

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

Université 8 Mai 1945 – Guelma

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de Génie Electrotechnique et Automatique

Réf :/2020



MEMOIRE

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

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : Electromécanique

Spécialité/Option : Electromécanique

Par : YAGHLA Mohammed Amine & KEMCHA Abdeldjalil

Thème

Etude de fiabilité et analyse des risques de défaillances des pompes centrifuges PM113A, B et C du complexe Topping de condensat (RA2K) de Skikda

Soutenu publiquement, le 19/10/2020, devant le jury composé de :

M. DJEBALA Abderrazek	Professeur	Univ. Guelma	Président
M. FRIHI Djamel	MCA	Univ. Guelma	Encadreur
Mme FRIOUI Nadia	MCB	Univ. Guelma	Examineur

Année Universitaire : 2019/2020

Remerciements

Au terme de ce travail, nous tenons à exprimer votre profonde gratitude, avant tout à Dieu le tout puissant qui nous a aidé et ma donnée le courage pour mener à Terme ce modeste travail.

Nous souhaitons adresser nos remerciements les plus sincères aux personnes qui nous apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire malgré la période exceptionnelle de l'épidémie « COVID-19 ». Ainsi qu'à la réussite de cette formidable année universitaire.

*Nous tenons à remercier sinisèrent **le Docteur Frifi Djamel**, qui en tant que directeur de mémoire, s'est toujours montré à l'écoute et très disponible tout en long delà 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 nos recherches en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Nos remerciements vont tout d'abord au corps professoral et administratif du département : Génies Electrotechnique et Automatique, pour la richesse et la qualité de leur enseignements et qui déploient de grands efforts pour assurer à leurs étudiants une formation actualisée.

Sans oublier le personnel et les responsables de la RA2K Topping de Skikda, dont l'accueil était chaleureux, qui n'ont pas cessé de nous aider durant notre stage, auxquels nous adressons nos vifs remerciements et notre profond respect et à leurs tête le Directeur Mr SERIDI A/Halim.

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.

Merci à tous à toutes.

Dédicace

Merci à Allah de m'avoir donné la capacité d'écrire, de réfléchir, d'avoir la force d'en croire en lui et surtout d'avoir la patience de persévérer jusqu'à la réalisation de mon rêve et de mon bonheur, tout en levant, mes mains vers le ciel et dire :

Ya Kayoum "

Je dédie humblement ce modeste travail :

A mon cher père Khemissi

Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour vous. Ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma formation.

A ma chère mère Soraya

Honorable, Aimable : Tu représentes pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi. Ta prière et ta bénédiction m'ont été d'un grand secours.

A ma chère sœur Rokja et mes chers frères Akram et Mohammed Fakher El islam

Pour leurs aides, leurs générosités, leurs gentillesse, et leurs soutiens.

A tous mes amis (es) avec lesquels (les) j'ai partagé des moments exceptionnels de joie et de bonheur.

Sans oublier d'adresser mes remerciements à toutes les personne qui ont m'aidé de près ou de loin par le fruit de leurs connaissances, de leur savoir pendant toute la durée de mon parcours instructif.

Mohammed Amine

Dédicace

Merci à Allah de m'avoir donné la capacité d'écrire, de réfléchir, d'avoir la force d'en croire en lui et surtout d'avoir la patience de persévérer jusqu'à la réalisation de mon rêve et de mon bonheur, tout en levant, mes mains vers le ciel et dire :

Ya Kayoum "

Je dédie humblement ce modeste travail :

A mon cher père Mohammed Salah

*A la mémoire de mon Père Mohammed Salah Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour,
L'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu
Pour vous.*

*Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être.
Ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as
Consentis pour mon éducation et ma formation.*

A ma chère mère Karima

Honorable, Aimable : Tu représentes pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi. Ta prière et ta bénédiction m'ont été d'un grand secours.

A mes enseignants de l'école primaire, moyen, secondaire et de l'université.

A tous mes amis (es) avec lesquels (les) j'ai partagé des moments exceptionnels de joie et de bonheur.

Sans oublier d'adresser mes remerciements à toutes les personnes qui m'ont aidé de près ou de loin par le fruit de leurs connaissances, de leur savoir pendant toute la durée de mon parcours instructif.

Abdeljalil

Résumé

L'étude faite, dans ce mémoire, suite à un stage pratique au sein du complexe RA2K Topping de condensat de Skikda, s'articule essentiellement sur une étude de fiabilité d'une installation stratégique, il s'agit des pompes centrifuges désignées par 100-PM113A, B et C

Afin de mieux situer le rôle du service maintenance, nous avons préféré entamé notre travail par une étude critique de la politique de maintenance touchant les points faibles de ce service pour lequel des propositions d'amélioration ont été suggéré et cela par l'emploi du questionnaire de LAVINA.

L'exploitation de l'historique de pannes, de trois pompes centrifuges, fourni par le service maintenance, nous a permis de faire deux études complémentaires à savoir qualitative et quantitative.

Du point de vue quantitatif, par application de la méthode ABC de Pareto ainsi que la détermination des paramètres du modèle de Weibull, nous avons pu connaître la phase de vie des différentes pompes ainsi que les éléments pour lesquels les agents de maintenance doivent donner plus d'importance.

Etant donné que les pompes sont en phases de vieillesse ; et pour pouvoir réduire le taux de défaillances, dont l'augmentation avec l'âge n'est pas toujours une chose fatale, nous avons fait une étude qualitative des pompes centrifuges par le biais de trois techniques de prévention des défaillances qui sont l'arbre de défaillances, l'analyse préliminaire des risques (APR) et l'analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité (AMDEC).

Ces méthodes précieuses nous ont aidés à identifier les modes de défaillances des principaux organes de pompes (arbre, roue à aubes, bagues d'étanchéité et différents paliers...etc) tout en évaluant leur criticité sur la sureté de fonctionnement.

Mots clés :

Risques de défaillances, FMD, Questionnaire de Lavina, Etude quantitative, Weibull, Etude qualitative, AMDEC, APR, Arbre de défaillance.

الملخص

الدراسة التي تم إجراؤها في هذه الرسالة، بعد تدريب عملي داخل مجمع مكثفات RA2K Topping في سكيكدة، تعتمد بشكل أساسي على دراسة موثوقة لتركيبة استراتيجي، ويتعلق الامر بمضخات الطرد المركزي المعينة بواسطة PM113A-100 و B و C .

من اجل فهم دور قسم الصيانة بشكل أفضل، فضلنا ان نبدأ العمل بدراسة نقدية لسياسة الصيانة والتي تهدف الى ملامسة نقاط الضعف في تلك الخدمة التي تم من خلالها وضع بعض المقترحات من اجل تحسينها وذلك باستخدام استبيان لافينا (LAVINA).

مكننا استخدام تاريخ فشل ثلاث مضخات طرد مركزي، المقدمة من قسم الصيانة، من إجراء دراستين متكاملتين، نوعياً وكمياً.

من وجهة نظر كمية، من خلال تطبيق طريقة (ABC) لباريتو وكذلك تحديد معايير نموذج (Weibull) وايبول، تمكنا من معرفة مرحلة حياة المضخات وكذلك العناصر التي يجب على وكلاء الصيانة اعطائها أهمية أكبر.

نظراً لأن المضخات متقدمة ولكي تكون قادرة على تقليل معدل الأعطال، فإن زيادتها مع تقدم العمر لا تكون دائماً أمراً حتمياً، قمنا بإجراء دراسة نوعية لمضخات الطرد المركزي من خلال ثلاث تقنيات منع الفشل وهي شجرة الفشل والتحليل الأولي للمخاطر (PRA) وأنماط الفشل والتأثيرات وتحليل الأهمية (AMDEC)

لقد ساعدتنا هذه الأساليب القيمة في تحديد أنماط فشل مكونات المضخة الرئيسية (العمود، المكره، حلقات الكتامة، وما الى ذلك) اثناء تقييم أهميتها على السلامة التشغيلية.

الكلمات المفتاحية:

مخاطر الفشل، استبيان لافينا، دراسة كمية، وايبول، دراسة نوعية، تحليل أنماط الفشل واثارها وأهميتها، التحليل الاولي للمخاطر، شجرة الاعطاب.

Abstract

The study carried out in this thesis, following a practical internship within the RA2K Topping condensate complex of Skikda, is essentially based on a reliability study of a strategic installation; it is about centrifugal pumps designated by 100 -PM113A, B and C.

In order to better understand the role of the maintenance department, we preferred to start our work by critical study of the maintenance policy touching the weak points of this service for which Improvement proposals have been suggested and this by using the LAVINA questionnaire.

The use of the failure history of three centrifugal pumps, provided by the maintenance department, enabled us to carry out two additional studies, namely qualitative and quantitative.

From a quantitative point of view, by application of the ABC method of Pareto as well as the determination of the parameters of the Weibull model, we were able to know the phase of life of the various pumps as well as the elements for which maintenance agents must give more importance.

Since the pumps are in old age and to be able to reduce the rate failures, the increase of which with age is not always a fatal thing, we have conducted a qualitative study of centrifugal pumps through three-prevention techniques failure, which are the failure tree, the preliminary risk analysis (PRA) and Failure Mode, Effects & Criticality Analysis (FMECA)

These valuable methods have helps us to identify the failure modes of main pump components (shaft, paddle wheel, sealing rings and various bearings, etc.) while evaluating their criticality on operational safety.

Keywords:

Risks of failures, RMA, Lavina questionnaire, Quantitative Study, Weibull, Qualitative Study, FMEA, RPA, Fault tree.

Liste des figures

Numéro de la figure	Titre	Numéro de la page
	Chapitre I	
01	Carte d'Algérie (SONATRACH)	04
02	Situation du complexe Topping RA2K	07
03	Des produits finis	07
04	Organisation structurale du complexe Topping	08
05	Organisation structurale du département maintenance	08
06	Schéma synoptique du complexe Topping	10
07	Processus du diagnostic de la maintenance	16
08	Diagramme de Kiviat montrant la situation actuelle et souhaitée	32
	Chapitre II	
01	Objectifs généraux de l'entreprise	37
02	Types de maintenance	41
03	Différents niveaux de maintenance	41
04	Étapes de l'analyse des risques	43
05	Classement des méthodes de l'analyse des risques	44
06	Types de fiabilité	46
07	Courbe en baignoire (vie d'un matériel)	46
08	Fonction densité de probabilité de défaillance	48
09	Fonction associée de fiabilité et de défaillance	48
10	Fonction et le taux de défaillance $F(t)$ et $\lambda(t)$	49
11	Principales propriétés de la distribution de Wei bull.	51
12	Représentation sur graphique à échelle fonctionnelle de la distribution de Wei bull (graphique d'Allan Plait)	52
13	Redressement de la courbe par translation	53
14	Histogramme de PARETO	54
15	Courbe ABC	55
16	Hiérarchisation des fonctions	58

Liste des figures

17	Portes logiques utilisées dans les arbres de défaillance	60
18	Démarche de l'AMDEC	62
	Chapitre III	
01	Photos des trois pompes centrifuges 100-PM-113A/B/C montées en parallèles	64
02	Implantation et rôle des pompes centrifuges 100-PM-113A/B/C	65
03	Histogramme de Pareto du 100-PM113A	71
04	Histogramme de Pareto du 100-PM113B	74
05	Histogramme de Pareto du 100-PM113C	76
06	Papier de Weibull et les différents paramètres du modèle appliqué sur la pompe PM113A	79
07	Fonction de fiabilité $R(t)$	80
08	Fonction de défaillance $F(t)$	81
09	Densité de probabilité de défaillance $f(t)$	82
10	Le taux de défaillance $\lambda(t)$	83
11	Représentation des TBF sur le papier de Weibull PM113B	84
12	Fonction de fiabilité $R(t)$	85
13	Fonction de défaillance $F(t)$	86
14	Densité de probabilité de défaillance $f(t)$	87
15	Le taux de défaillance $\lambda(t)$	87
16	Représentation des TBF sur le papier de Weibull PM113C	88
17	Fonction de Fiabilité $R(t)$	90
18	Fonction de défaillance $F(t)$	91
19	Densité de probabilité de défaillance $f(t)$	92
20	Le taux de défaillance $\lambda(t)$	92
21	Schéma bloc d'un système série	94
22	Système parallèle à 2 et n éléments	94
23	Schéma bloc d'un système à redondance passive à 2 et n éléments	95
	Chapitre IV	
01	Domaine d'utilisation des pompes	98
02	Schéma d'une pompe centrifuge	99
03	Pompe centrifuge monocellulaire en porte à faux	100

Liste des figures

04	Photo réelle de la pompe centrifuge 100-PM113	102
05	Dessin d'ensemble en coupe de la pompe centrifuge 100-PM113	103
06	Analyse fonctionnelle de la pompe centrifuge 100-PM113	106
07	Arbre de défaillance du mode « Surchauffe et grippage de la pompe »	110
08	Arbre de défaillance du mode « Faible durée de vie des roulements »	111
09	Arbre de défaillance du mode « La pompe vibre ou est bruyante»	111
10	Arbre de défaillance du mode « Fuite excessive de la garniture mécanique »	112
11	Arbre de défaillance du mode « Faible durée de vie de la garniture mécanique »	112
12	Arbre de défaillance du mode « Désamorçage de la pompe a près démarrage »	113
13	Arbre de défaillance du mode « Débit insuffisant »	113
14	Arbre de défaillance du mode « Débit nul »	114

Liste des tableaux

Numéro du tableau	Titre	Numéro de la page
	Chapitre I	
01	Les trois cas de marche du complexe Topping	05
02	Résultats du questionnaire de LAVINA réalisé à l'entreprise SONATRACH-RA2K.	31
03	Propositions d'améliorations	33
	Chapitre II	
01	Niveaux de la maintenance	42
02	Symboles des événements	59
	Chapitre III	
01	Dossier historique de 100-PM113A	67
02	Dossier historique de 100-PM113B	68
03	Dossier historique de 100-PM113C	69
04	La Méthode Pareto 100-PM113 A	70
05	La Méthode Pareto 100-PM113 B	73
06	La Méthode Pareto 100-PM113 C	75
07	Fiabilité des trois machines du système	93
	Chapitre IV	
01	Déchiffre de schéma technique de la pompe centrifuge 100-PM113	105
02	Analyse cause à effet de la pompe centrifuge 100-PM113	108
03	Analyse préliminaire des risques de la pompe centrifuge 100-PM113	109
04	Grille AMDEC du 100-PM113A/B/C	118
05	Evaluation de la criticité du la pompe centrifuge 100-PM113	119
06	Entretien courant des pompes 100-PM-113A/B/C	120

Sommaire

Introduction générale	01
Chapitre I : Entreprise d'accueil et politique de maintenance	
Introduction.....	03
I.1. Description de la société SONATRACH.....	03
I.2. Présentation du complexe Topping (RA2K)	04
I.2.1. Introduction.....	04
I.2.2. Historique.....	05
I.2.3. Localisation.....	06
I.2.4. Organisation structurale.....	08
I.2.5. Les équipements du complexe Topping.....	09
I.2.6. Conception générale du complexe RA2K.....	09
I.3. Evaluation de la politique de maintenance existante dans l'entreprise RA2K.....	16
I.3.1. Introduction.....	16
I.3.2. But.....	16
I.3.3. Méthodologie.....	16
I.3.4. La démarche de LAVINA.....	17
I.3.5. Le déroulement du diagnostic.....	18
I.4. Mise en pratique la méthode de LAVINA à l'entreprise RA2K.....	19
I.4.1. Résultats du diagnostic.....	31
I.4.2. Analyse des résultats.....	32
I.5. Conclusion.....	33
Chapitre II : Maintenance : Concepts fondamentaux	
II.1. La Maintenance.....	35
II.1.1. Importance de la maintenance.....	35
II.1.2. Définitions.....	36
II.1.3. Objectifs de la maintenance.....	37
II.1.4. Politiques de maintenance	38
II.1.5. Niveaux de maintenance	41
II.2. L'analyse des risques	42

II.2.1. Définition de l'analyse des risques	42
II.2.2. La formalisation des étapes de l'analyse des risques.....	43
II.2.3. Classification du risque.....	43
II.2.4. Méthodes d'analyse des risques.....	44
II.3. Analyse quantitative du risque.....	45
II.3.1. Analyse de la fiabilité des équipements	45
II.3.1.1. Définition.....	45
II.3.1.2. Taux de défaillance.....	46
II.3.1.3. Expressions mathématiques de la fiabilité	47
II.3.1.4. Modèles de fiabilité.....	49
II.3.2. Méthodes d'analyse prévisionnelle « ABC (Pareto) »	54
II.3.2.1. Histogramme de PARETO.....	54
II.3.2.2. L'analyse ABC.....	55
II.3.2.3. Courbe théorique	55
II.4. Analyse qualitative du risque.....	56
II.4.1. Analyse fonctionnelle	56
II.4.2. Analyse qualitative du risque : Arbres de défaillances.....	58
II.4.3. Analyse des Modes de Défaillances de leurs Effets et de leur Criticité (AMDEC).....	60
 Chapitre III : Etude quantitative des pompes centrifuges 100-PM113	
III.1. Description des pompes centrifuges 100-PM113	63
III.2. Implantation et rôle des pompes	64
III.3. Caractéristiques techniques des pompes	65
III.4. Exploitation de l'historique.....	66
III.5. L'Analyse Prévisionnelle Des Dysfonctionnements « ABC (Pareto) »	69
III.5.1. Application de méthode ABC (Pareto).....	70
III.6. Etude de la sûreté de fonctionnement des pompes 113.....	76
III.6.1. Introduction	76
III.6.2. Présentation du logiciel FAIBOPTIM	77
III.6.3. Application du modèle de WEIBULL	77

III.6.4. Récapitulation des résultats de l'étude de fiabilité des trois machines du système.....	93
III.6.5. Calcul de la fiabilité du système entier par application de la technique des redondances	93
III.7. Conclusion.....	96

Chapitre IV : Analyse qualitative par l'AMDEC, APR et arbre de défaillances

Introduction.....	97
IV.1. Notions de base des pompes	97
IV.2. Analyse fonctionnelle de 100-PM113A/B/C.....	101
IV.3. Cause à effet de pompe centrifuge 100-PM113.....	107
IV.4. Analyse préliminaire des risques (APR).....	108
IV.5. Arbre de défaillance.....	110
IV.6. Exemple de l'AMDEC.....	114
IV.6.1. Synthèse ou évaluation de la criticité.....	119
IV.7. Programme de maintenance de la pompe centrifuge 100-PM113.....	120
IV.7.1. Entretien courant.....	120
IV.7.2. Révisions complètes.....	121
IV.8. Conclusion.....	121
Conclusion générale	122
Références bibliographiques.....	124
Annexes.....	

Introduction générale

La maintenance est un facteur de compétitivité puisqu'elle influe sur la production, la qualité et le coût de revient. Elle est déterminante pour accroître l'espérance de vie de l'entreprise et de ses biens. Elle prend une importance croissante et se révèle une des fonctions clés de l'entreprise. Alors que les tendances vers un degré plus élevé de l'automatisation et une complexité accrue des machines ne font que renforcer les besoins d'une entreprise d'avoir une approche formelle et structurée concernant la fonction maintenance.

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

C'est ainsi que nous pouvons dire que l'amélioration de la production dépend de l'analyse quantitative et qualitative des systèmes de n'importe quelles entreprises industrielles. Ces techniques et méthodes d'analyse visent principalement à trouver des solutions techniques pour augmenter la fiabilité, la maintenabilité et la disponibilité des équipements et en générale améliorer les performances des systèmes de production.

A cet effet, le travail réalisé dans le cadre de notre projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de master en électromécanique, a fait l'objet d'une étude qualitative et quantitative des risques de défaillances de trois pompes centrifuges dont le rôle est prépondérant au milieu de la chaîne de production pétrochimique de la **RA2K Topping (SONATRACH ; Skikda)**.

Cette étude nous a permis, également, d'évaluer des paramètres visant à optimiser la sûreté de fonctionnement des pompes centrifuges **100-PM113A/B et C**.

Après présentation de l'entreprise d'accueil dans la première partie du chapitre 1, où nous avons passé notre stage pratique, une étude critique de la politique de maintenance adoptée par la RA2K a été faite par la méthode de **Lavina** dans sa seconde partie.

Les concepts fondamentaux de la maintenance ainsi que la présentation des différents outils d'amélioration de la maintenance que ce soit qualitative ou quantitative ont fait l'objet du deuxième chapitre.

L'analyse quantitative, en se basant sur la méthode **ABC de Pareto** (avec la détermination de l'**indice de GINI**), ainsi que le calcul des différents paramètres du modèle de **Weibull** ont été traités dans le troisième chapitre.

Introduction générale

Une étude qualitative, complémentaire, faite par l'analyse préliminaire des risques (APR), l'arbre de défaillances et principalement l'Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité (AMDEC) a été traitée dans le quatrième et dernier chapitre.

Chapitre I

Entreprise d'accueil et politique de maintenance

Introduction :

À la suite d'un stage réalisé au sein du complexe Topping (RA2K sis à Skikda), dans le cadre du travail de notre projet de fin d'études, et étant donnée l'importance de l'entreprise d'accueil (SONATTRACK), nous avons préféré consacrer ce chapitre, tout d'abord, à la présentation du complexe Topping (RA2K) et de son importance au sein de la SONATTRACK ainsi que de la politique de maintenance suivie par la RA2K. A cet effet, nous avons mené un audit interne de la gestion de la maintenance pour diagnostiquer les méthodes de travail de chaque département de l'entreprise. Pour ce faire nous avons choisi d'appliquer la méthode de LAVINA (ou questionnaire de Lavina). Ce genre d'audit est très important et conduit généralement à des résultats très fructueux.

I.1. Description de la société SONATRACH :[1]

La SONATRACH est une société fondée en 1963 qui œuvre principalement dans l'exploration, la production, le transport terrestre/maritime, le traitement des produits pétroliers, la commercialisation et la participation dans le domaine des hydrocarbures liquides et gazeux.

SONATRACH est la première entreprise du continent africain. Elle est classée 12^{ème} parmi les compagnies pétrolières mondiales, 2^{ème} exportateur de GNL et de GPL et 3^{ème} exportateur de gaz naturel. Sa production globale (tous produits confondus) est d'environ 160 millions de Tep (tonnes équivalent pétrole) en 2012. Ses activités constituent environ 40% du PNB (produit nationale brut) de l'Algérie. Elle emploie 122 580 personnes dans l'ensemble du Groupe.

La société SONATRACH dans son ensemble a une longue expérience dans le raffinage du pétrole depuis plus de 50 ans.

La division raffinage traite dans ses six (6) raffineries situées au Nord et au Sud de l'Algérie 27 millions de tonnes de pétrole brut dont 05 millions de tonnes de condensat par an. La plus

grande capacité de raffinage se situe au Nord du pays avec les raffineries de, Arzew, Alger et de Skikda.

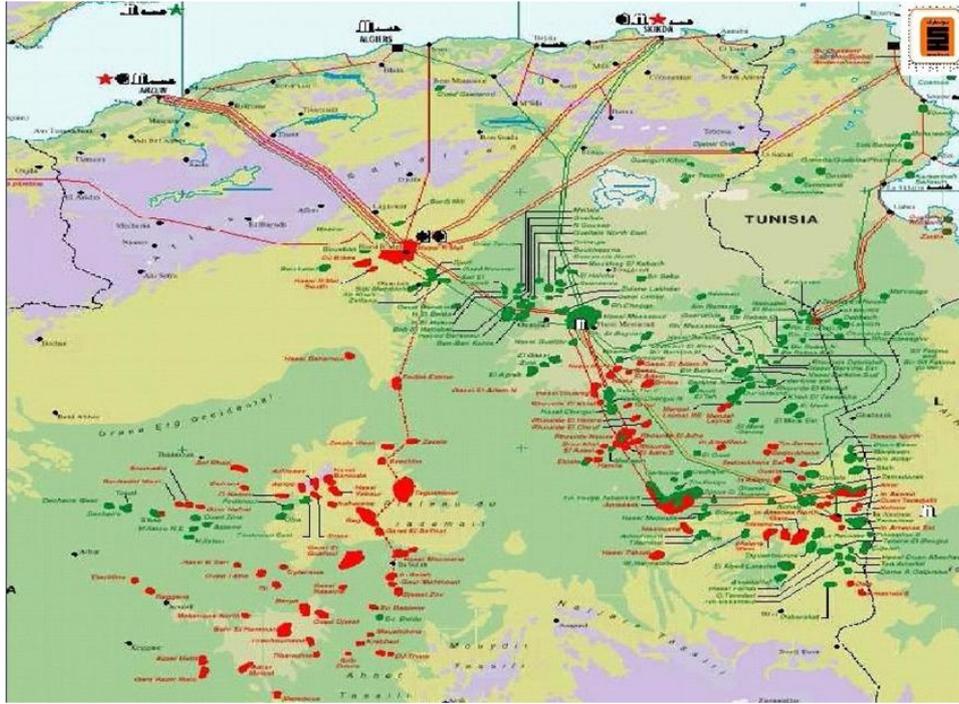


Figure I.1 : Carte d’Algérie (SONATRACH) [2]

I.2. Présentation du complexe Topping (RA2K) :

I.2.1. Introduction :[1]

China Petroleum Engineering and Construction Corporation (CPECC), en qualité de contractant EPC pour SONATRACH, est chargé de la réalisation du projet de Topping de Condensat de 5 millions de tonnes par an au niveau de la zone industrielle de Skikda (Algérie).

