l'Institut National Polytechnique de Lorraine, 13 Novembre 2008.
- [4] Patrick Lyonnet, La maintenance mathématiques et méthodes, technique et documentation – lavoisier, 1992.
- [5] François Monchy, La fonction maintenance (formation à la gestion de la maintenance industrielle), Masson, 2^{ème} édition, janvier 1995.
- [6] Mamine Alla Eddine, Mémoire de fin d'étude licence, Etude de la fiabilité d'une pompe centrifuge, Université de Guelma, 2013.
- [7] Djalal Mebarkia, Recherche d'une solution optimale d'exploitation et de maintenance des gazoducs algériens tenant compte de la fiabilité des équipements des différentes lignes. Mémoire de Magister, Université m'hamed bougara de boumerdes 2012/2013.
- [8] Smail Benissaad, Cours de maintenance industrielle, Université mentori Constantine, année universitaire 2007-2008.
- [9] Astou Guindo Dansoko, Mémoire de fin d'étude, choix d'une politique de maintenance, Ecole Supérieure Polytechnique Sénégal, année 2007/2008.
- [10] Joseph Kélada, l'AMDEC, Ecole des hec-1994.
- [11] Eric Metais, Stratégie et organisation industrielle-ingénierie des produits et des processus, devinci conseil, 2004.
- [12] Chacha Karim et Korichi Habib, Mémoire de fin d'études, analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leurs criticité (AMDEC) du bras de chargement pétrolier et proposition d'une gamme de révision générale , Université de Bejaia , 2000-2001.

Références Bibliographiques

[13] Yves Lavina, Audit de la fonction maintenance, 2005.

[14] Fiche technique du logiciel FIABOPTIM.

[15] Djebala Abderrazek, cours de maintenance et sureté de fonctionnement, Université de Guelma, 2017.

[16] Zouambia Oussama, Bouzar Dilmi Sif el Hak, Etude technique et théorique de compresseur BCL 406. Rapport de stage, Université de Boumerdes, 2010.

[17] Kerdoussi Mohammed El Amine, Application de la RCM pour l'optimisation de la sureté de fonctionnement des installations industrielles de l'entreprise Fertial-Annaba. Mémoire de master, Université de Guelma, juin 2012.