Ce projet envisage la réalisation d’une nouvelle raffinerie pour le traitement du condensat issu des champs pétroliers algériens en vue de produire le Butane, le Naphta, le Kérosène, le Gasoil léger et le Gasoil lourd. En outre, des facilités seront installées pour le stockage, le traitement et le transfert du condensat et de ces produits.

Le complexe fonctionne selon trois (03) cas de marche définis ci-après :

Cas A : Production maximale de Naphta et production maximale Gasoil (cas de base).

Cas B : Production maximale Kérosène Jet A1.

Cas C : Production maximale de Naphta et production minimale de Gasoil.

Produits	Mode d'exploitation		
	Production Max de Naphta et Max de Gasoil Léger (Cas A) ¹	Production Max de Jet A1 (Cas B)	Production Max de Naphta et Min de Gasoil Leger (Cas C)
Butane	111.9	111.9	111.9
Naphta	4038.1	3470.1	4038.1
Jet A1	-	992.5	425.6
Gasoil Léger	724.9	299.9	299.9
Gasoil Lourd	115.2	115.2	115.2
Pertes	9.9	10.4	9.3
Total	5000	5000	5000

Tableau I.1. Les trois cas de marche du complexe Topping

I.2.2. Historique :[1]

SONATRACH avait projeté de réaliser l'usine de Topping condensat en partenariat et avait lancé deux appels d'offre, le premier pour la recherche d'un partenaire et le second pour la réalisation de l'usine. Sur les deux sociétés qui avaient soumis des offres techniques, à savoir CNPC (Chine) et ITOCHU (Japon), seule la compagnie chinoise s'était présente pour l'offre commerciale de l'appel d'offre « recherche d'un partenaire ». Pour le second appel d'offre concernant la réalisation, plusieurs sociétés s'étaient manifestées. Finalement deux compagnies ont été sélectionnées à l'issue de cette phase : CNPC et SAIPEM.

China National Petroleum Corporation (CNPC) a décroché le contrat pour la réalisation de la raffinerie de Topping de condensat de Skikda pour un montant d'environ 390 millions de dollars. CNPC a devancé SAIPEM (France) qui a proposé environ 460

¹ Les chiffres sont donnés en 1000 Tonnes Métriques par an

millions de dollars. Le projet est divisé en deux lots : une usine d'une capacité de 5 millions de tonnes par an de condensat et des installations pour augmenter les capacités de stockage des produits raffinés.

Le butane qui sera produit sera écoulé dans la région Est du pays. Les gasoils léger et lourd seront soit exportés, soit utilisés pour améliorer la qualité du gasoil produit actuellement. Le naphta et le kérosène seront exportés.

Cette nouvelle raffinerie a pour objectif de mettre à la disposition de Sonatrach un outil de flexibilité pour assurer une meilleure valorisation du condensat et améliorer la qualité des distillats de la raffinerie de Skikda.

Avec cette raffinerie l'Algérie va diminuer ses importations en essence et gasoil, puisqu'en 2009 la facture de la consommation nationale en essence et en diesel a été particulièrement salée pour Sonatrach. En effet, la société nationale a importé pour 1,4 milliard de dollars de produits raffinés que NAFTAL a distribué durant l'année écoulée.

Constructeur : China National Petroleum Corporation (CNPC)

C'est le 10 Mai 2005, à la suite d'un appel d'offre CNPC a décroché le contrat pour la réalisation de la raffinerie de Topping de condensat de Skikda pour un montant d'environ 390 millions de dollars.

- **Le 01 Décembre 2005** : Entrée en vigueur du contrat.
- **Le 20 Mai 2009** : Admission du GN et démarrage des fours.
- **Le 02 juin 2009** : Admission de la charge condensat de RTE.
- **Le 25 juillet 2009** : Démarrage des unités Process.
- **Le 06 Novembre 2009** : Tests de Performance.
- **Le 14 Janvier 2010** : Réception Provisoire.

I.2.3. Localisation :[2]

Le complexe Topping de Condensat RA2K est situé dans l'enceinte de la zone industrielle de Skikda, à l'Est de la ville de Skikda, en dehors du tissu urbain, dans le périmètre de l'ancien aéroport.

Les principaux sites industriels localisés dans les environs sont :

-  Le complexe de liquéfaction du gaz naturel (GL1K) au nord.
-  Le complexe des matières plastiques (CP1K) au nord-est.
-  POLYMED au nord-est.
-  La raffinerie de pétrole (RA1K) à l'Est.
-  Le terminal de stockage du pétrole brut et du condensat (RTE) au sud.

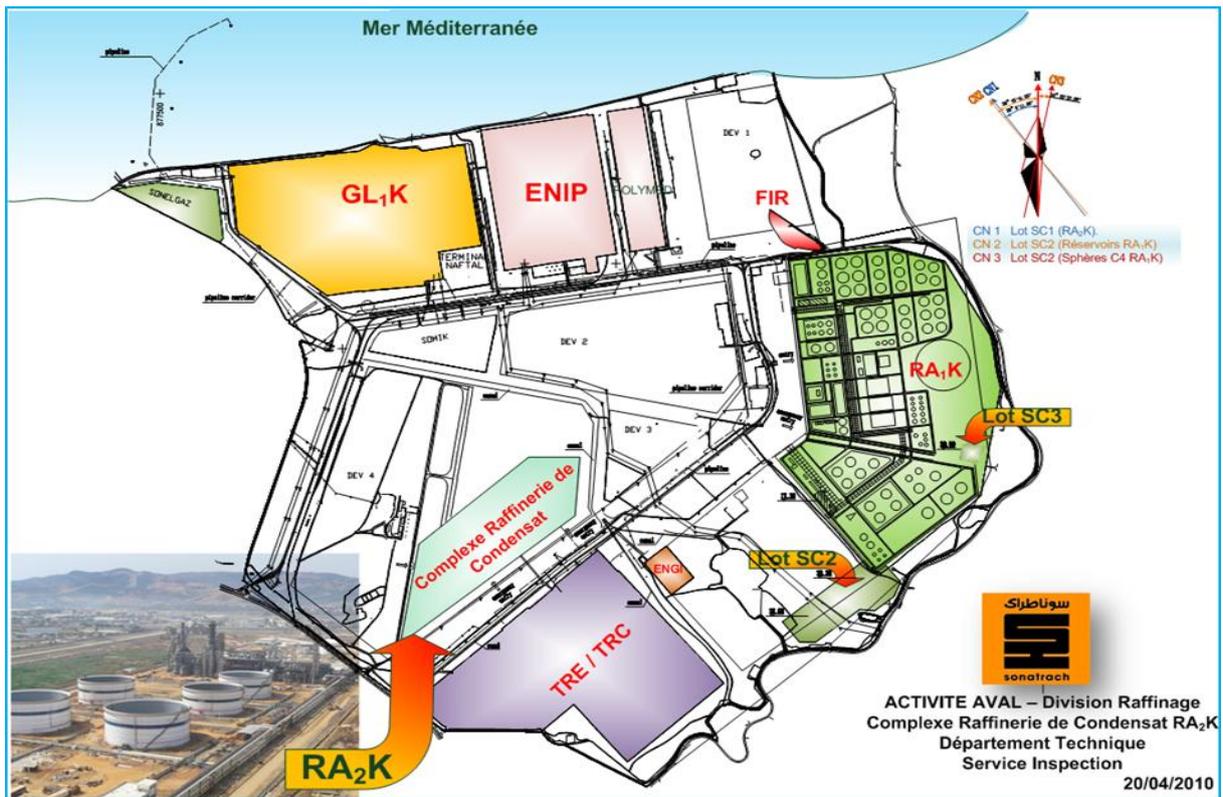


Figure I.2. Situation du complexe Topping RA2K

Il s'étend sur une superficie d'environ 45 hectares et comprend les unités de production, les différentes utilités, les zones de réception de la matière première, de stockage et de transfert des produits finis. La figure (I .3) montre des produits finis de RA2K :



Figure I.3. Des produits finis

I.2.4. Organisation structurale :

L'organisation du complexe Topping est représentée dans l'organigramme suivant :

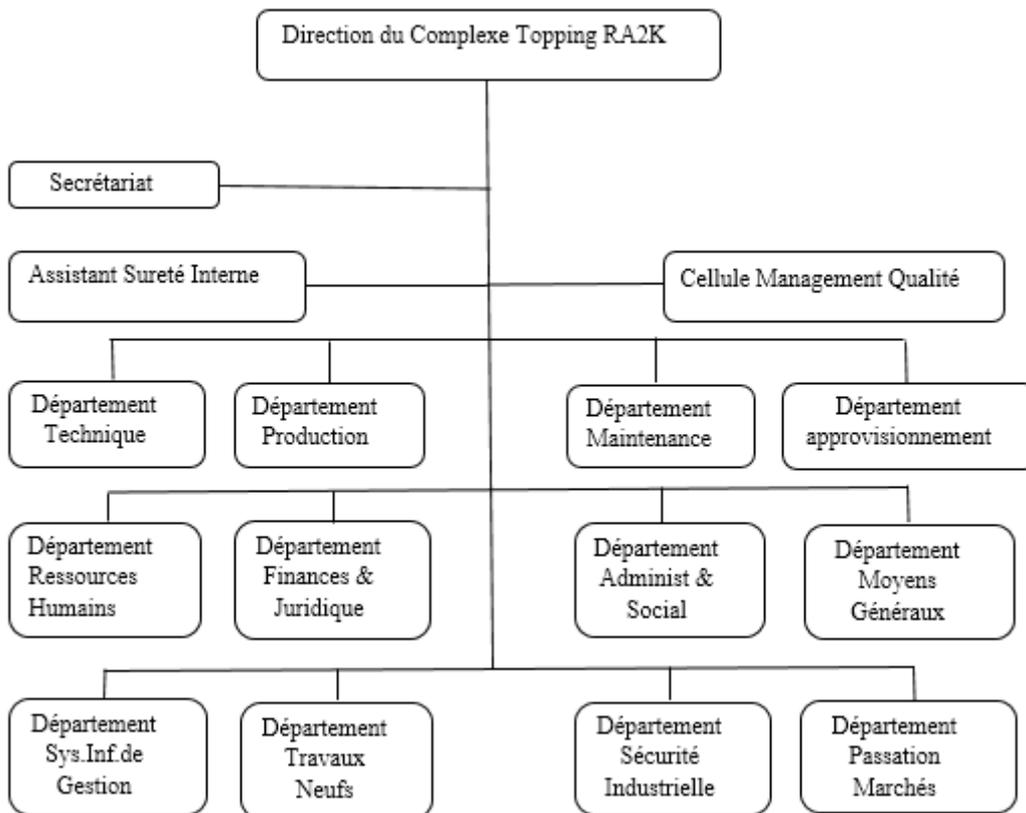


Figure I.4. Organisation structurale du complexe Topping

L'organisation du département maintenance est représentée dans l'organigramme suivant :

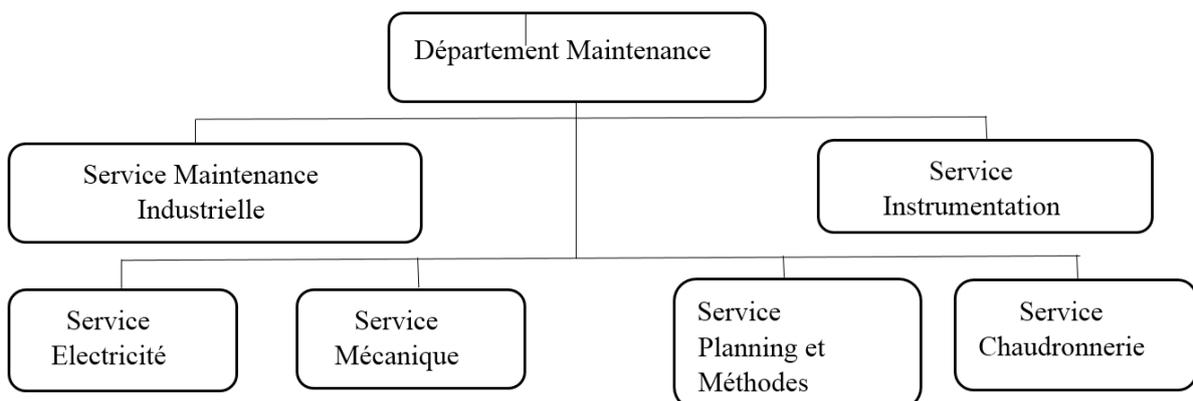


Figure I.5. Organisation structurale du département maintenance

I.2.5. Les équipements du complexe RA2K :

Le complexe RA2K est constitué essentiellement de : [2]

a. Réservoirs : Ils sont de deux types :

• **Réservoir de forme cylindrique (aérien) :**

- ✓ Les réservoirs à toit fixe en forme de dôme (DRT), utilisés pour le stockage de gasoil léger et lourd.
- ✓ Les réservoirs à toit fixe avec écran flottant à l'intérieur (IFRT), utilisés pour le stockage du kérosène.
- ✓ Les réservoirs à toit flottant (FRT simple pont et double pont), utilisés pour le stockage du condensat et du Naphta.

• **Réservoirs sphériques :**

- ✓ Capacités sphérique adaptées pour le stockage des gaz sous pression comme le butane (C_4H_{10}).

b. Les fours :

Il existe trois fours dans le complexe RA2K : F-101, F-102, F-103.

- ✓ Deux fours rebouilleurs pour le préfractionné et la tour atmosphérique.
- ✓ Un four de charge qui a comme objectif d'augmenter la température des résidus du préfractionné avant qu'ils soient injectés dans la colonne atmosphérique.

c. Les échangeurs :

Il existe plusieurs types d'échangeurs dans le complexe RA2K tels que :

- ✓ Echangeurs tubulaires ou faisceau-calandre.
- ✓ Echangeurs à plaques.
- ✓ Les aéroréfrigérants.

I.2.6. Conception générale du complexe :

Le complexe est constitué principalement de : [2]

- ✓ Une Unité de Topping de condensât (U100).
- Section de Préfractionnement de Condensat
- Section de Distillation Atmosphérique
- Section de Stabilisation du Naphta
- Section de Traitement des GPL et séchage de butane
- ✓ Une Unité de purification et de traitement de Kérosène (U200).

- ✓ Des installations de stockage et de transfert des Produits Finis (U300).
- ✓ Système de torche (U400).
- ✓ Des installations de production et de distribution des Utilités (U500).

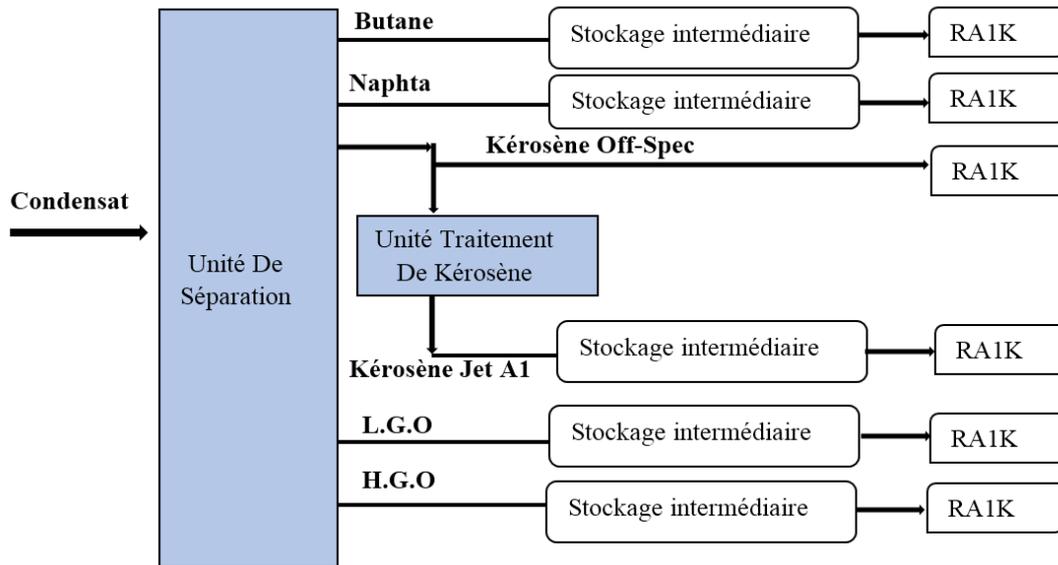


Figure I.6. Schéma synoptique du complexe Topping

I.2.6.1. Description de différentes unités :[1]

1.5.1. Unité de Distillation atmosphérique du condensat (Unité 100) :

L'unité est conçue pour une capacité de traitement de cinq millions de tonnes par an de condensat de différente provenance pendant une période continue de 330 jours par an.

Les principales installations qui constituent cette unité sont :

- Colonne de préfractionnement 100-T-101
- Colonne de distillation atmosphérique : 100-T-103
- Colonne de distillation sous vide : 100-T-401
- Colonne de stabilisation des essences : 100-T-201
- Fours : 100-F-101, 100-F-102, 100-F-103,
- Echangeurs : 100-E-101 à 100-E-108 (au nombre 20)
- Système d'injection pour traitement chimique : amine, agent inhibiteur, eau

Cette unité fonctionne comme suit :

Etape 1 : Préchauffage du produit brut ou de charge (condensat)

La transmission de chaleur se fait par échangeurs. Le condensat à basse température 30°C est préchauffé par 8 niveaux d'échangeurs de chaleur. Le procédé d'échange thermique peut être effectué sous forme de deux voies en parallèle pour permettre le traitement de charge à 50% ou 100% .

Etape 2 - Préfractionnement

La colonne 100-T-101 a pour rôle de préfractionner le Condensat en trois coupes:

- Coupe de tête (Gaz + Naphta)
- Coupe de Naphta stable ou pure
- Coupe de fond

La colonne est conçue avec un ensemble de 35 plateaux de contactage liquide vapeur. La colonne reçoit le Condensat partiellement vaporisé au plateau 28.

Etape 3 – Distillation atmosphérique

La colonne 100-T-103 a pour rôle de préfractionner la coupe de fond de colonne 100-T-101 en quatre coupes:

Coupe de tête Naphta

Coupe de Kérosène

Coupe de Gasoil léger

Coupe de fond

La colonne est conçue avec ensemble de 48 plateaux de contactage liquide vapeur. Elle a deux soutirages latéraux et trois reflux circulants, La colonne reçoit la charge au plateau 41.

Etape 4 – Distillation sous vide

La colonne sous vide 100-T-401 reçoit le fond de colonne 100-T-103. Elle a pour rôle de récupérer le compassant de Gasoil léger non fractionné pendant la distillation atmosphérique. Le fractionnement est effectué au moyen de 2 zones de garnissages assurant le contactage liquide-vapeur et séparé en deux coupes:

- Coupe de Gasoil léger
- Coupe de fond – Gasoil lourd

Le sous vide dans la colonne est créé par un package sous vide (100-PKG-401).

Etape 5– Stabilisation des essences

Cette étape est assurée par la colonne 100-T-201 (Débutaniseur ou Colonne de stabilisation) qui produit deux coupes :

- En tête, la coupe Gaz de Pétrole Liquéfiés

- En fond, la coupe essence dite "stabilisée"

Etape 6 - Dépropaniseur

La coupe gaz en tête de la colonne 100-T-201 est ensuite fractionnée dans le dépropaniseur.

Cette étape permet d'obtenir en tête une coupe Propane et en fond une coupe Butane.

La coupe Butane ensuite transféré dans l'unité ou package 100-PKG-301 pour séchage, et envoyé comme produit fini vers les sphères de stockage.

La coupe Propane est récupérée comme combustible des fours.

Etape 7 – Unité de séchage de Butane 100-PKG-301

Le système de séchage de butane contient deux colonnes de séchage à tamis moléculaire, une utilisée pour le séchage et l'autre pour la régénération.

Etape 8 – Système d'injection pour traitement chimique

Le système d'injection est utilisé seulement sur la tête de la colonne de préfractionnement.

- Injection d'amine
- Injection d'inhibiteur
- Injection d'eau

I.2.6.1.2. Unité de traitement de kérosène (Unité 200) :

Cette unité de traitement de kérosène est destinée à la purification du kérosène produit par la colonne de distillation atmosphérique T-103. Sa mise en service dépendra des caractéristiques de kérosène. Elle ne peut être démarrée qu'après la mise en service de l'unité 100 au cas où le kérosène nécessiterait des traitements.

Cette unité consiste en trois parties :

- Traitement de Kérosène
- Traitement de résidus caustique
- Préparation et stockage soude caustique / acide, ainsi le transfert

Etape 1 – Traitement de Kérosène

Le but de ce traitement est pour éliminer l'acidité, l'eau et l'impureté du Kérosène. Les principaux équipements sont :

- Précipitateur électrostatique
- Filtres
- Coalesceur
- Clay Tower (colonne d'argile)

Etape 2 – Préparation de la soude caustique

Cette étape est pour la dissolution et la préparation de soude caustique NaOH qui a une concentration de 3%, ensuite envoyer au niveau traitement de Kérosène.

Etape 3 – Traitement des résidus de sel

Procédé de traitement :

- Éliminer l'odeur par l'oxydation
- Éliminer le sel caustique par l'acidification en injectant l'acide
- Neutraliser effluve par l'injection de soude caustique fraîche 10%

Etape 4 – Produit et effluents

Produit : kérosène, envoie au stockage.

Effluents :

- Résidus neutralisés envoie au système de traitement des eaux usées.

Gaz résiduaire de 200-V-503 évacue dans l'atmosphère à un endroit de sécurité sous le contrôle de pression.

- Gaz résiduaire de 200-V-505 évacue la même façon
- Kérosène hors spécification sera récupéré par le réseau slop oil.

I.2.6.1.3. Unité de stockage et de transfert (Unité 300) :

L'unité 300 est située au sein de l'usine Topping condensat. Elle assume la réception, le stockage et l'alimentation de produit de charge (Condensat) pour l'unité de production, ainsi que la réception, le stockage et le transfert de tous les produits finis.

Cette unité de stockage est composée de onze bacs et trois sphères.

Le condensat sera livré à l'usine à partir du Terminal TRC (transport par canalisation). Les trois réservoirs de capacité de 25000 m³ assurent une autonomie de trois jours environ de stockage.

Les autres produits finis seront stockés dans des bacs de stockage intermédiaire correspondant à une autonomie d'exportation de quatre jours environ. Ces produits finis seront transférés vers des installations de stockage correspondantes au niveau de la Raffinerie (RAIK).

I.2.6.1.4. Unité de torche (Unité 400) :

L'unité a pour rôle d'éliminer sans risque toute perturbation sur les unités de traitement/stockage par des évacuations d'urgence. Le système de torche sans fumées par injection de vapeur est équipé d'un collecteur de torche, de ballon de séparation, de garde hydraulique et d'une colonne montante de torche d'une hauteur d'environ 120 mètres.

La capacité de la torche est de 528, 8 t/h.

Les sources de ce système sont des dégazages :

- du réseau gaz naturel avec une ligne de 8".
- des sphères de stockage de butane avec une ligne de 10".
- des unités de production avec une ligne collectrice de 40".

I.2.6.1.5. Unité utilités (Unité 500) :

L'unité 500 comporte les annexes de l'usine :

- 501 : unité de traitement des eaux usées
- 502 : unité d'alimentation en eau de refroidissement
- 503 : unité d'alimentation et de drainage d'eau potable
- 504 : unité du réseau anti-incendie
- 505 : unité d'alimentation d'air comprimé

a. Traitement des eaux usées (unité 501) :

L'installation du traitement des eaux usées est un système de protection de l'environnement auxiliaire de l'usine Topping de Condensat.

La capacité de traitement des eaux usées est de 60m³/h.

La provenance des eaux usées sont :

- unité 100
- unité 200
- zone de stockage (unité 300)
- eaux usées de la maintenance et du personnel

b. Système de l'eau de refroidissement (unité 502) :

Ce système a pour rôle d'assurer le traitement et le conditionnement des eaux de refroidissement pour des unités de production.

Il est en circuit semi-ouvert. Le refroidissement est assuré par l'évaporation et la convection au contact de l'air.

Les paramètres du circuit d'eau :

- température d'eau froide (aller) : 35 °C
- pression d'aller : 0,5 MPa
- température de l'eau chaude (retour): 42 °C
- pression de retour : 0,2 MPa
- débit de la filtration dérivée : 50 m³/h

a. Réseaux d'alimentation et de drainage d'eau (unité 503) :

L'eau industrielle de l'usine est livrée à partir du réseau de distribution d'eau de la zone industrielle de Skikda pour :

- l'appoint du système du réseau de lutte contre l'incendie
- la maintenance et l'exploitation
- les besoins de consommation domestique du personnel

Un système de traitement d'eau potable équipe l'usine. Il a une capacité de traitement de 7,5 m³/h.

b. Systèmes de lutte contre l'incendie (unité 504) :

L'usine est équipée des moyens mobiles et fixes de lutte contre l'incendie ainsi que des systèmes de détection des fuites, de feu, de fumée et de gaz.

Des moyens fixes comprennent notamment :

- Un réseau maillé d'eau d'incendie composé de :
 - Réservoir d'eau anti-incendie (504-TK-101)
 - Pompes électriques (504-P-101A/ B)
 - Pompes diesel (504-P-101C/D)
 - Pompes Jockey (maintien de pression du réseau (504-P-102A/B)
 - Bouches d'incendie.
- Systèmes d'arrosage des bacs de stockage des systèmes de mousse.

I. 3. EVALUATION DE LA POLITIQUE DE MAINTENANCE EXISTANTE DANS L'ENTREPRISE (RA2K) :

I.3.1. Introduction :

L'amélioration et l'optimisation d'une politique de maintenance est aussi délicate que l'intégration d'une nouvelle. 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.

I.3.2. But :

Déterminer les forces d'une organisation de la maintenance pour favoriser les améliorations et identifier les domaines et les zones de faiblesses pour les corriger. Il donne une vue de la structure, des relations, des procédures et des personnes relativement aux pratiques recommandées de la maintenance.[3]

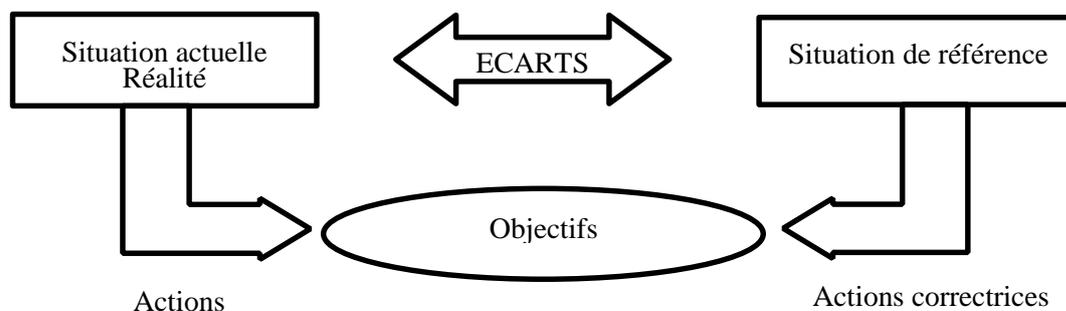


Figure I.16. Processus du diagnostic de la maintenance [4]

I.3.3. Méthodologie :

La méthodologie de LAVINA qu'on a adoptée se procède en quatre étapes :[3]

1. Collecte d'informations à l'aide d'un questionnaire.

2. Analyse et évaluation des résultats obtenus.
3. Détermination des objectifs atteindre.
4. Elaboration du plan d'améliorations.

I.3.4. La démarche de LAVINA :

La méthode de LAVINA consiste à analyser le fonctionnement de la maintenance en se basant sur un questionnaire qui couvre douze rubriques et compte cent vingt questions.

Les domaines de management de la maintenance dans la méthode adoptée sont :[3]

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 ? Évalue-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.

I.3.5. 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 questions proposées comportent les options de réponse suivantes :[3]

- "Oui" : pour une affirmation exacte et toujours vérifiée.
- "Non" : pour une affirmation fausse et jamais vérifiée.
- "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.

I.3. Mise en pratique de la méthode de LAVINA à l'entreprise RA2K :

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	15	<u>20</u>
4- Le personnel de l'encadrement et de supervision est-il suffisant ?	0	10	15	<u>20</u>	30
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 machines ?	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	20	<u>30</u>

A – 207.5 Points obtenus /250 points possibles

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	7.5	<u>15</u>
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	<u>10</u>	15	20
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	15	<u>20</u>

B- 227.5 Points obtenus /250 points possibles

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	10	<u>15</u>
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	15	<u>20</u>	30
7- Disposez-vous des informations concernant les heurs passés, les équipements consommées 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 ans ?	0	5	<u>10</u>	15	20

C- 230 Points obtenus /250 points possibles

D- Gestion portefeuille de travaux	Non	Plu- t non	Ni oui ni non	Plu- t 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	15	<u>20</u>
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	10	20	<u>30</u>	40
6- Y a-t-il une personne plus responsable de l'ordonnancement des travaux ?	0	5	10	15	<u>20</u>
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	<u>20</u>	30

D- 245 Points obtenus /250 points possibles

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	<u>15</u>	20
2- Disposez-vous de libre-service pour les consommations courantes ?	0	2.5	<u>5</u>	7.5	10
3- Tenez-vous à jour des fiches de stocks (manuel ou informatisé)?	0	10	15	<u>20</u>	30
4- Eliminez-vous systématiquement les pièces obsolètes ?	0	2.5	<u>5</u>	7.5	10
5- Suivez-vous la consommation des articles par équipement ?	0	<u>2.5</u>	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	5	10	<u>15</u>	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	15	<u>20</u>	30

E- 107.5 Points obtenus /250 points possibles

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	15	<u>20</u>	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	<u>15</u>	20	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	15	<u>20</u>

F- 145 Points obtenus /250 points possibles

G – Organisation matérielle de l'atelier maintenance	No n	Plutôt Non	Ni oui ni non	Plutôt oui	Oui
1- L'espace atelier de maintenance est-il suffisant ?	0	10	15	<u>20</u>	30
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	10	15	<u>20</u>
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	10	15	<u>20</u>
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	<u>15</u>	20
9- Les moyens de manutention de l'atelier sont-ils adaptés ?	0	10	15	20	<u>30</u>

G- 155 Points obtenus /250 points possibles

H- Outillages	No n	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	<u>15</u>	20	30
4- Exécutez-vous votre maintenance à l'aide des équipements de test ou contrôle en votre possession ?	0	<u>10</u>	15	20	25
5- Les outillages et équipements de test ou de contrôle sont-ils facilement disponibles et suffisante en quantité ?	0	10	<u>15</u>	20	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	<u>20</u>	30

H- 150 Points obtenus /250 points possibles

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	7.5	<u>10</u>

I- 195 Points obtenus /250 points possibles

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
2- Les techniciens encadrent-ils correctement les travaux réalisés par les agents ou les opérateurs ?	0	10	15	<u>20</u>	30
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	<u>35</u>	50
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	<u>20</u>	30
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	<u>10</u>	15	20
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	<u>7.5</u>	10

J- 337.5 Points obtenus /250 points possibles

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	7.5	<u>10</u>
2- Les descriptifs de travaux et cahier des charges sont-ils soigneusement élaborés ?	0	15	20	30	<u>40</u>
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	5	<u>10</u>	15	20
5- Sous-traitez-vous les tâches pour lesquelles vous considérez ne pas disposer d'une technicité suffisante ?	0	10	15	20	<u>30</u>
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	20	<u>30</u>
8- Créez-vous et mettez-vous à jour un dossier par affaire selon une procédure de constitution pré -déterminée ?	0	5	10	<u>15</u>	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	15	<u>20</u>	30

K- 200 Points obtenus /250 points possibles

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	<u>20</u>	30	40
4- L'efficacité du potentiel de la maintenance est-elle contrôlée ?	0	10	15	<u>20</u>	30
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	20	<u>30</u>
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	<u>20</u>	30

L- 240 Points obtenus /250 points possibles

I.4.1. Résultats du diagnostic :

Après avoir analysé le questionnaire de LAVINA réalisé à l'entreprise RA2K nous avons abouti aux résultats suivants :

Domaines d'analyses	Scores obtenus	Max possible	Pourcentage
A- Organisation générale	207.5	250	83%
B- Méthodes de travail	227.5	250	91%
C- Suivi technique des équipements	230	250	92%
D- Gestion du portefeuille de travaux	245	300	81.66%
E- Stock de pièces de rechange	107.5	200	<u>53.75%</u>
F- Achat et approvisionnement des pièces et matières	145	200	<u>72.5%</u>
G- Organisation matérielle de l'atelier maintenance	155	200	<u>77.5%</u>
H- Outillages	150	200	<u>75%</u>
I- Documentation technique	195	200	97.5%
J- Personnel et formation	337.5	400	84.37%
K- Sous-traitance	200	250	<u>80%</u>
L- Contrôle de l'activité	240	300	<u>80%</u>
SCORE TOTAL	2440	3000	81.33%

Tableau I.2. Résultats du questionnaire de LAVINA réalisé à l'entreprise RA2K

Pour mieux visualiser ces résultats, nous les avons présentés sur le diagramme de Kiviat suivant :

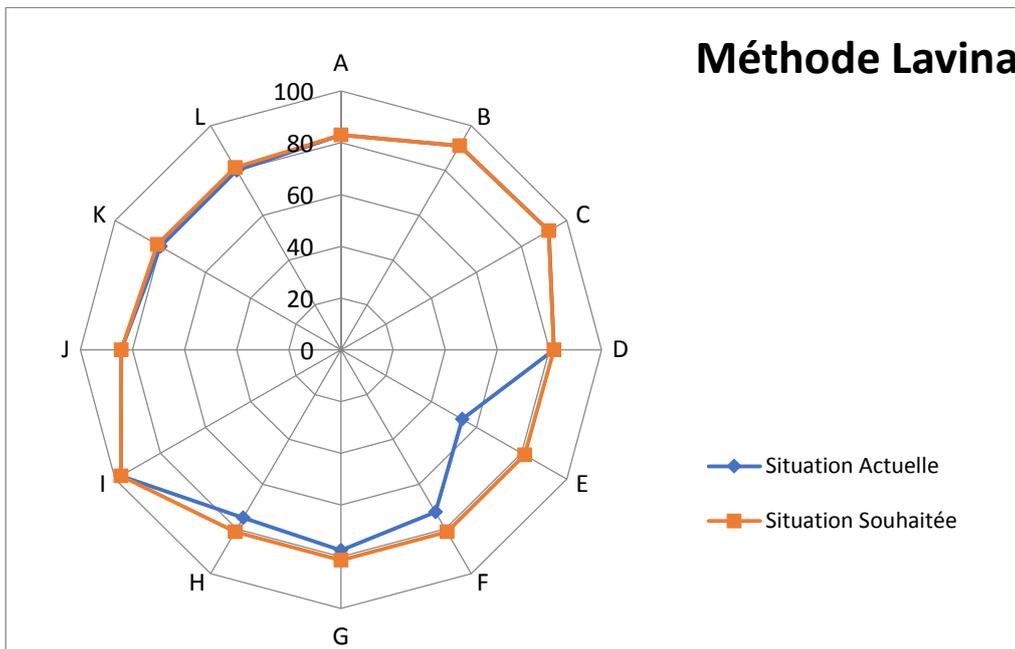


Figure I.17. Diagramme de Kiviat montrant la situation actuelle et souhaitée

Le tableau (I.2) permet d'identifier six domaines présentant, plus ou moins, des faiblesses ou dont l'action est prioritaire. Ce sont les domaines dont le pourcentage indiqué à la quatrième colonne du tableau (I.2) est inférieur à celui du score total (Gestion de stock de pièces de rechange, Achat et approvisionnement des pièces et matières, Organisation matérielle de l'atelier, Outillage, Sous-traitance, Contrôle d'activité).

I.4.2. Analyse des résultats :

Le tableau (I.3) montre les propositions que nous formulons pour remédier aux manques observés dans les six 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.

Rubriques du questionnaire	Propositions d'amélioration
E- Stock de pièces de rechange	Suivre rigoureusement la consommation des articles par équipement
	Accélérez pour terminer la construction d'un nouvel magasin de pièces de rechange
	Définir le seuil de déclenchement et les quantités à approvisionner pour chaque article en stock
F- Achat et approvisionnement des pièces et matières	Les délais d'émission d'une demande doivent être aussi courts que possible
	Pour les articles à consommation régulière passez par des fournisseurs pour faciliter le contact pour chaque achat.
G- Organisation matérielle de l'atelier	L'atelier doivent être rangés correctement
	Définir pour chaque travailleur un poste de travail clairement défini
H- Outillage	Fournir les outillages spéciaux et les équipements de test nécessaires
K- Sous-traitance	Avoir la possibilité de recours à de multiples entreprises locales de sous-traitance
	Les contacts avec les sous-traitants doivent inclure des classes de résultats.
L- Contrôle de l'activité	Suivie des performances du service
	Mise en place d'un tableau de bord permettant de décider des actions correctives à entreprendre

Tableau I.3. Propositions d'améliorations

II.5. Conclusion :

Ce premier chapitre a été réservé en premier lieu à la présentation de l'entreprise d'accueil et de son importance vis-à-vis l'économie nationale et étant donné que le complexe Topping RA2K fait partie de la société mère SONATRACH nous avons préféré abordé en deuxième lieu, une étude de la politique de maintenance suivi par la RA2K.

Il est très important de signaler que le stage effectué au niveau du complexe Topping RA2K a été très bénéfique, ce dernier nous a permis de nous rapprocher et de connaître le domaine de la pétrochimie qui est la source numéro une de la richesse de notre pays.

A cet effet, nous avons préféré commencer notre travail par une étude critique de la politique de maintenance suivie par les responsables de la RA2K tout en utilisant une technique très efficace connue par le nom de la méthode de LAVINA.

Cette dernière, basée sur un questionnaire formé de douze rubriques, chacune contenant des dizaines de questions, a été réalisée grâce au concours de plusieurs responsables de l'entreprise intervenant de près ou de loin dans la fonction maintenance.

Les différents résultats trouvés nous ont permis de cibler six domaines dont quatre principaux qui présentent certaines faiblesses et qui nécessitent des améliorations dans le futur proche.

Suite à cette étude, nous avons pu dégager certaines propositions dont l'application peut réduire les problèmes décelés et d'augmenter la fiabilité des installations.

Chapitre II

Maintenance : Concepts fondamentaux

Introduction :

Aujourd'hui les entreprises ne peuvent plus négliger l'entretien de leurs outils de production. Elles prennent conscience des enjeux économiques en prévoyant la maintenance dans leur choix d'investissement. La maintenance est considérée comme une source d'optimisation de l'outil de production voire un facteur de profits.

La fonction maintenance ne consiste plus seulement à remettre en état l'outil de travail mais de plus en plus à anticiper les dysfonctionnements. On est passé d'une maintenance curative à une maintenance préventive. Grâce à l'évolution des technologies et à des capteurs électroniques par exemple, il est possible de prévoir une panne et d'intervenir en amont (maintenance prédictive).

Dans cette optique, nous avons consacré ce deuxième chapitre, d'une part, à la présentation des fondements de base et les notions fondamentales très utiles pour comprendre les différents concepts relatant de la maintenance industrielle. D'autre part, à l'étude des outils qui aident à l'amélioration de la maintenance à leur tête nous pouvons citer l'analyse FMD, l'utilisation des modèles de fiabilité tel que celui de Weibull, que nous avons employé par la suite dans l'étude quantitative des pompes centrifuges.

La méthode ABC de Pareto, la technique d'arbre de défaillance ainsi l'analyse AMDEC machine (Analyse des modes de défaillances, leurs Effets et de leur Criticité) ont été présenté pour une éventuelle exploitation, comme outils d'amélioration de maintenance, dans la suite de l'étude.

II.1. La maintenance :

II.1.1. Importance de la maintenance :

« Ne pas prévoir c'est déjà gémir », disait Léonard De Vinci il y a plusieurs siècles. Cette notion, bien qu'elle soit ancienne, est le concept fondamental de la maintenance moderne. Certains auteurs vont encore plus loin dans l'antiquité pour remonter les origines de la notion maintenance à l'époque où on fabriquait des objets. L'ouvrage de *Aquae Ductu Rubis Romae* écrit par Sextus Julius Frontinus en 99 après Jésus-Christ, est peut-être la plus vieille référence de la maintenance moderne décrivant l'exploitation et l'entretien du réseau des eaux de la ville de Rome. Bien que le terme maintenance ne soit apparu qu'aux années 50 aux USA remplaçant la notion d'entretien, ce métier est l'un des plus vieux au monde. [5]

Depuis la fin de la deuxième guerre mondiale la machine industrielle tourne à une cadence infernale afin de rétablir ce que cette guerre a démoli. Les besoins de l'homme en produits de consommation divers ont augmenté et se sont amplifiés d'une année à l'autre. La complexité et le coût croissant des appareils de production ont entraîné une forte augmentation

de leur intensité d'utilisation mettant en évidence le besoin d'une bonne maintenance afin d'assurer une meilleure performance des installations et machines.

La fonction maintenance assure donc un rôle primordial dans l'entreprise, elle accompagne ainsi la machine dès sa conception jusqu'à la fin de son service, elle doit par conséquent :[5]

1. Participer dès la conception à prédéterminer la maintenabilité, la fiabilité, la disponibilité et la durabilité de la machine ;
2. Participer à l'achat de la machine au sein de la structure utilisatrice par des conseils techniques et opérationnels (prise en compte des critères) ;
3. Participer à l'installation et à la mise en route de la machine, ainsi aux premiers jours de production, donc de pannes potentielles, le service connaît déjà la machine ;
4. Prévention des pannes, surveillance permanente, dépannage et réparation, ...etc.
5. L'approvisionnement et la gestion des pièces de rechange ;
6. Prendre des décisions en termes d'améliorations ou de modifications afin de minimiser la dégradation du matériel ;
7. Prendre la décision du moment économique des cessations du soin à apporter à la machine, et participer au choix de son remplacement ;
8. Prestations diverses :
 - a. Travaux concernant l'hygiène, sécurité et conditions de travail ;
 - b. Travaux de reconversion des locaux, de déménagement et de démolition ;
 - c. Pour la production : réalisation de montages par exemple ;
 - d. L'entretien général des bâtiments administratifs ou industriels, des espaces verts, des véhicules, ...etc.

II.1.2. Définition normalisée de la maintenance :

D'après le dictionnaire « Larousse » la maintenance est :

« Ensemble de tout ce qui permet de maintenir ou de rétablir un système en état de fonctionnement ».

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, ... etc.) qui permettent de conserver le potentiel du matériel pour assurer la continuité et la qualité de production. Bien maintenir, c'est assurer ces opérations au coût global optimum ». [5]

Commentaire :

1. « **Maintenir** » contient la notion de « Prévention » sur un système en fonctionnement ;

2. « **Rétablir** » contient la notion de « Correction » consécutive à une perte de fonctionnement ;
3. « **Etat spécifié** » ou « Service déterminé » implique la prédétermination d'objectifs à atteindre avec quantification des niveaux caractéristiques et tous cela à moindre coût possible (aspect économique).

II.1.3. Objectifs de la maintenance :

Les objectifs poursuivis par la fonction maintenance résultent des objectifs généraux qui, dans le cas d'une entreprise portent essentiellement sur la rentabilité, la croissance, la sécurité, ainsi que sur des objectifs sociaux.

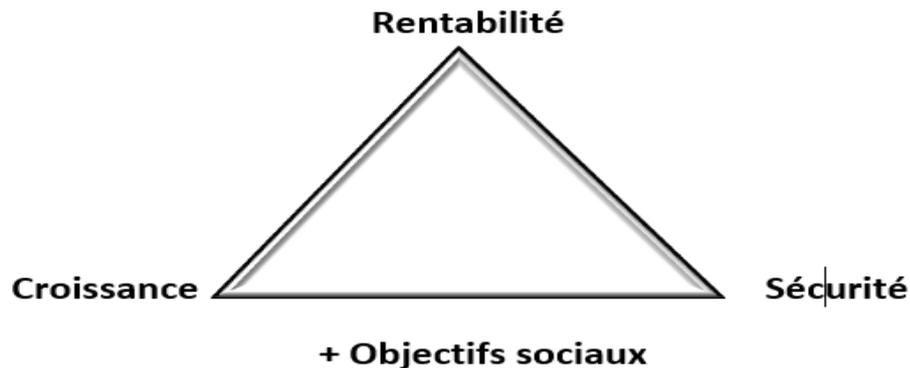


Figure II.1. Objectifs généraux de l'entreprise.

La fonction maintenance doit, comme les autres fonctions, contribuer à la réalisation de cet objectif essentiel, à savoir la rentabilité et la compétitivité des entreprises et l'efficacité des administrations.

La sécurité des personnes et des biens constitue une composante prioritaire des objectifs de la maintenance.

C'est la nature de l'entreprise qui dicte les objectifs du service de maintenance clairement définis par une politique bien déterminée à partir de la prise en compte de trois facteurs essentiels : [5]

1. Facteur technique ;
2. Facteur économique ;
3. Facteur humain et écologique.

II.1.3.1. Objectifs techniques (opérationnels) :

1. Maintenir l'équipement :
 - a. Dans les meilleures conditions possibles ;
 - b. Dans un état acceptable ;
2. Assurer la disponibilité maximale des installations et de l'équipement à un prix rationnel ;

3. Fournir un service qui élimine les pannes à tout moment et à tout prix ;
4. Pousser à la dernière limite la durée de vie de l'installation (notion de durabilité) ;
5. Assurer une performance de haute qualité ;
6. Maintenir une installation d'une propreté absolue à tout moment.

II.1.3.2. Objectifs économiques (financiers) :

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

II.1.3.3. Objectifs humains et écologiques :

1. Réduire les accidents de fonctionnement (Notion de sécurité) et améliorer les conditions de travail ;
2. Etudier toute modification, protection à effectuer sur les matériels pour diminuer les risques d'accidents ;
3. Lutter contre la nuisance et préserver l'environnement (échappement de gaz, bruits inhérents, fuites d'huile, ... etc.).

II.1.4. Politiques de maintenance :

Choisir entre un type ou un autre de maintenance est une question cruciale, ceci constitue la stratégie de maintenance le plus souvent appelée politique de maintenance. Une stratégie de maintenance doit être fondée sur : [5]

1. La connaissance technologique des biens concernés ;
2. Leurs conditions d'exploitation dans le système productif ;
3. Leur criticité dans le processus de production ;
4. Les coûts directs et indirects engendrés.

En général, et ceci depuis les premières normes de maintenance, les politiques peuvent être classées en deux catégories :

La première est une maintenance exécutée après la détection d'une panne et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise, appelée **maintenance corrective**.

La deuxième est une maintenance destinée à réduire la probabilité de défaillance ou de dégradation du fonctionnement d'un bien, appelée **maintenance préventive**.

Le choix entre ces deux politiques est un mélange harmonieux entre préventif et correctif afin de minimiser le coût total de maintenance.

II.1.4.1. Maintenance préventive :

Elle doit permettre d'éviter les défaillances des matériels en cours d'utilisation. Selon l'AFNOR : « La maintenance préventive est une maintenance ayant pour objet de réduire la probabilité de défaillance ou de dégradation d'un bien ». La maintenance préventive se subdivise en trois types :[5]

II.1.4.1.1. Maintenance préventive systématique :

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

Exemple :

1. Lubrifier les boîtes de vitesse des fraiseuses toutes les 200 heures ;
2. Changer les filtres des moteurs des chargeurs tous les 500 Km ;
3. Changer les roulements de guidage des broches des tours toutes les 5000 heures ;
4. Nettoyer les glissières chaque jour ;
5. Vérifier la tension des courroies chaque semaine ; ...etc.

II.1.4.1.2. Maintenance préventive conditionnelle :

Selon l'AFNOR : « Maintenance préventive subordonnée à un type d'événement prédéterminé ». Ces indicateurs sont généralement les vibrations, pression, bruit, température, ...etc.

Exemple :

1. Procéder à un équilibrage des ventilateurs si le niveau vibratoire atteint 60 μm (Seuil d'alarme) ;
2. Prévoir un changement de roulement s'il y a une évolution de l'accélération mesurée à ce point ;

II.1.4.1.3. Maintenance préventive prévisionnelle :

Parfois appelée « maintenance prédictive », la maintenance prévisionnelle est, 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 ». Elle est basée sur l'analyse de l'évolution des paramètres techniques qui permettent de quantifier l'état du bien et de détecter les dégradations potentielles dès leur apparition, elle permet d'anticiper et de prévoir au mieux le moment où l'intervention devra être réalisée.

II.1.4.1.4. Objectifs visés par le préventif :

1. Augmenter la fiabilité des équipements, donc réduire les défaillances, leurs coûts et améliorer la disponibilité ;
2. Augmenter la durée de vie efficace des équipements ;
3. Diminuer le temps d'arrêt en cas de révisions ou de pannes ;
4. Améliorer les conditions de travail ;
5. Diminuer le budget de maintenance ;
6. Faciliter la gestion des stocks (Consommation prévue) ;
7. En générale, en réduisant la part du « fortuit », améliorer le climat des relations humaines (une panne imprévue est toujours génératrice de tension).

II.1.4.2. Maintenance corrective :

Selon toujours la norme 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 ». La maintenance corrective qui se subdivise en deux types :[5]

II.1.4.2.1. 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.

II.1.4.2.2. Maintenance curative :

Il s'agit des réparations faites in-situ ou en atelier central parfois après dépannage, ce type de maintenance a un caractère « définitif ».

La figure (II.2) regroupe tous les types de maintenance.[5]

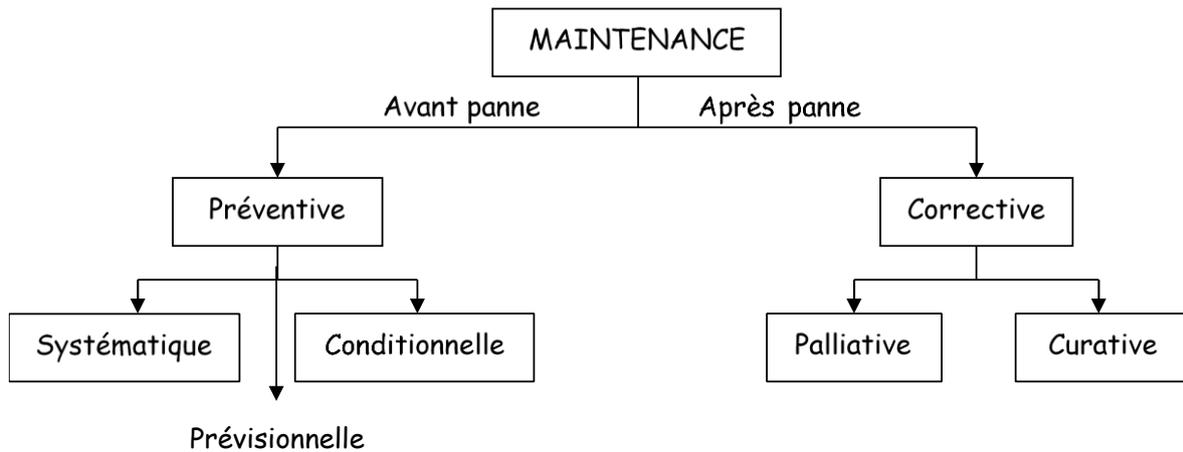


Figure II.2. Types de maintenance

II.1.5. Niveaux de maintenance :

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

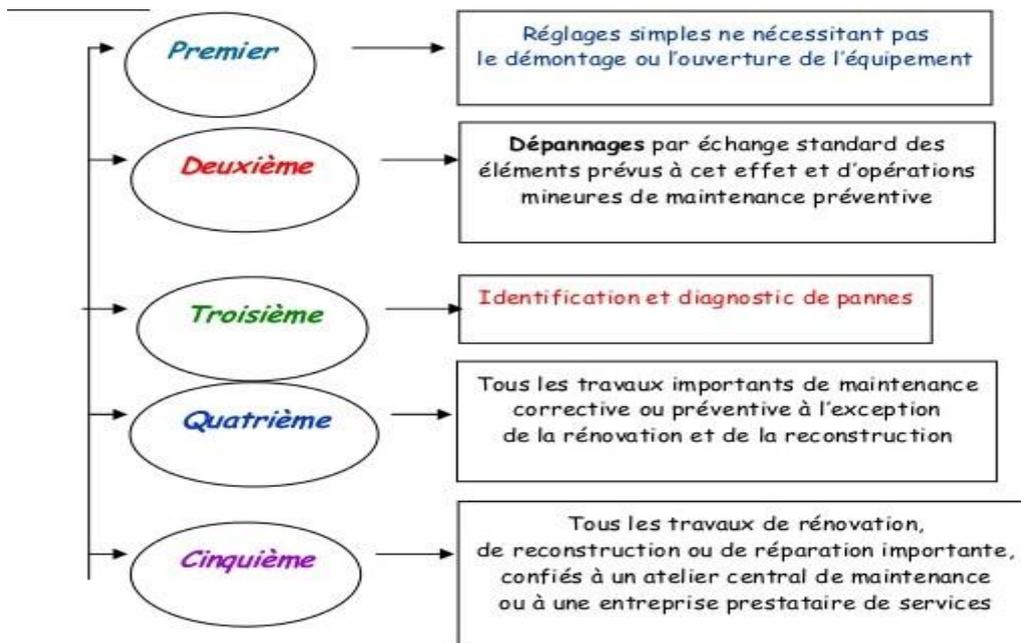


Figure II.3. Différents niveaux de maintenance [6]

Un niveau de maintenance se définit par rapport :

- À la nature de l’intervention ;
- À la qualification de l’intervenant ;
- Aux moyens mis en œuvre.

Niveau	Personnel d'intervention	Moyens
1	Exploitant sur place.	Outillage léger défini dans les instructions d'utilisation.
2	Technicien habilité, sur place.	Idem, plus P.D.R trouvées à proximité, sans délai.
3	Technicien spécialisé, sur place ou en local de maintenance.	Outillage prévu plus appareils de mesure, banc d'essai, contrôle, ...etc.
4	Equipe encadrée par un technicien spécialisé ou en atelier central.	Outillage général plus spécialisé, matériel d'essais, de contrôle, ...etc.
5	Equipe complète, polyvalente, en atelier central.	Moyens proches de la fabrication par le constructeur.

Tab II.1. Niveaux de la maintenance [5]

II.2. L'analyse des risques :

II.2.1. Définitions :

II.2.1.1. Analyse :

Etude faite en vue de discerner les différentes parties d'un tout, de déterminer ou d'expliquer les rapports qu'elles entretiennent les unes avec les autres.

Nous prendrons comme définition de l'analyse du risque celle donnée par Pierre Périlhon, la plus complète. Cependant il en existe d'autres (au bureau Veritas, dans la norme X 60 510, à l'INRS) qui sont surtout basées sur l'énumération des étapes de l'analyse.[7]

II.2.1.2. Risque :

Le risque est une propriété intrinsèque à toute prise de décision. Il se mesure par une conjonction entre plusieurs facteurs (Gravité, Occurrence, Exposition, Possibilités d'évitement, etc.), quoique généralement on se limite aux deux facteurs : gravité et fréquence d'occurrence d'un accident potentiellement dommageable en intégrant dans certains cas le facteur d'exposition. [7]

Cependant, il ne faut pas confondre le concept de risque avec sa mesure.

II.2.1.3. 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.[7]

II.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 :[8]

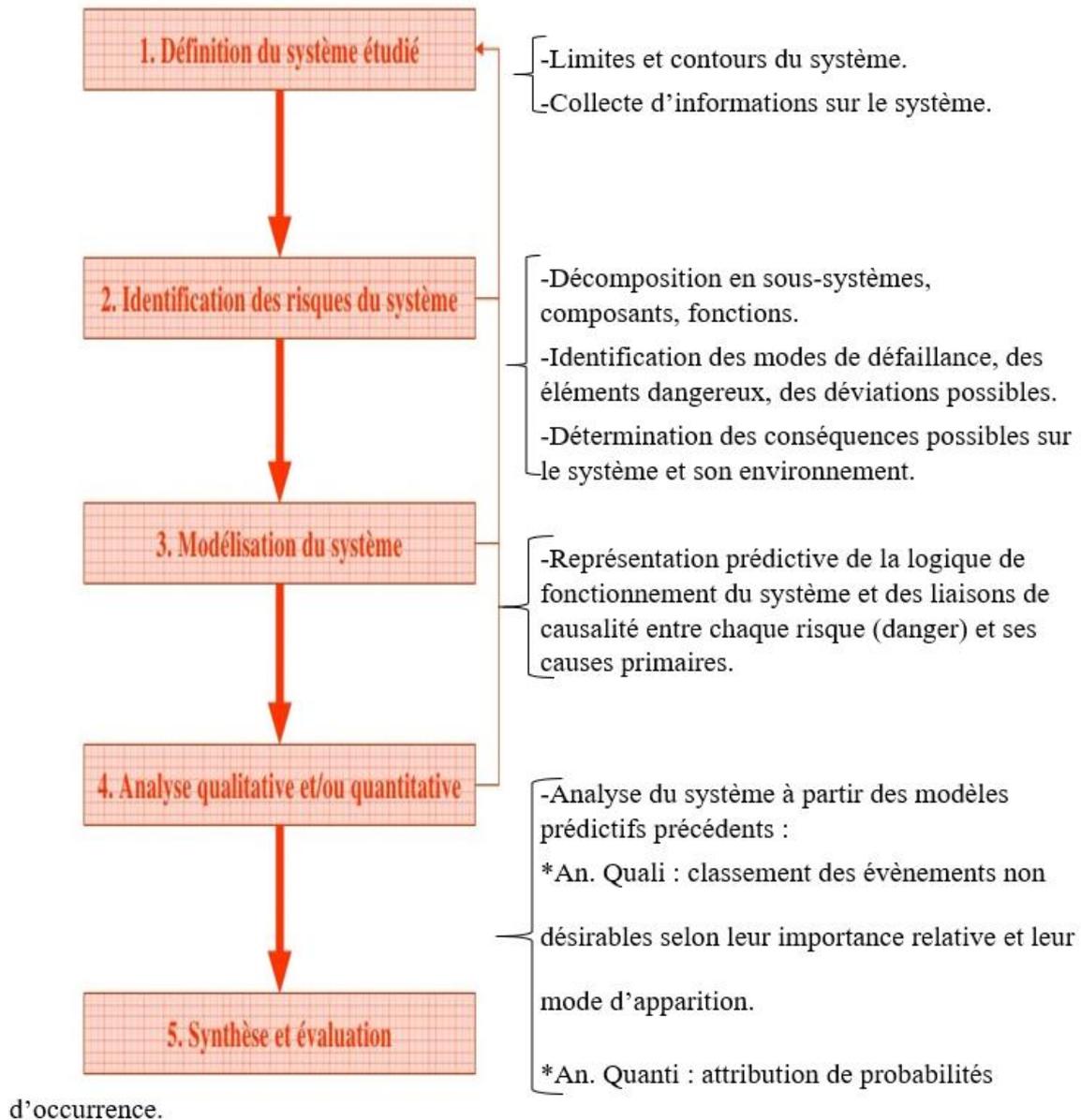


Figure II.4. Étapes de l'analyse des risques [8]

II.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.[7]

II.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.

II.2.3.2. Risques maîtrisables :

Risque tolérable : Le risque toléré traduit, à l'effet d'en retirer certains bienfaits, la volonté de vivre avec les risques que l'on ne 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.

II.2.3.3. Risques non maîtrisables :

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.

II.2.4. Méthodes d'analyse des risques :

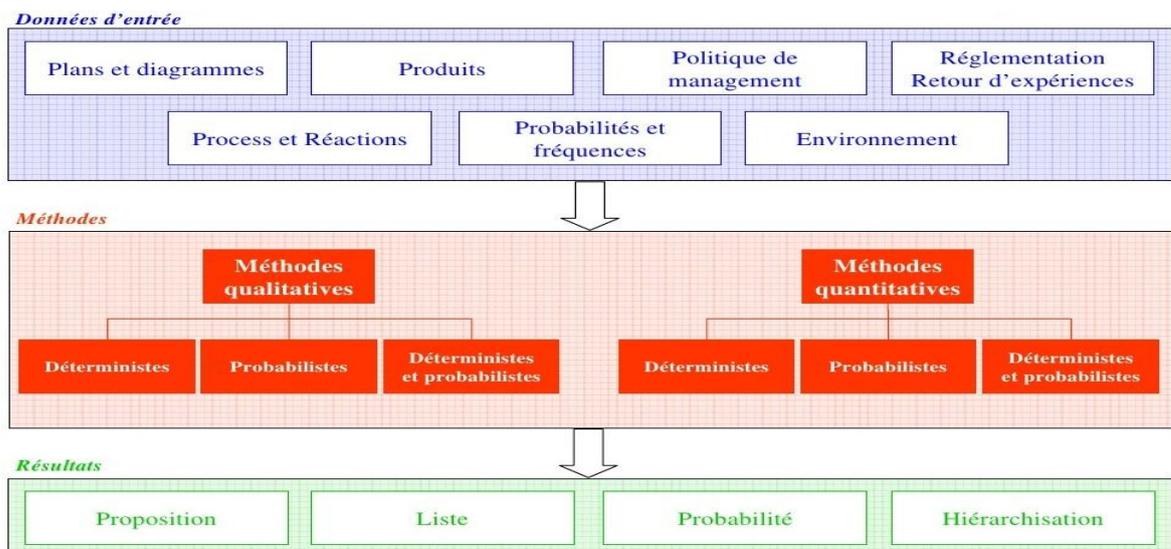


Figure II.5. Classement des méthodes de l'analyse des risques [8]

II.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** :[9]

- 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.

II.3.1. Analyse de la fiabilité des équipements :

II.3.1.1. Définition :[5]

D'après la norme AFNOR X60-501 : « La fiabilité est la caractéristique d'un dispositif exprimée par la probabilité que ce dispositif accomplisse une fonction requise dans des conditions d'utilisation et pour une période de temps déterminées ».

Cette probabilité est généralement notée $R(t)$ (Probabilité de bon fonctionnement), le symbole $R(t)$ vient du mot anglais « Reliability ». On trouve généralement deux types de fiabilité, celle estimée au début par le constructeur du bien appelée « fiabilité prévisionnelle » et celle réelle obtenue après une suite de défaillances potentielles appelée « fiabilité opérationnelle ».

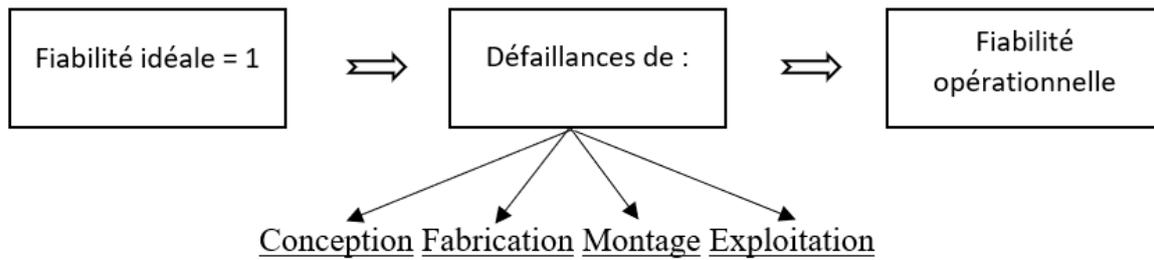


Figure II.6. Types de fiabilité

L'évolution du taux de défaillance se présente sous la forme d'une courbe en baignoire.

II.3.1.2. Le taux de défaillance $\lambda(t)$:

Le taux de défaillance $\lambda(t)$, parfois appelé $h(t)$ (h comme hasard) est la probabilité d'avoir une défaillance du système ou de l'élément entre les instants t et $(t+1)$ ayant vécu jusqu'à t . L'unité du taux de défaillance est généralement pannes /heures ($\lambda(t)$ est toujours positif : $\lambda(t) \geq 0$). [5]

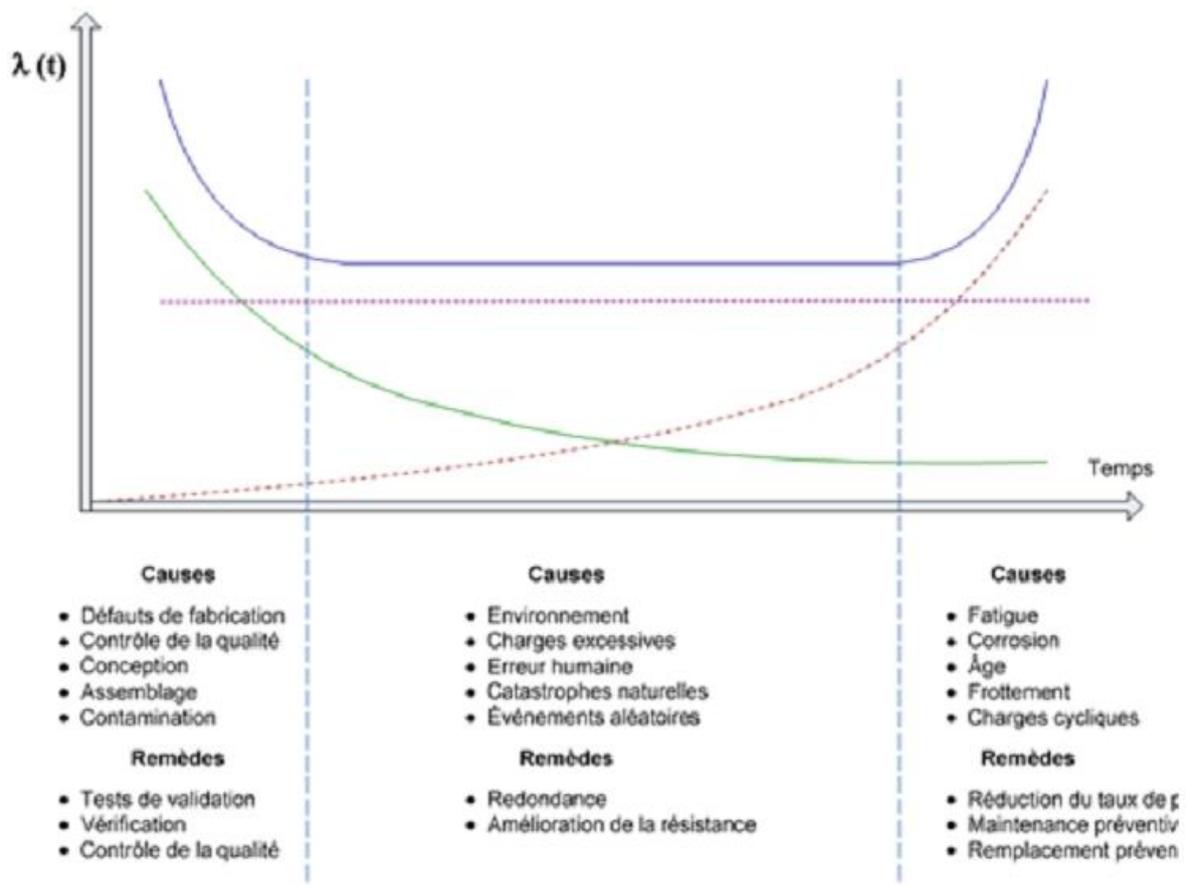


Figure II.7. Courbe en baignoire (vie d'un matériel)

Période 1 :

Pour la première période appelée « période de jeunesse » ou « rodage » elle est caractérisée par un taux de défaillance décroissant avec le temps, le fait qu'on enregistre un taux de défaillance maximal au départ est dû à :

1. Défauts de conception, de fabrication, ou de montage ;
2. Défauts de manipulation des exploitants, ...etc.

A titre de prévention, en pratique, on a tendance à mettre en fonctionnement le matériel pendant un certain temps avant de le livrer au client, cette opération est appelée « déverminage » ou « rodage » le plus souvent utilisé en automobile. De plus, toute la documentation sur le matériel est livrée par le constructeur ainsi que l'assistance technique lors de l'installation, la mise en route, la formation spécialisée des agents, ...etc. De plus, la structure utilisatrice doit prévoir dans cette période des contrôles très renforcés, ainsi qu'une maintenance corrective (se préparer aux pannes).

Période 2 :

Pour la deuxième période caractérisée par un taux de défaillance constant on pratique de la maintenance préventive systématique et corrective. C'est la période de maturité.

Période 3 :

Cette période est caractérisée par un taux de défaillance croissant avec le temps, c'est la période de vieillesse présentant d'importantes dégradations par fatigue ou usure. On pratique de la maintenance préventive conditionnelle (surveillance accrue du matériel) plus la maintenance corrective.

II.3.1.3. 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.[10]

T est une variable aléatoire de la fonction de réparation F(t).

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

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

❖ R (ti) est la probabilité de bon fonctionnement à l'instant ti :

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

$$\text{Donc : } F(t_i) + R(t_i) = 1, \text{ où : } \int_0^t F(t_i) dt + \int_0^\infty R(t_i) = 1$$

Par hypothèse on dit que :

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

C'est la probabilité conditionnelle entre t et $(t+dt)$, notons que $\lambda(t)$ est aussi appelé fonction de hasard $h(t)$.

$$\int_0^t \lambda(t) \cdot dt = \int_0^t \frac{dF(t)}{1-F(t)} \quad \Rightarrow \quad - \int_0^t \lambda(t) \cdot dt = - \int_0^t \frac{dF(t)}{1-F(t)}$$

$$- \int_0^t \lambda(t) \cdot dt = [\ln(1 - F(t))]_0^t = \ln[1 - F(t)]$$

Donc : $e^{-\int_0^t \lambda(t) \cdot dt} = 1 - F(t) \quad \Rightarrow \quad \boxed{F(t) = 1 - e^{-\int_0^t \lambda(t) \cdot dt}}$

Sachant que :

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

Et sachant que :

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

Ces trois formules sont les lois fondamentales liées à la fiabilité, elles permettent de tracer expérimentalement la fiabilité d'un matériel en fonction du temps, ainsi que la détermination du taux de défaillance $\lambda(t)$.

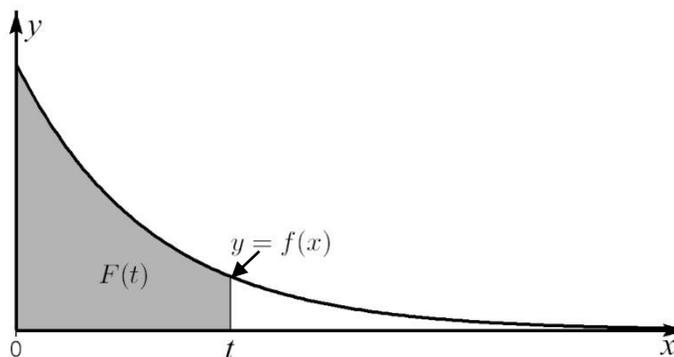


Figure II.8. Fonction densité de probabilité de défaillance

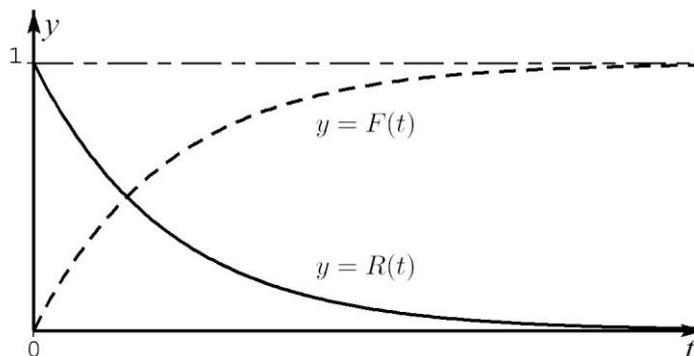


Figure II.9. Fonction associée de fiabilité et de défaillance

La moyenne des temps de bon fonctionnement MTBF correspond à l'espérance mathématique de la variable aléatoire T : $MTBF = E(T) = \int_{-\infty}^{+\infty} t \cdot f(t) dt$

On peut démontrer par intégrale par partie que :

$$MTBF = \int_{-\infty}^{+\infty} R(t) dt$$

Pour étudier la fiabilité, il est plus pratique d'utiliser un modèle et de vérifier ensuite sa validité par le test d'adéquation. Nous allons dans ce chapitre présenter deux modèles (bien qu'ils existent beaucoup d'autres), l'un utilisé dans le cas particulier où le taux de défaillance est constant appelé « Modèle exponentiel » le deuxième certainement le plus utilisé, peut s'adapter aux différents cas du taux de défaillance appelé « Modèle de Weibull ».

II.3.1.4. Modèles de fiabilité :

II.3.1.4.1. Modèle exponentiel :

Il est appliqué dans le cas où le taux de défaillance est constant (période maturité) voir La courbe en baignoire (figure II.7). On peut donc calculer l'allure de la fonction de fiabilité R(t) par : [11]

$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt}$; il vient avec λ constant : $R(t) = e^{-\lambda t}$

La densité de probabilité de défaillances f(t) :

$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = \frac{d(1-R(t))}{dt}$; donc : $f(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda t}$

La fonction de défaillance F(t) : $F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$

Le taux de défaillance est donné par :

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

L'espérance mathématique: $E(T) = MTBF = \frac{1}{\lambda}$

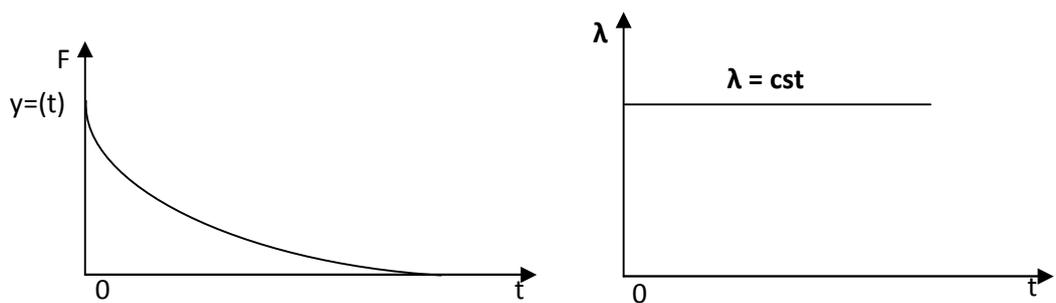


Figure II.10. Fonction et le taux de défaillance F(t) et $\lambda(t)$ [11]

II.3.1.4.2. Modèle de Weibull :

La loi de Weibull est utilisée en fiabilité, en particulier dans le domaine de la mécanique. Cette loi a l'avantage d'être très souple et de pouvoir s'ajuster à différents résultats d'expérimentations.[12]

La loi de Weibull est une loi continue à trois paramètres :

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

-
- Densité de probabilité :
$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad \text{avec } t \geq \gamma$$

- Fonction de répartition :
$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$$

- Loi de fiabilité :
$$R(t) = 1 - F(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$$

- Taux de défaillance :

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

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

Remarque : si $\begin{cases} \gamma = 0 \\ \beta = 1 \end{cases} \rightarrow \lambda(t) = \frac{1}{\eta} = \frac{1}{MTBF}$

$$a = \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \text{ et de } b = \sqrt{\Gamma\left(1 + \frac{2}{\beta}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)}$$

Moyenne des temps de bon fonctionnement : $MTBF = \gamma + \eta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$

En fonction de β d'où : $MTBF = \gamma + a \eta$

Le paramètre de position γ étant souvent nul, on se ramène à

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

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

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

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

Donc $\gamma = 0$ ou, en faisant le changement de variable, $t_1 = t - \gamma$, on obtient la distribution de Weibull à 2 paramètres, définie pour t (ou t_1) positif ou nul, dont les caractéristiques sont illustrés sur la figure (II.11)

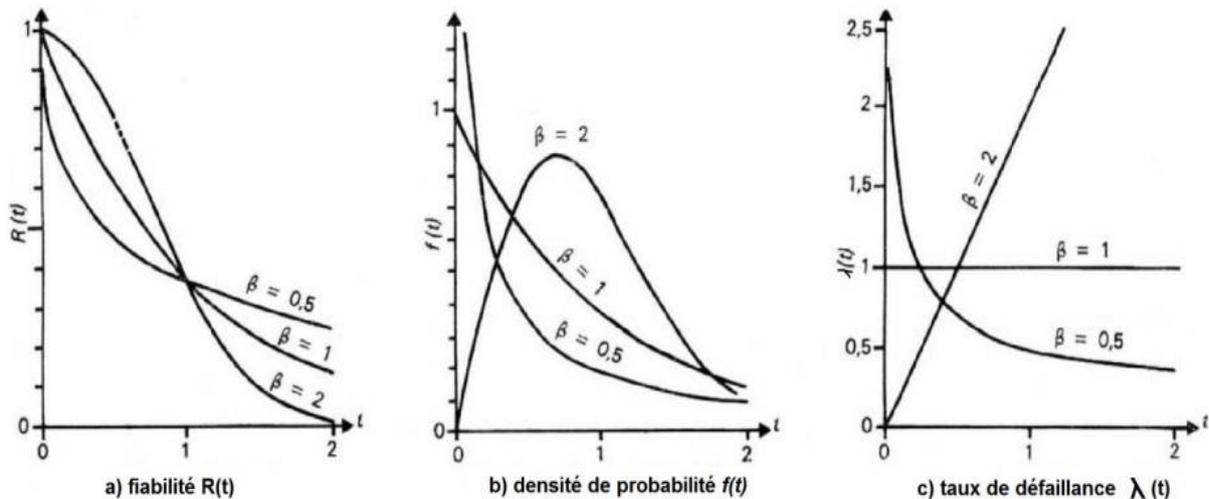


Figure II.11. Principales propriétés de la distribution de Weibull [12]

Application à la fiabilité :

Suivant les valeurs de β , le taux de défaillance est :

Soit décroissant ($\beta < 1$),

Soit constant ($\beta = 1$),

Soit croissant ($\beta > 1$).

La distribution de Weibull permet donc de représenter les trois périodes de la vie d'un dispositif (courbe de baignoire).

Le cas $\gamma > 0$ correspond à des dispositifs dont la probabilité de défaillance est infime jusqu'à un certain âge γ .

Estimation des paramètres de la loi de Weibull :

Un des problèmes essentiels est l'estimation des paramètres (β, η, γ) de cette loi, pour cela, nous disposons de la méthode suivante : [12]

❖ **Graphique à échelle fonctionnelle :**

Si pour la distribution de Weibull à 2 paramètres, on fait la transformation :

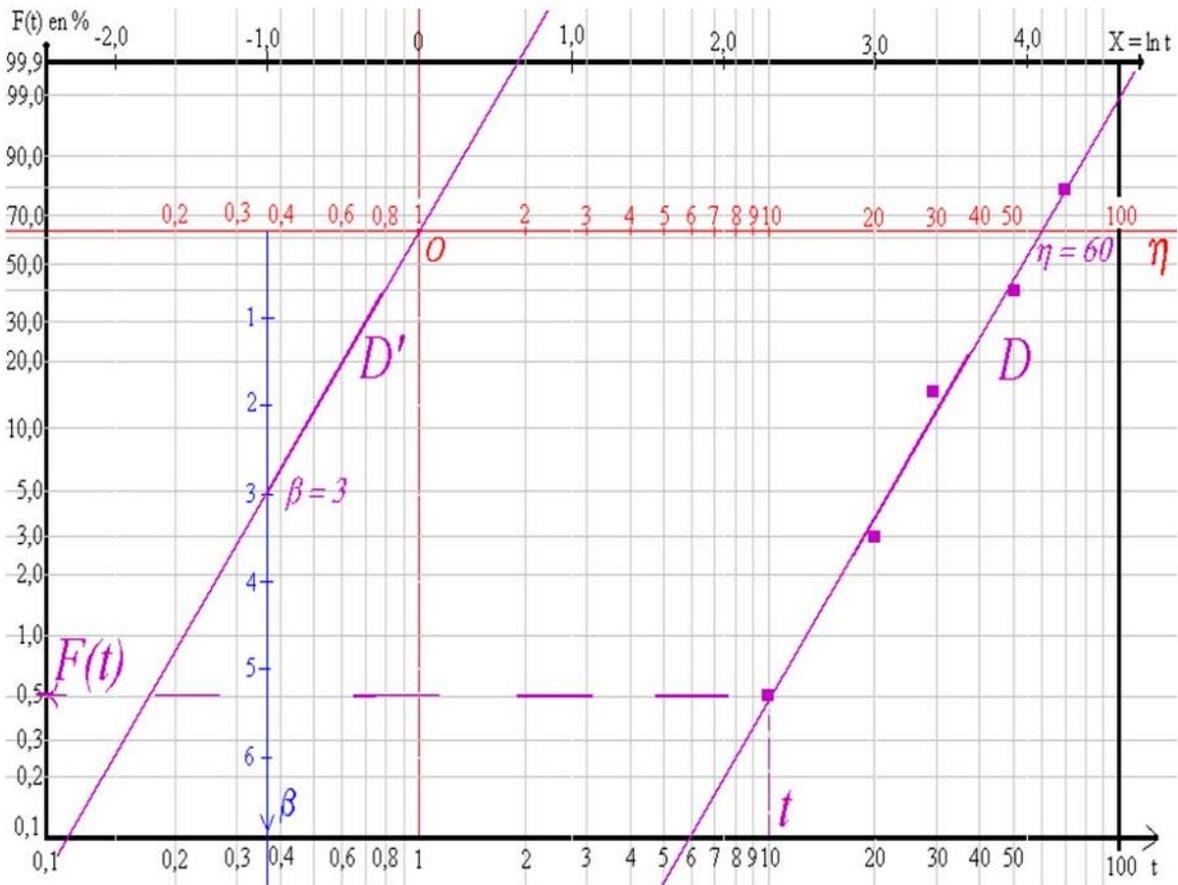


Figure II.12. Représentation sur graphique à échelle fonctionnelle de la distribution de Weibull (graphique d'Allan Plait)

- L'axe A est l'axe des temps sur lequel nous porterons les valeurs t_i de durées de bon fonctionnement
- L'axe B porte $F(t)$ sur lequel nous porterons les valeurs $F(i)$ calculées par approximation (rangs moyens ou médians). Nous estimerons la fiabilité en prenant le complément : $R(t) = 1 - F(t)$;
- L'axe a correspond à $\ln t$;
- L'axe b correspond à $\ln (1/1 - F(t))$. Cet axe permettra d'évaluer la valeur de β .

Préparation des données :

1. Calcul des Temps de bon fonctionnement
2. Classement des temps de bon fonctionnement en ordre croissant
3. N = nombre de Temps de bon fonctionnement
4. Recherche des données $F(i)$, $F(i)$ représente la probabilité de panne au temps correspondant au Temps de bon fonctionnement de l'élément défaillant.

On a 3 cas différents :

1 - Si $N > 50$, regroupement des Temps de bon fonctionnement par classes avec la fréquence cumulée :

$$F(i) = \frac{N_i}{N} = \frac{\sum R_i}{N} \approx F(t)$$

2 - Si $20 < N < 50$, On affecte un rang "Ni" à chaque défaillance (approximation des rangs moyens) :

$$F(i) = \frac{N_i}{N + 1} \approx F(t)$$

3 - Si $N < 20$, On affecte un rang "Ni" à chaque défaillance (approximation des rangs médians) :

$$F(i) = \frac{N_i - 0.3}{N + 0.4} \approx F(t)$$

a. Recherche de γ :

- Si le nuage de points correspond à une droite, alors $\gamma = 0$. ($\gamma = 0$)
- Si le nuage de points correspond à une courbe, on la redresse par une translation de tous les points en ajoutant ou en retranchant aux abscisses "t", une même valeur (γ) afin d'obtenir une droite comme le montre la figure suivante :

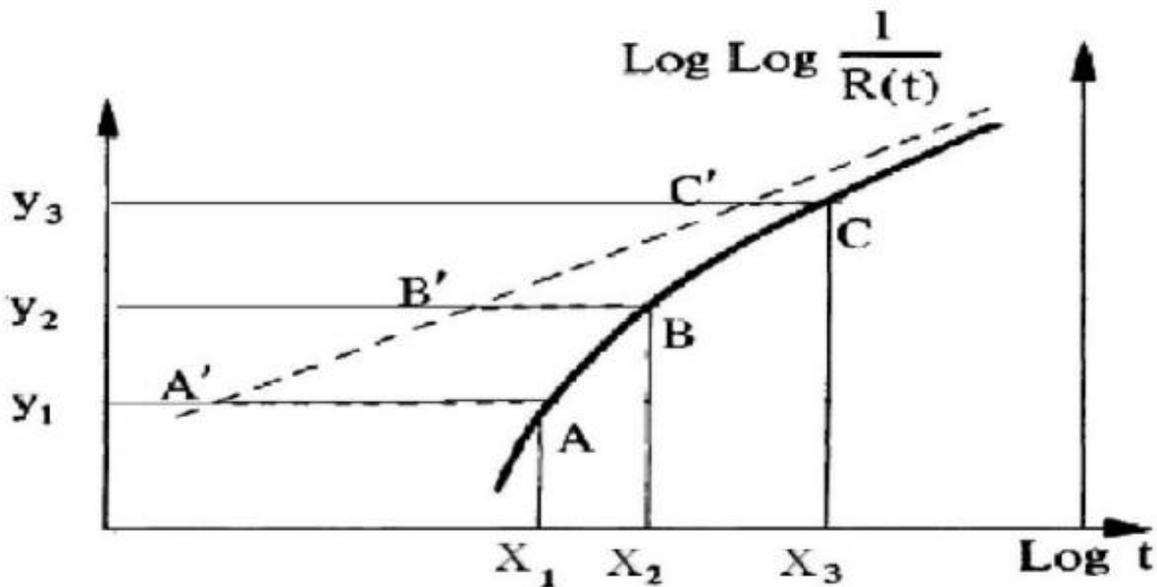


Figure II.13. Redressement de la courbe par translation.

Ce redressement peut se faire par tâtonnement ou avec la relation :

$$y = \frac{X_3 \times X_1 - X_2^2}{X_3 + X_1 - 2X_2}$$

Considérons les points :

A (X_1, Y_1) ; B (X_2, Y_2) ; C (X_3, Y_3)

Et $\begin{cases} Y_3 > Y_2 > Y_1 \\ 2Y_2 = Y_1 + Y_3 \end{cases}$

En arrangeant on obtient

$$Y = X_2 - \frac{(X_3 - X_2) \times (X_2 - X_1)}{(X_3 - X_2) - (X_2 - X_1)}$$

b. Recherche de η :

La droite de régression linéaire coupe l'axe A à l'abscisse $t = \eta$.

c. Recherche de β :

- Béta est la pente de la droite de corrélation.
- On trace une droite parallèle à la droite de corrélation, et passant par $\eta = 1$ On lit ensuite béta sur l'axe B.

II.3.2. Méthodes d'analyse prévisionnelle « ABC (Pareto) » :

II.3.2.1. Histogramme de PARETO :

Le diagramme de PARETO peut être utilisé pour établir la répartition des causes de défaillances causées par tout l'ensemble du mécanisme de levage et leurs fréquences d'interventions, et de définir les priorités des actions. L'histogramme se construit de la manière suivante :[13]

- En abscisse, on reporte les causes de défaillances
- En ordonnée, on reporte les fréquences d'apparitions des défauts. On peut alors attaquer les défauts par ordre d'importance.

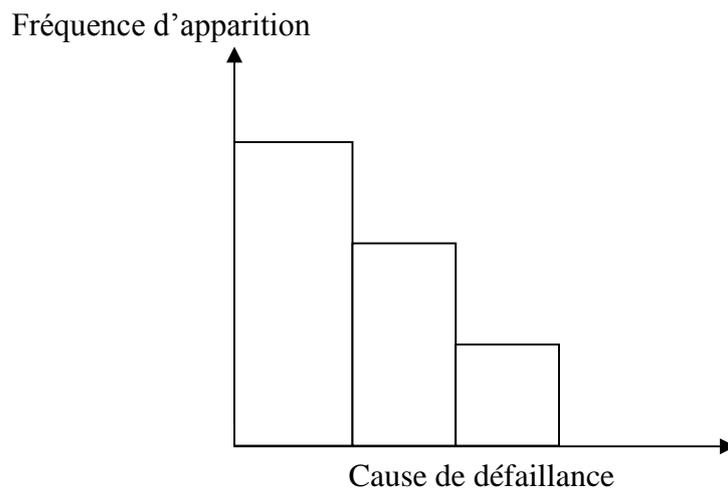


Figure II.14. Histogramme de PARETO [13]

Remarque : nous pouvons aussi établir un diagramme de PARETO pour chaque cause principale.

Intérêt de la méthode :

Comme nous voyons, cette analyse permet de ne pas se laisser prendre par des travaux de très faible importance par rapport au volume des autres travaux : l'objectif étant de rentabiliser les actions.[13]

II.3.2.2. L'analyse ABC :

Cette loi est issue des travaux de WILFREDO PARETO, économiste italien (1848 – 1923), elle fait sortir une concordance entre le faible pourcentage du nombre d'événements observés et le fort pourcentage de la variable induite étudiée et qui permet de faire apparaître les éléments représentatifs :[13]

- a. D'une fabrication.
- b. Du produit en stock.
- c. Des clients, des fournisseurs.
- d. Des pannes, des prélèvements.

Alors, c'est un moyen d'analyse qui permet de mettre en évidence, les individus d'une population les plus marqués par le critère qui aura un impact significatif sur l'ensemble du fonctionnement.

Cette façon de procéder permettra de maîtriser petit à petit les différents domaines d'intervention et aidera à mieux planifier les travaux de maintenance corrective ou préventive.

II.3.2.3. Courbe théorique :

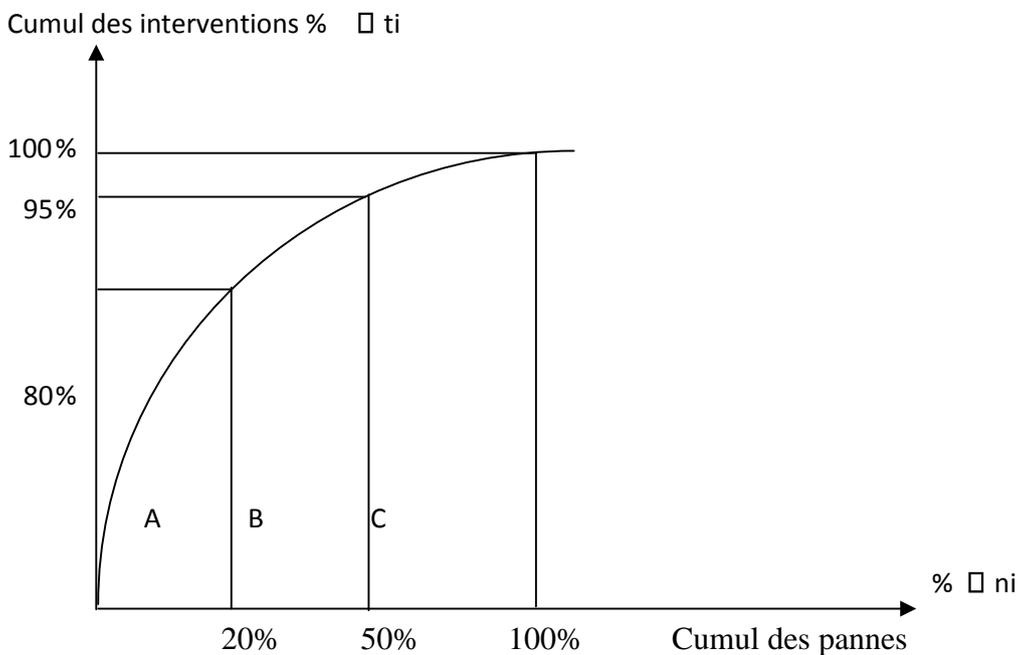


Figure III.15. Courbe ABC [13]

- Zone A : (zone de priorité) dans cette zone 20% des pannes représentent 80% des temps d'arrêts.
- Zone B : dans cette zone 30% des pannes représentent 15% des temps d'arrêts, c'est la zone la moins importante.
- Zone C : dans cette zone 50% des pannes représentent 5% des heures d'arrêts, c'est la zone la moins importante.

Comment constituons-nous le diagramme ABC :[13]

- 1 - On classe les pannes par ordre croissant et devant chaque panne sa durée
- 2 - On calcule les cumuls des temps et des pannes
- 3 - On calcule les pourcentages cumulés des temps et des pannes
- 4- Ont établi un graphique en abscisse les pourcentages cumulés des pannes et en ordonnées les pourcentages cumulés des temps.

II.4. Analyse qualitative des risques:

II.4.1. Analyse fonctionnelle :

D'après la norme AFNOR NF X 50-151, « *l'analyse fonctionnelle est une démarche qui a pour objet rechercher, ordonner et 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* ». L'analyse fonctionnelle s'effectue en quatre étapes : [14]

- Recenser les fonctions ;
- Ordonner les fonctions ;
- Caractériser et quantifier les fonctions ;
- Hiérarchiser les fonctions ;

II.4.1.1. Recenser les fonctions :

Selon la norme AFNOR X50-151, une fonction est « *une Action d'un produit ou de l'un de ses constituants exprimés exclusivement en termes de finalité* ». La recherche des fonctions s'effectue en étudiant les relations 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.

On distingue deux catégories de fonctions : Fonction Service et Fonction Technique.

II.4.1.1.1. Fonction service :

La fonction de service est l'action attendue d'un produit (ou réalisée par lui) pour répondre à un élément du besoin d'un utilisateur donné. Il existe deux types de fonctions de service : Fonction Principale et Fonction Contrainte.

- **Fonction principales (FP) :**

La FP est une fonction de service qui met en relation deux éléments du milieu extérieur (ou plus), via le produit. La fonction principale traduit obligatoirement des tâches réalisées par le produit, donc il s'agit d'une fonction attendue pour répondre à un besoin d'un utilisateur donné.

- **Fonction contraintes (FC) :**

Les fonctions contraintes traduisent la plupart du temps une adaptation du produit à son milieu extérieur. Une fonction est une limitation de la liberté concepteur (règlement, normes et impératifs d'interface matérielle ou immatérielle) lorsqu'elle exprime le fait que, dans une phase d'utilisation, le produit ne doit pas affecter un élément du milieu extérieur ou être affecté par lui.

II.4.1.1.2. Fonction technique :

L'Analyse Fonctionnelle Technique (A.F.T.) Permet de faire la transition entre l'Analyse Fonctionnelle du Besoin (qui reste étrangère aux préoccupations d'ordre technologiques) et la conception détaillée, qui entre de plain-pied dans les considérations technologiques. L'Analyse Fonctionnelle Technique est aussi appelée Analyse Fonctionnelle interne.

II.4.1.2. Ordonner la fonction :

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

II.4.1.3. Caractériser quantitativement les fonctions :

Une fois les fonctions sont identifiées, il faut définir les critères qui nous permettrons 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 ;

- **Les critères d'appréciation :**

Apprécier la manière dont une fonction est remplie ou une contrainte est respectée. Le critère d'appréciation doit être accompagné d'une échelle qui permet de situer son niveau.

- **Les niveaux de chaque critère :**

Cette grandeur peut être celle recherchée en tant qu'objectif. Le niveau quantifie le critère et représente la performance attendue du service à rendre.

- **La flexibilité de chaque niveau :**

Elle exprime les possibilités d'admettre un écart entre le niveau atteint par une solution proposée et le niveau recherché en tant qu'objectif.

II.4.1.4. Hiérarchiser 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 chaque fonction, soit en comparant chaque fonction à toutes les autres en jugeant si elle est « plus importante ou « moins importante ». La figure (II.16) montre le schéma d'une hiérarchisation des fonctions.

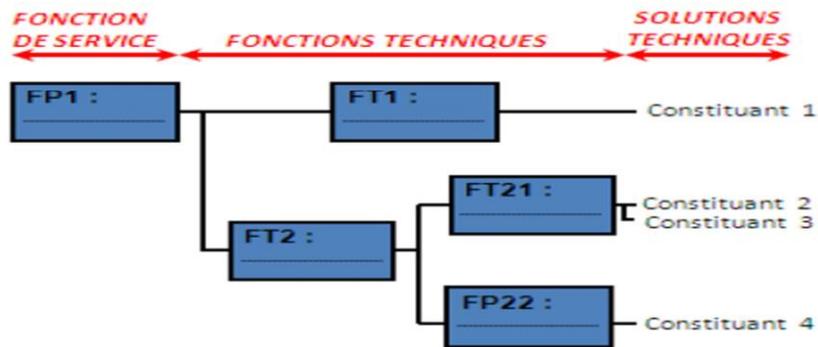


Figure II.16. Hiérarchisation des fonctions [14]

II.4.2. Analyse qualitative du risque : Arbre de défaillances :

II.4.2.1. Présentation :

Le modèle des arbres de défaillance est déductif. C'est un outil graphique qui permet, sous forme arborescente, de présenter l'enchaînement conduisant à un aléa : **l'événement indésirable**. De plus, la connaissance des taux de défaillance de l'événement à l'origine de l'arbre permet, pas à pas, d'évaluer la probabilité d'apparition d'une anomalie pour tous les événements intermédiaires et ce jusqu'à l'événement indésirable. [14]

II.4.2.2. Concepts :

L'arbre, par définition, est composé de branches qui chacune mène de l'événement de base à l'événement indésirable. Cette organisation graphique montre parfaitement les liens et l'enchaînement entre les événements et permet des analyses réduites et mieux ciblées.[14]

II.4.2.3. Composants graphiques :

Généralement présenté verticalement, un arbre de défaillance est construit à partir d'événements représentés par des rectangles, ceux-ci sont reliés entre eux par différents opérateurs par des carrés renfermant un symbole spécifique de leur fonction. D'autres composants graphiques permettent d'indiquer certaines informations sur les événements eux-mêmes et sur les limites de l'arbre.[14]

II.4.2.3.1. Les événements de bases :

Un événement de base est situé à l'origine d'une branche et il n'est pas développé. Deux événements de bases au minimum, produisent, avec un opérateur logique, un événement intermédiaire.

II.4.2.3.2. Les événements intermédiaires :

Un événement intermédiaire est résultat d'au moins deux autres événements de base ou intermédiaire(s) reliés par un opérateur logique. Cette construction minimale forme un arbre partiel qui, à ce titre, peut bénéficier d'une analyse locale.

II.4.2.3.3. Les événements indésirables :

Un événement indésirable se produit lorsqu'un système (ou une organisation) ne remplit pas une de ses fonctions externes, internes ou globale. Un arbre de défaillance a pour but d'ordonner, d'analyser et d'évaluer toutes les causes possibles conduisant à un ou plusieurs événements indésirables.

II.4.2.4. Résumé de la symbolique des événements

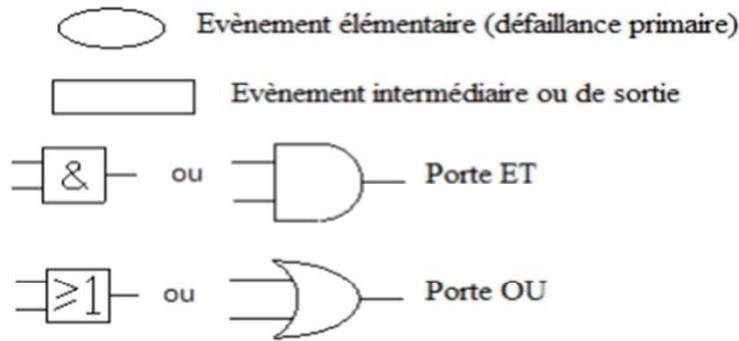
Il existe d'autres types d'événements définis par la norme, leurs symboles ainsi que leurs significations sont répertoriés dans le tableau (II.2)

symbole	Nom	Signification
	Rectangle	Évènement redouté ou évènement intermédiaire
	Cercle	Évènement intermédiaire
	Losange	Évènement élémentaire non développé
	Double Losange	Évènement élémentaire dont développement est à faire ultérieurement
	Maison	Évènement de base survenant normalement pendant le fonctionnement de base

Tableau II.2. Symboles des événements [7]

II.4.2.5. Les opérateurs logiques :

Les opérateurs logiques sont à considérer comme des portes permettant les liaisons conditionnelles des événements. Afin de distinguer les différentes situations, il existe un ensemble d'opérateurs couvrant toutes les liaisons technologiques possibles. La figure et ci-dessous illustre les différents opérateurs logiques utilisés dans les arbres de défaillance. [14]



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

Figure II.16. Portes logiques utilisées dans les arbres de défaillance [7]

II.4.3. Analyse des Modes de Défaillances de leurs Effets et de leur Criticité (AMDEC) :

II.4.3.1. Historique :

L'analyse des modes de défaillance de leurs effets de leur criticité (AMDEC) est une méthode d'analyse prévisionnelle de la fiabilité qui permet de recenser systématiquement les défaillances potentielles d'un dispositif puis d'estimer les risques liés à l'apparition de ces défaillances afin d'engager les actions correctives à apporter au dispositif.

L'AMDEC a été adaptée à l'ensemble des activités à risques (nucléaire civil, domaine aéronautique, spatial, grands travaux). Elle a fait son apparition en France dans le domaine aéronautique (Concorde puis Airbus) au cours des années 1960. Introduite dans l'industrie manufacturière de série depuis les années 1980, puis a été intégrée dans les projets industriels. De nos jours, son emploi est très répandu dans le monde industriel soit pour améliorer l'existant,

soit pour traiter préventivement les causes potentielles de non-performance de nouveaux produits, procédés ou moyens de production.

II.4.3.2. 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 60510 de décembre 1986).

Les mots relatifs à l'AMDEC sont : [10]

- 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

II.4.3.3. Domaine d'application de L'AMDEC : [10]

1950 : la méthode FMECA (Failure, Mode effects and criticality analyse) est introduite aux Etats-Unis dans le domaine des armes nucléaires ;

1950 : Cette méthode est mise en application en France sous le nom d'AMDEC pour les programmes spatiaux et aéronautique ;

1970 : Son application est étendue aux domaines du nucléaire civile, des transports terrestres et des grands travaux ;

1980 : L'AMDEC est appliquée aux industries de produits et de bien d'équipement de production.

II.4.3.4. Le but de L'AMDEC :

L'AMDEC : est une technique qui conduit à l'examen critique de la conception dans un but d'évaluer et de garantir la sûreté de fonctionnement (sécurité, fiabilité, maintenabilité et disponibilité) d'un moyen de production. L'AMDEC doit analyser la conception du moyen de production pour préparer son exploitation afin qu'il soit fiable et maintenable dans son environnement opérationnel pour parvenir à ce but, le propriétaire de l'installation exige : [10]

- Quelle soit intrinsèquement fiable ;

- De disposer des pièces de rechange et des outillages adaptés ;

-De disposer des procédures ou aides minimisant les temps d'immobilisation du moyen par la diminution du temps d'intervention (diagnostique, réparation ou échange, et remise en service).

-Que les personnels (d'exploitation et de maintenance soient formés, qu'une maintenance préventive adaptée soit réalisée, afin de réduire la probabilité d'apparition de la panne.

L'AMDEC par l'évaluation de la criticité des conséquences des défaillances, permet de les classer par importance et de préparer un plan d'action visant à optimiser le moyen de production et ainsi réduire la criticité, action sur la probabilité d'apparition de la défaillance (ou sur la gravité de la conséquence).

II.4.3.5. Démarche de l'AMDEC :

L'AMDEC se démarque suivant les étapes suivantes :[10]

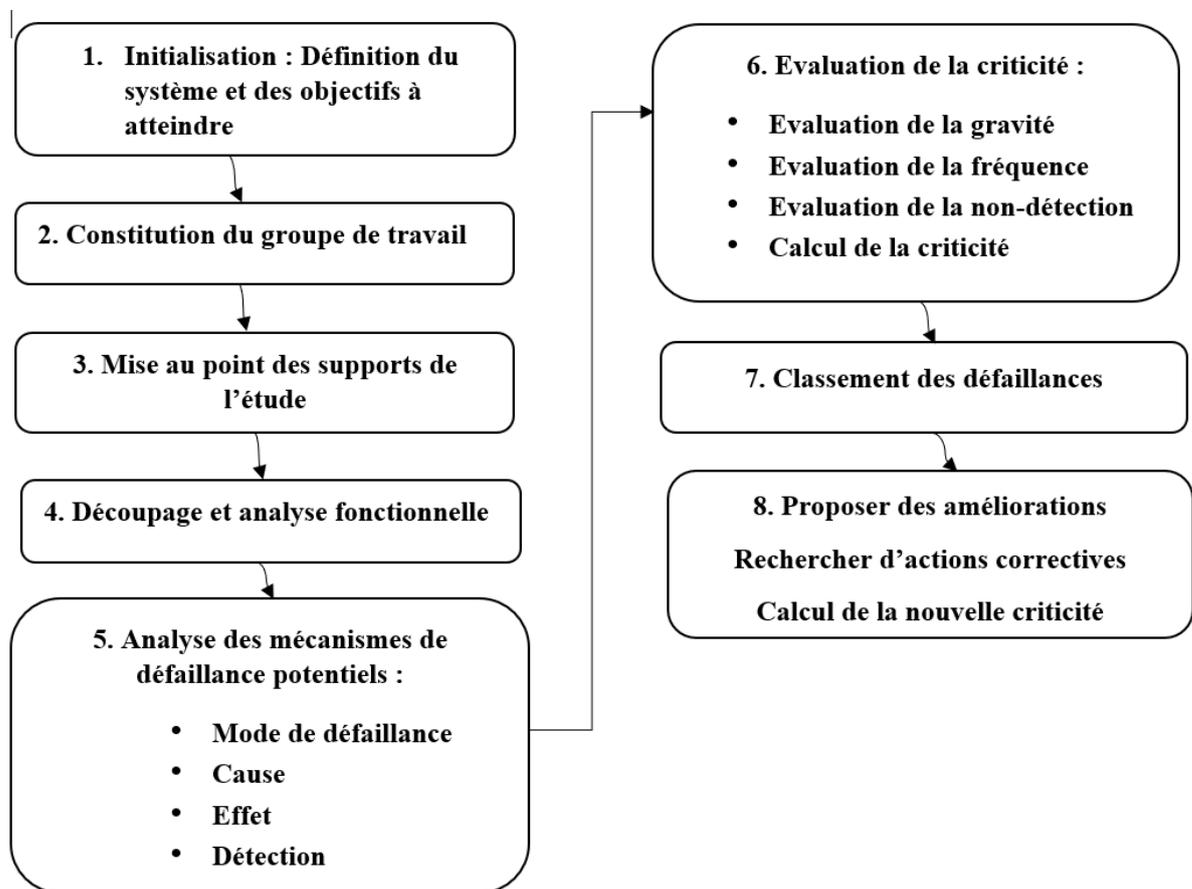


Figure II.18. Démarche de l'AMDEC

Chapitre III

Etude quantitative des pompes centrifuges 100-PM113

Introduction :

L'étude FMD (fiabilité, maintenabilité et disponibilité) est l'un des outils les plus indispensables pour qu'une entreprise puisse réduire au mieux les pannes probables de ses équipements. A cet effet, une étude de FMD de trois pompes centrifuges, 100-PM113A/B/C, basée sur leurs historiques de pannes enregistrés depuis leur mise en service le premier janvier deux milles douze, a été faite dans le but de mettre en valeur l'ensemble des indicateurs de fiabilité, à savoir, le taux de défaillance.

Cette étude a été faite essentiellement par le biais de l'un des outils d'amélioration de la maintenance le plus utilisé en maintenance industrielle qui est le modèle de Weibull.

A travers ses trois paramètres, le modèle de **WEIBULL**, est reconnu pour sa modélisation des trois phases de vie d'un équipement (jeunesse – maturité – vieillesse). Ainsi, connaissant la phase de vie de l'équipement, il serait plus aisé de déduire le type de maintenance le plus approprié pour que l'unité de production du complexe (RA2K) puisse augmenter la disponibilité de ses machines et par conséquent réduire les temps d'arrêt.

Une étude ABC de Pareto, a été faite sur les trois pompes centrifuges afin de déceler les éléments et les actions prioritaires dans les interventions.

III.1. Description des pompes centrifuges 100-PM113 :

Les pompes centrifuges process 100-PM113A/B/C de type 10 HDX 31A sont à un seul étage, roue à deux ouïes d'aspiration, double volute segmenté boîtier, à tubulures verticales et parallèles et à plan de joint radial.

Ces pompes offrent à la fois une performance exceptionnelle et le niveau de fiabilité le plus élevé, selon les besoins dans les services les plus ardues de l'industrie de transformation où les liquides corrosifs et volatils sont pompés à des températures et des pressions élevées. Les différentes tailles disponibles, combiné avec le choix des roues à aubes, assurent l'efficacité optimale dans toute la gamme.

- **Nomenclature :**

La taille de la pompe sera gravée sur la plaque signalétique typiquement en tant que ci-dessous :

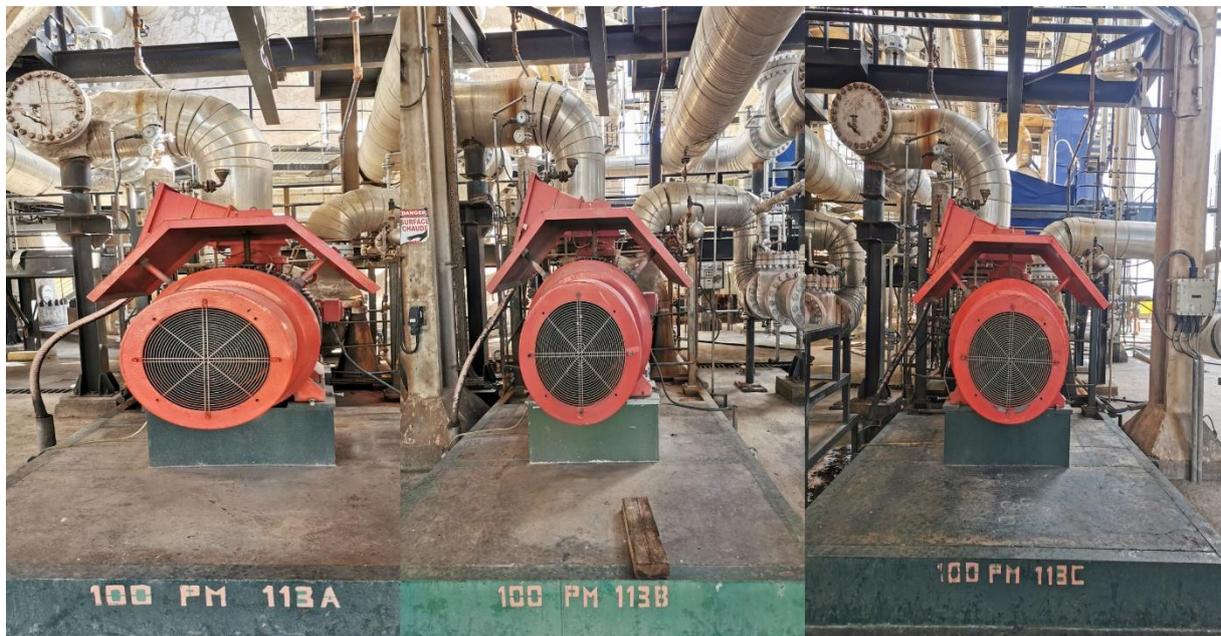
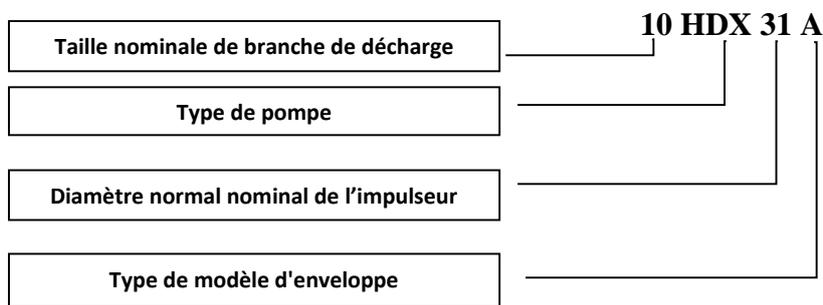


Figure III.1. Photos des trois pompes centrifuges 100-PM-113A/B/C montées en parallèles

III.2. Implantation et rôle des pompes

Les pompes centrifuges process repérées 100-PM-113A/B/C sont implantées dans l'unité "100" du complexe à côté de la colonne de distillation atmosphérique (100T103), elles sont montées en parallèle telle que deux pompes sont en marche et la troisième est en stand-by.

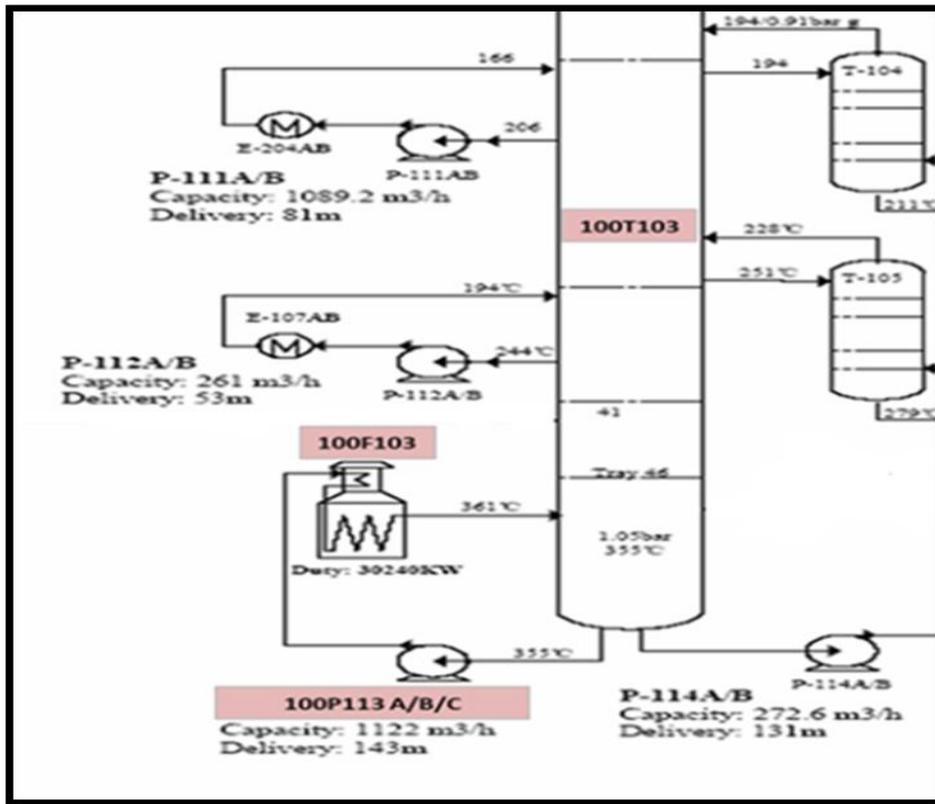


Figure III.2. Implantation et rôle des pompes centrifuges 100-PM-113A/B/C

Elles ont pour rôle de véhiculés une partie du produit de fond (HGO) de la colonne de distillation atmosphérique (100T103) vers le four rebouilleur atmosphérique (100F103) afin d’être rebouillis et retourné à la colonne de distillation atmosphérique.

III.3. Caractéristiques techniques des pompes :

Désignation complète	Pompes d’alimentation du four rebouilleur atmosphérique		
Constructeur	FLOWSERVE	Type	10 HDX 31A
Référence équipement	100-PM-113A/B/C		
Liquide pompé	Gas-oil lourd (HGO)		
Température liquide pompé	356° C		
Débit	Normal	935 m3/h	
	Nominal	1122 m3/h	
	Minimal	595,5 m3/h	
Pression d’aspiration	Maximale	4,5 bars	
	Nominal	1,5 bar	

Pression de refoulement	9,8 bars	
Hauteur manométrique totale	143 m	
NPSH requise (eau)	5,77 m	
Vitesse de rotation	1487 tr/mn	
Puissance	Nominale	384 Kw
Rendement	75,70%	
Connexions	Aspiration	16"300#RF
	Refoulement	10"300#RF
Etanchéités	Garniture mécanique double Type : BXHW / BXHW Size : 5.000 / 5.000 MATL CODE : 9PCZ / 9PCZ	
Accouplement	Accouplement flexible à lamelles Type : TSKS-0740-0037-2500 DBSE (mm) : 250	
Disposition de roue	Entre paliers	
Type de palier	Palier radial : un roulement à bille réf. SKF 6220	
	Palier de butée : deux roulements à bille à contact oblique réf. SKF 7220 BG	

III.4. Exploitation de l'historique :

L'historique des pannes et d'interventions **enregistré** s'étale sur une période d'environ neuf ans depuis la mise en service des pompes janvier 2012 jusqu'au mois de mars 2020.

Le traitement des données brutes de l'historique (Tableaux III-1, 2 et 3), passe par :

- Le calcul des heures d'arrêt suite à des pannes (**TA**) qui résultent des différences entre les dates d'arrêt et de démarrage.
- Le calcul des heures de bon fonctionnement (**TBF**), qui résultent des différences entre deux pannes successives.
- Le calcul des heures techniques de réparation.

- 100-PM113A :

N°	TTR (h)	TBF (h)	Cause	Action
1	7	4776	Fuite sur garniture mécanique interne.	Les travaux à faire pour étancher la fuite sur la garniture mécanique coté commande.
2	105	3264	Arbre bloqué.	Nettoyer au KARCHER (nettoyeur PH) l'intérieur du corps, l'intérieur du couvercle et de l'ensemble socle pompe et moteur.
3	14	7536	Entretien préventif type V2 de la motopompe.	Entretien préventif du type V2 de la motopompe 100PM113A : Nettoyage filtre (18" série 300) (Selon gamme ci jointe).
4	35	4176	Haut niveau fréquent LAH1911A.	Travaux à effectuer pour étancher la fuite sur la garniture mécanique coté commande.
5	14	6552	DT préventive générée automatiquement !	Entretien préventif du type V2 du moteur électrique 5500V.
6	35	6960	Fuite interne garniture mécanique palier coté accouplement.	Echange standard de la garniture mécanique coté commande.
7	14	10056	Fuite d'huile sur palier externe.	Echange standard de la garniture mécanique côté libre et remise en état de la garniture mécanique endommagée
8	7	12264	T° très élevée de l'échangeur palier externe	Travaux à effectuer pour nettoyer l'échangeur de chaleur coté palier externe.
9	14	6696	Fuite d'huile sur palier arrière.	Remise en état du palier arrière de la pompe
10	14	4992	Fuite d'huile du carter.	- Vidanger l'huile du palier arrière (palier de butée). - Déposer et démonter le palier arrière. - Nettoyer au dissolvant toutes les pièces.

Tableau III.1. Dossier historique de 100-PM113A

• **100-PM113B :**

N°	TTR (h)	TBF (h)	Cause	Action
1	35	5608	Fuite importante sur les garnitures externes (NDE) de la pompe.	Travaux à effectuer pour étancher la fuite sur la garniture mécanique coté commande.
2	14	7872	Circuit d'eau de refroidissement bouché.	-Démontage de la tuyauterie de refroidissement des deux échangeurs de chaleur du liquide d'arrosage des deux garnitures et des paliers de la pompe.
3	28	11592	Entretien préventif type V2 de la motopompe et ses accessoires.	Entretien préventif type V2 de la pompe suivant gamme d'intervention.
4	7	10992	Débouchage circuit CW de l'échangeur.	Travaux à effectuer pour nettoyer le circuit d'eau de refroidissement.
5	70	9624	Entretien préventif type V3 de la pompe moteur.	Entretien préventif type V3 de la 100PM113B Selon différentes gammes.
6	35	5880	Fuite importante sur garniture mécanique interne.	Echange standard de la garniture mécanique coté commande.
7	7	4152	Fuite HC sur palier externe.	Nettoyage du circuit de refroidissement et de l'échangeur de chaleur de la garniture mécanique.
8	7	5472	Bruit anormal coté palier externe.	Remise en état du palier externe de la pompe.
9	14	8688	Fuite d'huile au niveau du palier arrière (appoint répétitif).	-Vidanger l'huile du palier arrière (palier de butée). -Démonter et déposer le palier arrière. -Nettoyer au dissolvant toutes les pièces.

Tableau III.2. Dossier historique de 100-PM113B

- **100-PM113C :**

N°	TTR (h)	TBF (h)	Cause	Action
1	10	5712	Entretien préventif type V2 de la motopompe.	Entretien préventif type V2 de la pompe 100-PM-113C.
2	14	9552	Circuit de refroidissement bouché.	Travaux à effectuer pour nettoyer le circuit d'eau de refroidissement.
3	14	6936	Entretien préventif type V2 de la motopompe et ses accessoires.	Entretien préventive type V2 de la pompe suivant gamme d'intervention.
4	21	8208	Bruit anormal palier externe.	Remise en état du palier arrière de la pompe.
5	14	10176	Fuite d'huile au niveau du carter palier externe (appoint fréquent d'huile).	Remise en état du palier arrière de la pompe.
6	7	12528	Bruit anormal coté externe (palier).	-Vidanger l'huile du palier arrière (palier de butée). -Déposer et démonter le palier arrière. -Nettoyer toutes les pièces.
7	7	7584	Bouchage au niveau du circuit de refroidissement.	Travaux à effectuer pour nettoyer l'échangeur de chaleur coté palier externe.
8	14	10800	Bruit anormal coté accouplement (palier interne).	Contrôle et vérification switch bas niveau du pot de garde.

Tableau III.3. Dossier historique de 100-PM113C

III.5. L'Analyse Prévisionnelle Des Dysfonctionnements « ABC (Pareto) » :

Le principe de l'analyse ABC consiste à reclasser dans un tableau les différents types de pannes enregistrés (historique des pannes) en trois groupes distincts :

- Le groupe A : les éléments les plus importants (souvent environ 20 % du nombre total d'éléments),
- Le groupe B : les éléments de la classe « intermédiaire » (souvent entre 20 et 40 % du nombre total d'éléments),

- Le groupe C : reste des éléments étudiés.

Remarque : il est possible d'augmenter le nombre de groupes (après les groupes A, B et C, on peut continuer avec D, E, F ...). L'analyse sera alors plus pointue car tous les cas particuliers de ces groupes seront étudiés.

III.5.1. Application de la méthode ABC (Pareto) :

- **Pompe : 100-PM113A :**

Rang	Organe	Temps D'arrêt	Cumul (T-R)	% (T-R)	Nombre de Panne	Cumul N ^{br} de P	% Nbr
1	Arbre bloqué	105	105	45.45	1	1	12.5
2	Fuite sur garniture mécanique interne	77	182	78.78	3	4	50
3	Fuite d'hc sur palier externe.	14	196	84.84	1	5	62.5
4	Fuite d'huile sur palier arrière	14	210	90.90	1	6	75
5	Fuite d'huile du carter	14	224	96.96	1	7	87.5
6	T° très élevée de l'échangeur palier externe	7	231	100	1	8	100

Tab III.4. La Méthode Pareto 100-PM113A

Histogramme de Pareto :

Les informations données par le tableau permettent de reporter dans un repère orthonormé :

- En abscisses, les pannes étudiées en % cumulés,
- En ordonnées, les valeurs du critère (TTR) en % cumulés.

En reliant les points ainsi obtenus, une courbe ascendante doit apparaître sur laquelle il ne reste plus qu'à indiquer les limites des différents groupes.

L'application de ce principe à donner naissance à la figure (III.3) représentant ainsi la courbe ABC l'historique de la pompe centrifuge 100-PM113A.

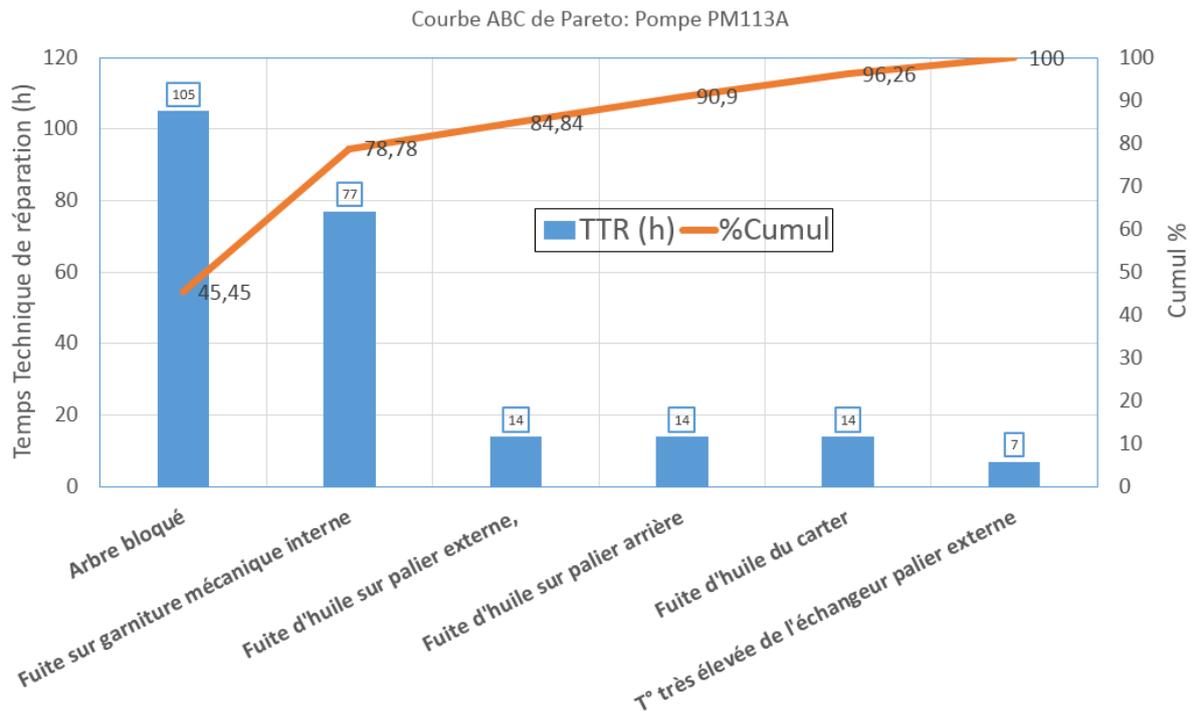


Figure III.3. Histogramme de Pareto du 100-PM113A

Indice de GINI (γ):

L'indice de Gini (Corrado GINI statisticien Italien) ou indice de concentration permet de déterminer, avec l'aide du graphique, si le critère retenu est pertinent (dans notre cas les cumuls des TTR) et donc de savoir s'il faut poursuivre l'étude, ou s'il faut choisir un autre critère d'analyse.

L'indice est symbolisé par le signe γ (gamma). Il doit être supérieur à 0.6 pour montrer que l'étude est intéressante. Il ne peut pas être supérieur à 1.

Il se calcule avec la formule suivante :

$$\gamma = \frac{(\text{Somme des valeurs du critère cumulé en } \% \times \% \text{ d'une seule référence}) - 5000}{5000}$$

Remarques :

- a) Plus l'ascendance de la courbe sera forte et plus l'indice de Gini sera élevé. A l'inverse, plus l'ascendance sera faible et plus l'indice sera faible.
- b) Dans certaines études très particulières, les professionnels poursuivent l'analyse même dans le cas où l'indice de Gini est inférieur à 0.6.
- c) Dans le cas où l'on doit effectuer un choix entre plusieurs critères, il faut retenir celui dont l'indice de Gini est le plus élevé.

Calcul de l'indice de GINI (γ) pour la pompe 100-PM113A :

$$\gamma_{PM113A} = \frac{(496.23 * 16.67) - 5000}{5000}$$

$$\gamma_{PM113A} = 0.6541$$

La valeur de γ ainsi trouvée est supérieure à 0.6 ce qui rend notre critère sélectif et nous pouvons alors poursuivre l'étude.

Remarques :

1- Deux pannes sur les six enregistrées représentent à elles seules 78.78% des TTR, il est donc important de leurs donner plus d'importance.

2- Le reste des pannes ne génèrent que 21.22% des temps d'arrêt.

Interprétation :

La figure III-3 représente la variation des temps techniques de réparation en association avec le pourcentage des cumuls enregistrés pendant la phase d'exploitation de la pompe 100-PM113A. Ainsi, il très claire de remarquer que le blocage de l'arbre, comme panne mécanique, et les fuites enregistrées dans les paliers, représentent les deux grandes pannes qui sont en réalité un seul problème puisque les fuites d'huile se sont-elles qui provoque l'arrêt de l'arbre suite à l'usure par frottement.

- **100-PM113B :**

Rang	Organe	Temps D'arrêt	Cumul (T-R)	% (T-R)	Nombre de Panne	Cumul N ^{br} de P	% Nbr Panne
1	Fuite importante sur les garnitures externes (NDE) de la pompe.	35	35	29.41	1	1	14.28
2	Fuite importante sur garniture mécanique interne.	35	70	58.82	1	2	28.57
3	Fuite d'huile au niveau du palier arrière (appoint répétitif).	14	84	70.58	1	3	42.85

4	Circuit d'eau de refroidissement bouché.	14	98	82.35	1	4	57.14
5	Fuite d'huile sur palier externe.	7	105	88.23	1	5	71.42
6	Bruit anormal coté palier externe.	7	112	94.11	1	6	85.71
7	Débouchage circuit CW de l'échangeur.	7	119	100	1	7	100

Tableau III.5. La Méthode Pareto 100-PM113B

Calcul de l'indice de GINI (γ) pour la pompe 100-PM113B :

$$\gamma_{PM113B} = \frac{(523.5 * 14.3) - 5000}{5000}$$

$$\gamma_{PM113B} = 0.497$$

La valeur de γ ainsi trouvée est inférieure à 0.6 ce qui rend notre critère moins sélectif.

Histogramme de Pareto :

Le tableau III-5 nous a permis de tracer la courbe ABC de Pareto ainsi que l'histogramme associé et cela sur la figure III-4.

La valeur de l'indice de Gini ne nous permet pas de faire la répartition des zones mais ça nous n'empêche pas de tirer certaines remarques importantes sur le cycle de vie de la pompe 100-PM113B.

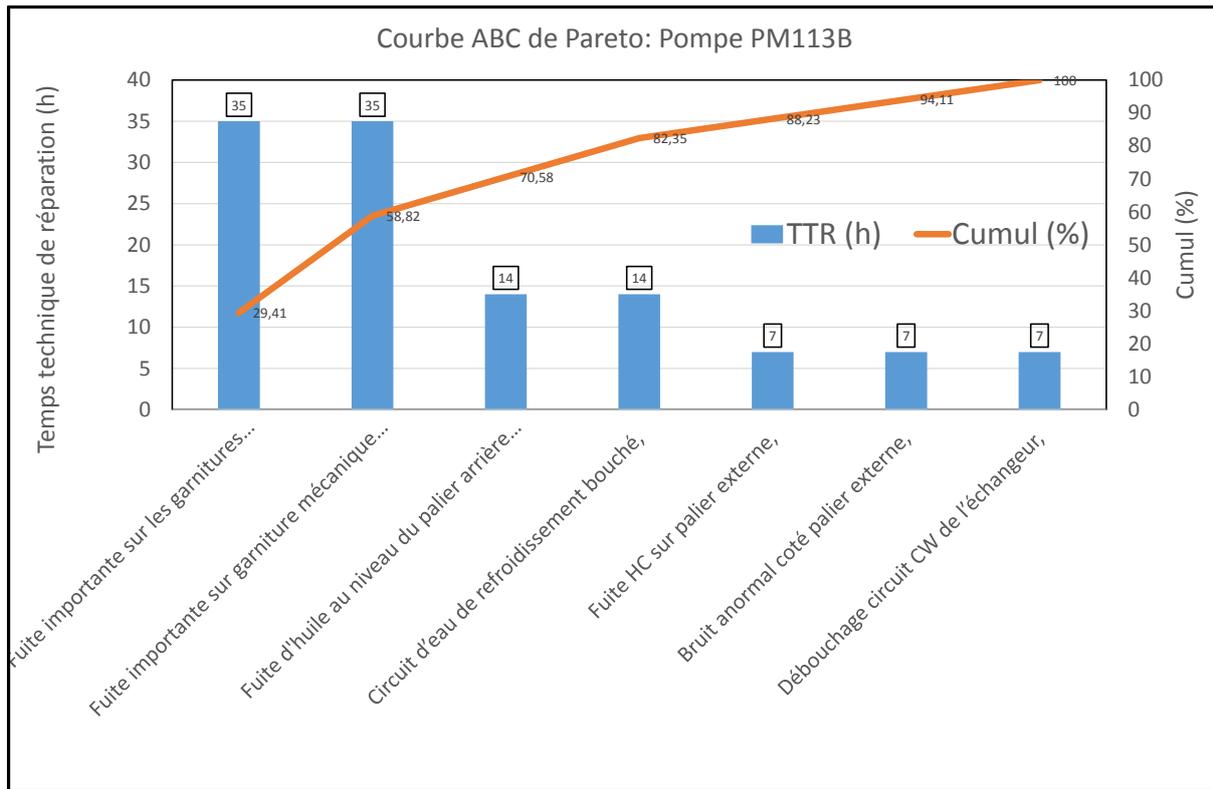


Figure III.4. Histogramme de Pareto du 100-PM113B

Interprétation :

Suite à cette étude il est aisé de conclure de cette représentation graphique que les problèmes majeurs de cette pompe sont purement hydrauliques puisque les trois premiers arrêts représentent environ 70% des cumuls des temps d'arrêts enregistrés selon l'historique.

A cet effet, il est fort important de donner un grand intérêt aux différents circuits hydrauliques de la pompe 100-PM113B surtout en maintenance préventive en augmentant le nombre des visites de contrôle et de vérification surtout au niveau des zones des garnitures.

• **100-PM113C :**

Rang	Organe	Temps D'arrêt	Cumul (T-R)	% (T-R)	Nombre de Panne	Cumul N ^{br} de P	% Nbr Panne
1	Bruit anormal palier externe.	28	28	36.36	2	2	33.33
2	Circuit de refroidissement bouché.	21	49	63.63	2	4	66.66

3	Fuite d'huile au niveau du carter palier externe (appoint fréquent d'huile).	14	63	81.81	1	5	83.33
4	Bruit anormal coté accouplement (palier interne).	14	77	100	1	6	100

Tab III.6. La Méthode Pareto 100-PM113C

Calcul de l'indice de GINI (γ) pour la pompe 100-PM113C :

$$\gamma_{PM113C} = \frac{(282 * 25) - 5000}{5000}$$

$$\gamma_{PM113C} = \mathbf{0.409}$$

La valeur de γ ainsi trouvée est inférieure à 0.6 ce qui rend notre critère moins sélectif.

Histogramme de Pareto :

Le tableau III-6 nous a permis de tracer la courbe ABC de Pareto ainsi que l'histogramme associé et cela sur la figure III-5.

La valeur de l'indice de Gini ne nous permet pas de faire la répartition des zones mais ça nous n'empêche pas de tirer certaines remarques importantes sur le cycle de vie de la pompe 100-PM113C.

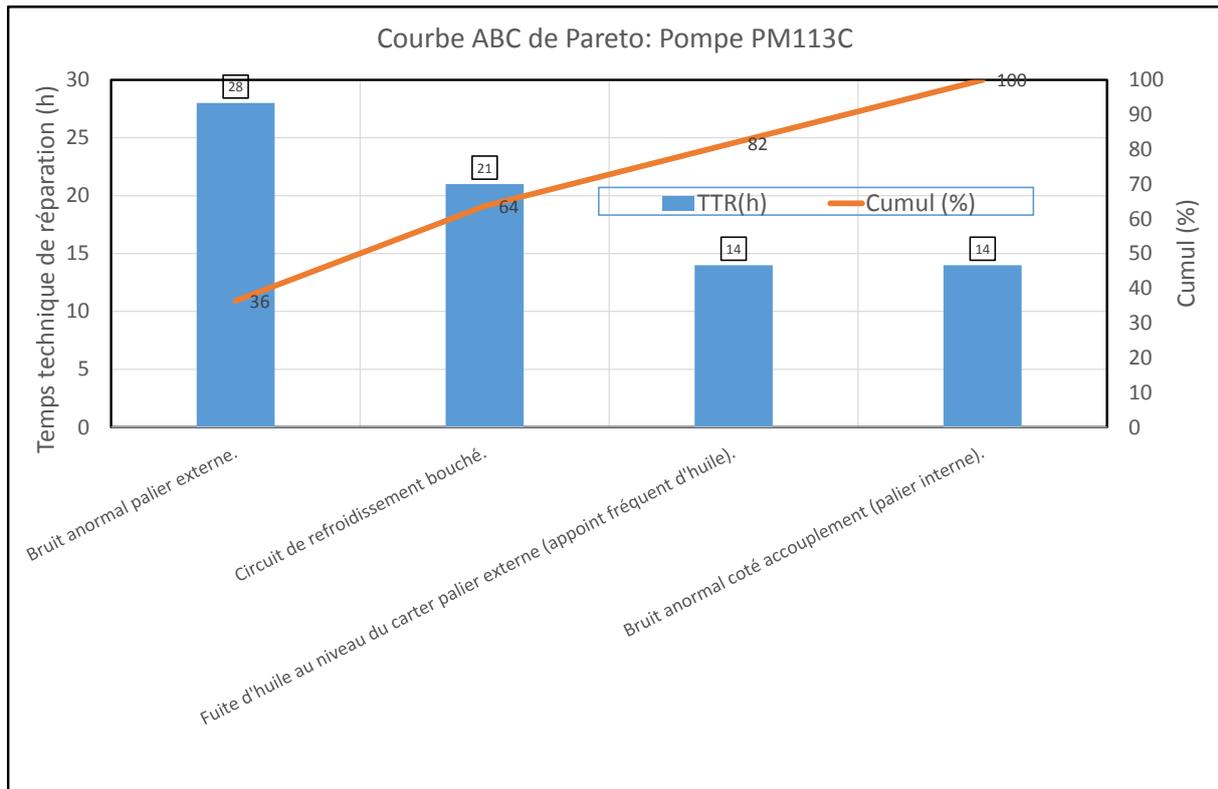


Figure III.5. Histogramme de Pareto du 100-PM113C

Interprétation :

La représentation graphique de la figure III-4 montre clairement qu'il faut traiter l'ensemble des pannes avec le même intérêt, que ce soit en maintenance préventive ou curative.

III.6. Etude de la sûreté de fonctionnement des pompes 100-PM113 :

III.6.1. Introduction :

La panne d'un équipement, l'indisponibilité d'une source d'énergie, l'arrêt d'un système automatique, l'accident est de moins en moins tolérable et acceptés dans le milieu industriel.

L'industriel qui doit être compétitif ne peut admettre de pertes de production, d'autant plus importantes que son procès de fabrication est complexe ; il recherche la meilleure : [16]

- ✓ Fiabilité de ses systèmes ;
- ✓ Disponibilité de ses machines ;
- ✓ Maintenabilité de l'outil de production ;

Afin de mieux exploiter l'historique des pannes fourni par les responsables de la RA2K, nous avons consacré cette partie du mémoire à l'étude de fiabilité des pompes centrifuges 100-PM113A/B et C.

Cette étude a été faite principalement par l'application de la loi de Weibull, reconnu pour sa modélisation des trois phases de vie d'un équipement à savoir la période de jeunesse, maturité et vieillesse.

III.6.2. Présentation du logiciel FIABOPTIM

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 optimale. Son efficacité, enfin, qui découle aussi des qualités précédentes, est due à l'utilisation des modèles mathématiques les plus récents en matière d'estimation.[1]

III.6.3. Application du modèle de WEIBULL :

Etant donné que le modèle de Weibull est le plus complet, nous l'avons appliqué pour les pompes (100-PM113A, 100-PM113B, 100-PM113C).

Calcul des paramètres de WEIBULL :

Les tableaux suivants comportent les TBFs classés par ordre croissant :

Dans notre cas $\left\{ \begin{array}{l} \text{pompe A: } N = 10 \leq 20 \\ \text{pompe B: } N = 09 \leq 20 \\ \text{pompe C : } N = 09 \leq 20 \end{array} \right.$

Une fois les $F(i)$ calculés par la méthode des rangs médians sont trouvés

($F(i) = \frac{\sum n_i - 0.3}{N + 0.4}$), on peut facilement tracer la courbe de Weibull qui en résulte.

III.6.3.1. Application sur la pompe centrifuge 100-PM113A :

I	TBF(h)
1	3264
2	4176
3	4776
4	4992
5	6552
6	6696
7	6960
8	7536
9	10056
10	12264

L'utilisation du logiciel FIABOPTIM nous a permis de déterminer aisément les trois coefficients du modèle de Weibull sans avoir recours au travail manuel.

La détermination des paramètres du modèle de Weibull (figure III-6) à partir de la méthode de l'actuariat est faite aisément par l'introduction des différents TBFs ainsi que le choix des méthodes de résolution du problème dans le logiciel.

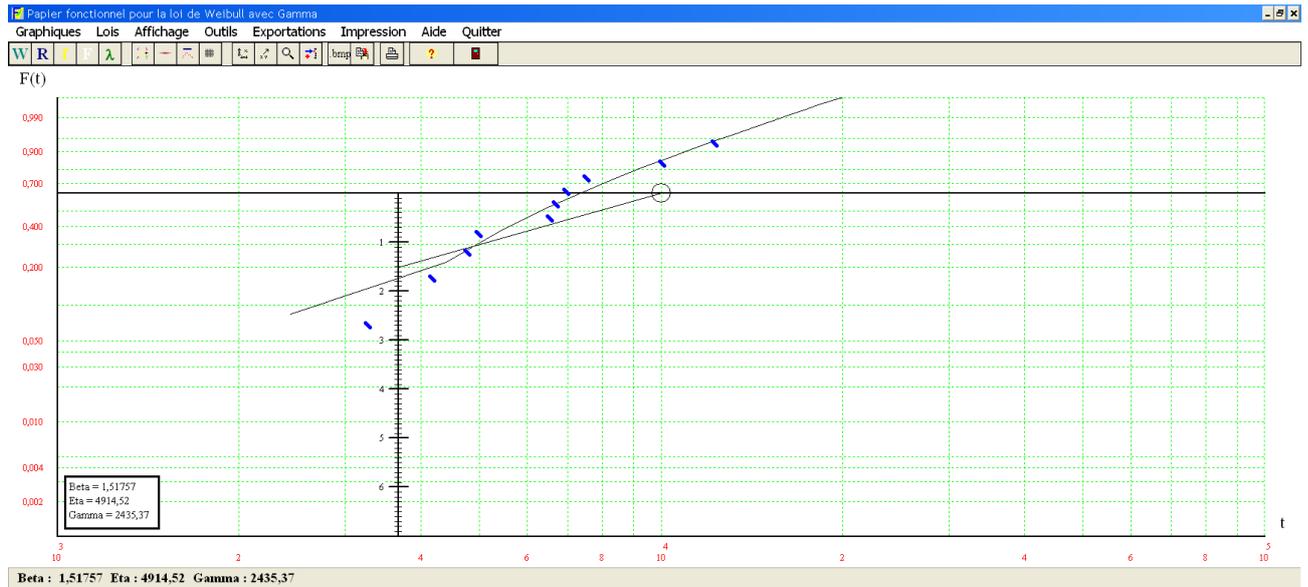


Figure III.6. Papier de Weibull et les différents paramètres du modèle appliqué sur la pompe 100-PM113A

D’après le papier Weibull (figure III.6), on a pu déterminer les trois paramètres de la loi de Weibull qui sont :

- $\beta = 1,517$ (période de vieillesse)
- $\eta = 4914,52$ h
- $\gamma = 2435,37$ h

N°	TBF(h)	F(i)	F(t)	$D_{n,max} = F(i) - F(t) $
1	3264	0.067	0.083	0.016
2	4176	0.16	0.174	0.014
3	4776	0.25	0.254	0.004
4	4992	0.35	0.287	0.063
5	6552	0.45	0.554	0.104
6	6696	0.54	0.580	0.04
7	6960	0.64	0.625	0.015
8	7536	0.74	0.718	0.022
9	10056	0.83	0.958	0.128
10	12264	0.93	0.997	0.067

Après avoir calculé les D_n , on a trouvé que : $D_{n, \max} = 0,128$

Depuis l'annexe A :

$N = 10$, en posant que : $\alpha = 0,2$ et en se référant à la table du test K-S, $D_{n, \alpha} = 0,322$ Il apparait que : $D_{n, \max} < D_{n, \alpha}$, le modèle de Weibull est donc acceptable.

Depuis l'annexe B :

A partir de la table de calcul de MTBF, on trouve les paramètres A et B en fonction de la valeur β :

$$A = 0,9027$$

$$B = 0,613$$

- Calcul de la moyenne des temps de bon fonctionnement (MTBF):

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

$$MTBF = 0,9027 \cdot 4914,52 + 2435,37$$

$$MTBF = 6871,70 \text{ h}$$

Lois de fiabilité :

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

On a : $t = MTBF$

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} = e^{-\left(\frac{t-2435,37}{4914,52}\right)^{1,517}}$$

$$R(t=MTBF) = 0.254 = 25.4 \%$$

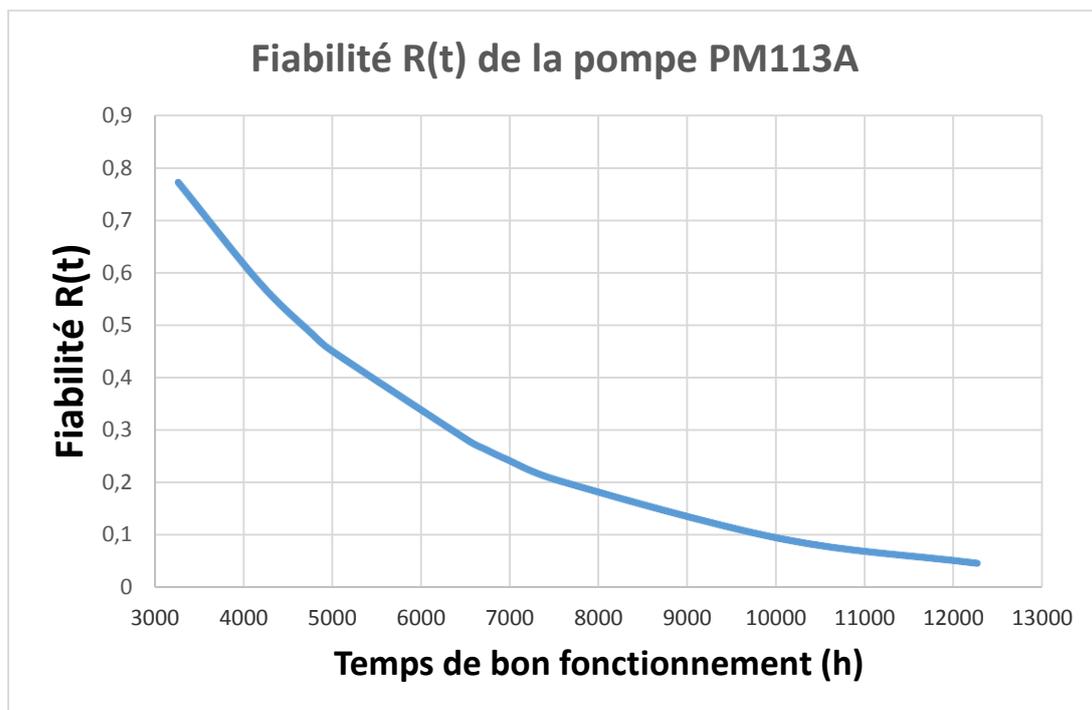


Figure III.7. Fonction de fiabilité $R(t)$

Interprétation :

La figure III-7 représente la variation de la fonction de fiabilité $R(t)$ en fonction du temps de bon fonctionnement de la pompe centrifuge 100-PM113A, qui est décroissante avec le temps ce qui est de même pour la probabilité de bon fonctionnement.

En plus, la valeur de la fiabilité pour $t=MTBF$ est égale à 25.4% ce qui implique que la pompe 100-PM113A à 25.4% de chances de vivre jusqu'à la MTBF ce qui la rend moins fiable.

- La deuxième loi de fiabilité est la fonction de défaillance (fonction de réparation) $F(t)$. Son expression est la suivante :

$$F(t) = 1 - R(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-Y}{\eta}\right)^\beta} = 1 - e^{-\left(\frac{t-2435.37}{4914.52}\right)^{1.517}}$$

Pour ($t=MTBF$) : $F(t) = 0.745 = 74.5\%$

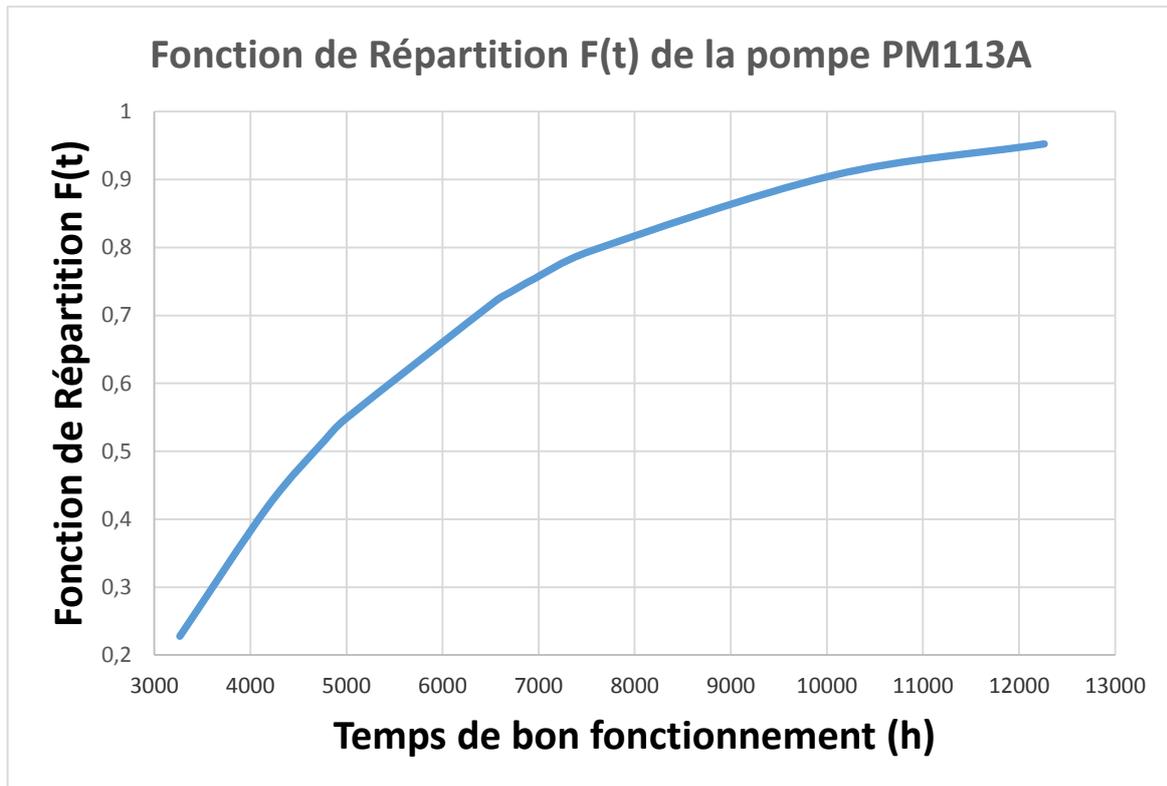


Figure III.8. Fonction de défaillance $F(t)$

Interprétation :

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 74.5%, ce qui implique que la pompe à 74.5% de chances d'avoir

une panne avant d'atteindre la MTBF, ceci confirme le résultat précédent et l'âge de la pompe ($\beta > 1$).

- La densité de probabilité de défaillance $f(t)$. Elle permet d'estimer à n'importe quel instant la densité d'avoir une panne :

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^\beta} = \frac{1.517}{4914.52} \left(\frac{t - 2435.37}{4914.52} \right)^{1.517-1} \cdot e^{-\left(\frac{t - 2435.37}{4914.52} \right)^{1.517}}$$

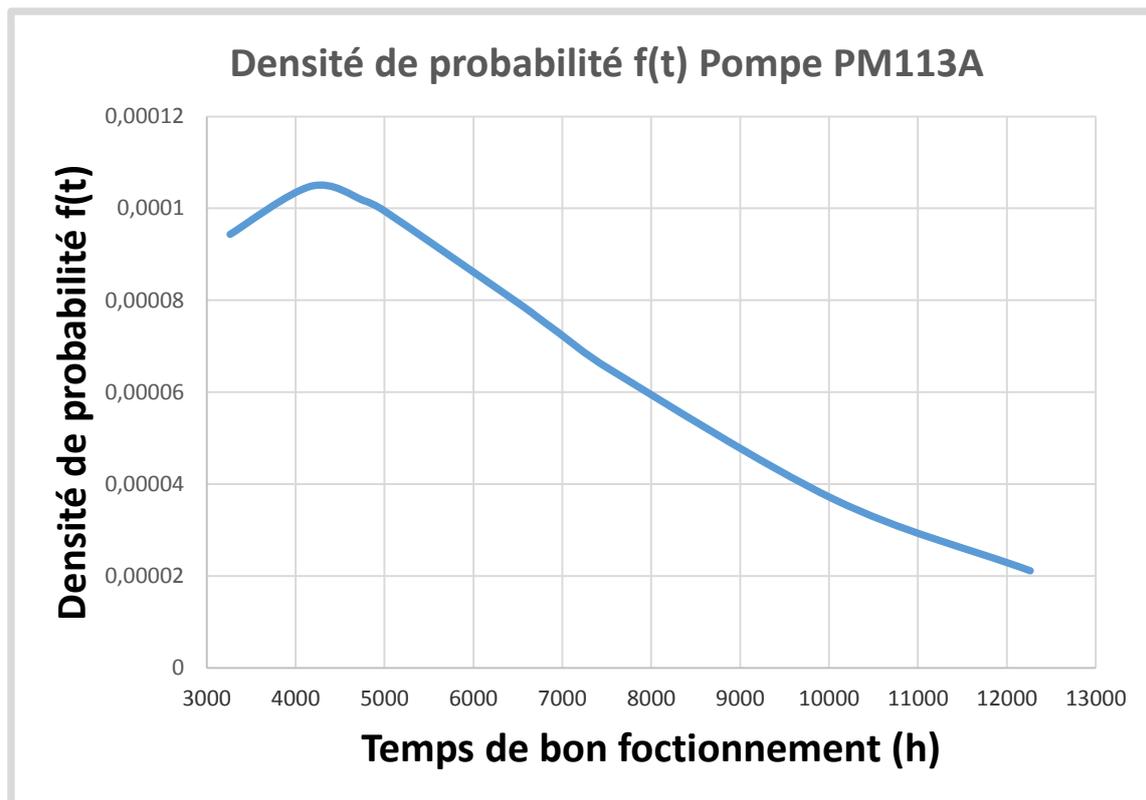


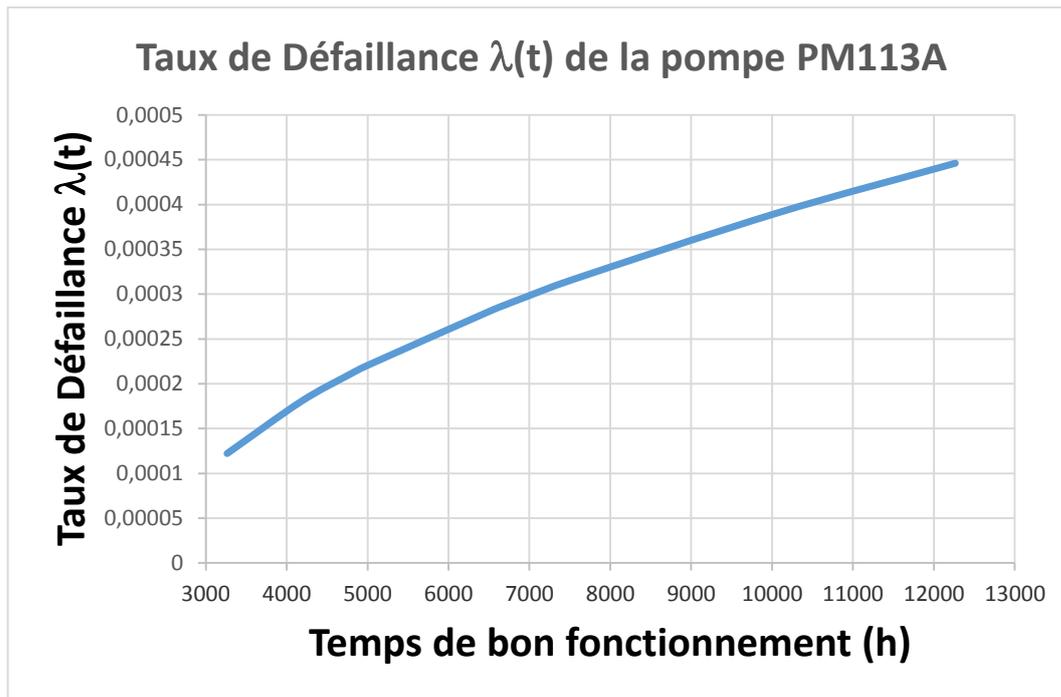
Figure III.9. Densité de probabilité de défaillance $f(t)$

Interprétation :

Dans la figure (III.9) nous remarquons que cette fonction est décroissante avec le temps. Elle montre également qu'il y a des pannes qui se manifestent bien avant la MTBF qui est égale à 6871.70 h.

- Enfin le taux de défaillance est donné par l'expression :

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} = \frac{1.517}{4914.52} \left(\frac{t - 2435.37}{4914.52} \right)^{1.517-1}$$

Figure III.10. Le taux de défaillance $\lambda(t)$ **Interprétation :**

Le taux de défaillance affiche une allure croissante avec le temps, ceci est expliqué par le fait que le paramètre β de la loi de Weibull est supérieur à 1 (1,517).

En conclusion, nous pouvons dire que cette pompe est en fin période de maturité et début de vieillesse ce qui nécessite l'utilisation du type de maintenance adéquat à son âge que ce soit en préventif ou curatif (pannes d'usure par exemple).

III.6.3.2. Application sur la pompe centrifuge 100-PM113B :

I	TBF(h)
1	4152
2	5472
3	5608
4	5880
5	7872
6	8688
7	9624
8	10992
9	11592

La détermination des paramètres du modèle de Weibull (figure III-11) à partir de la méthode de l'actuariat est faite aisément par l'introduction des différents TBFs ainsi que le choix des méthodes de résolution du problème dans le logiciel.

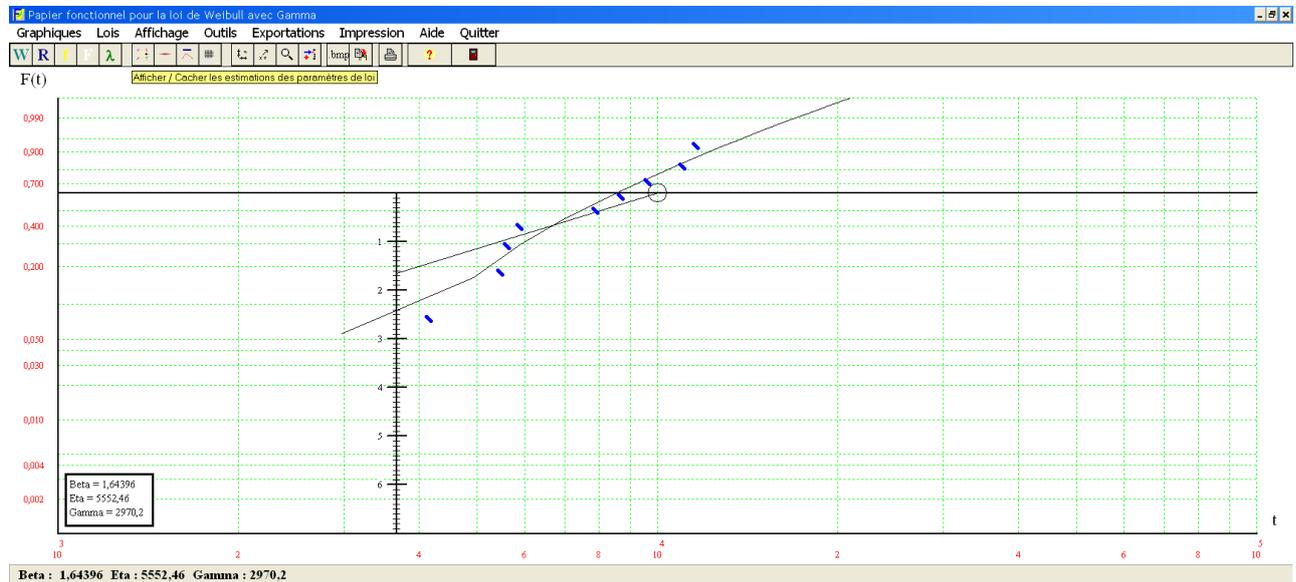


Figure III.11. Représentation des TBF sur le papier de Weibull 100-PM113B

L'utilisation de ce papier (figure. III.11), nous a permis de déterminer les trois paramètres de la loi de Weibull :

- $\beta=1,643$ (période de vieillesse)
- $\eta =5552,46$ h
- $\gamma =2970,2$ h

N°	TBF(h)	F(i)	F(t)	$D_{n,max} = F(i) - F(t) $
1	4152	0.07	0.013	0.057
2	5472	0.18	0.138	0.042
3	5608	0.28	0.256	0.024
4	5880	0.39	0.298	0.092
5	7872	0.5	0.520	0.02
6	8688	0.60	0.609	0.009
7	9624	0.71	0.703	0.007
8	10992	0.81	0.816	0.006
9	11592	0.92	0.855	0.065

Après avoir calculé les D_n , on a trouvé que : $D_{n, \max} = 0,092$

Depuis l'annexe A :

$N = 09$, en posant que : $\alpha = 0,2$ et en se référant à la table du test K-S, $D_{n, \alpha} = 0,339$. Il apparait que : $D_{n, \max} < D_{n, \alpha}$, le modèle de Weibull est donc acceptable.

Depuis l'annexe B :

A partir de la table de calcul de MTBF, on trouve les paramètres A et B en fonction de la valeur β :

$$A = 0,8966 \text{ et } B = 0,574$$

- Calcul de la moyenne des temps de bon fonctionnement :

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

$$MTBF = 0,8966 \cdot 5552,46 + 2970,2$$

$$MTBF = 7948,53 \text{ h}$$

Lois de fiabilité :

- Au début, la fonction de fiabilité est donnée par l'équation de $R(t)$:

On a : $t = MTBF$

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} = e^{-\left(\frac{t-2970,2}{5552,46}\right)^{1,643}}$$

$$R(t=MTBF) = 0,433 = 43,3 \%$$

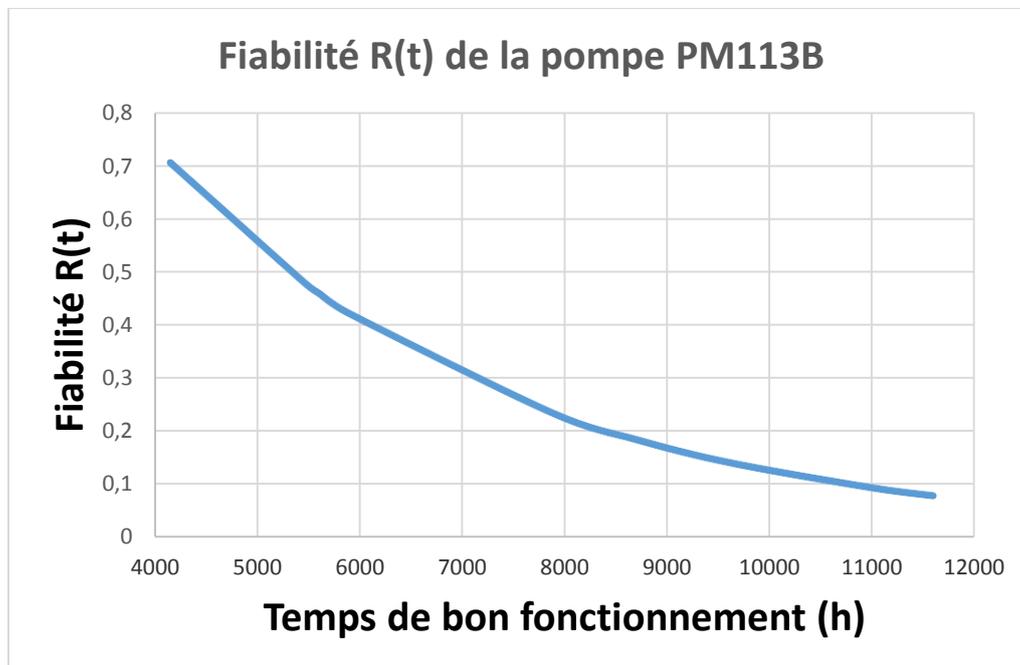


Figure III.12. Fonction de fiabilité $R(t)$

Interprétation :

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 43.3 %, ce qui implique que la pompe à 43.3 % de chances d’atteindre la MTBF avant de tomber en panne.

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

$$F(t) = 1 - R(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} = 1 - e^{-\left(\frac{t-2970.2}{5552.46}\right)^{1.643}}$$

Pour ($t=MTBF$) : $F(t) = 0.566 = 56.6\%$

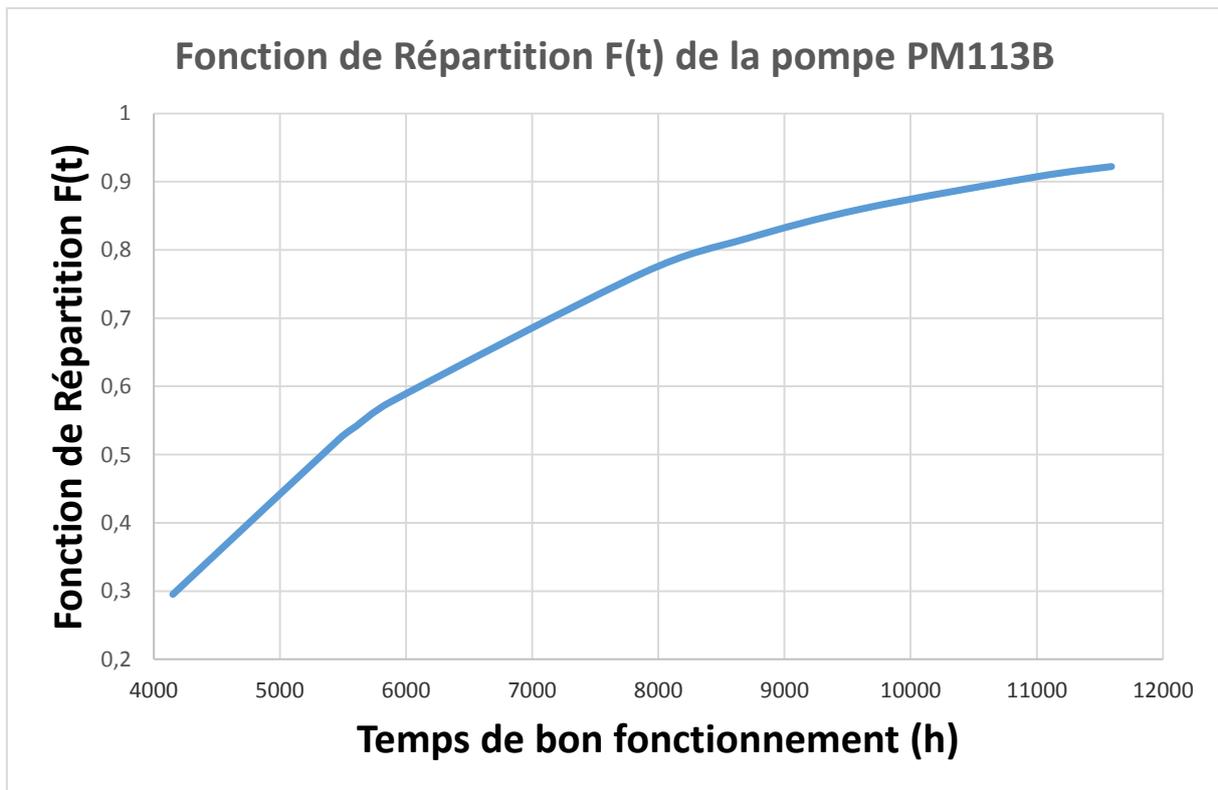


Figure III.13. Fonction de défaillance $F(t)$

Interprétation :

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 56.6%, ce qui implique que la pompe à 56.6% de chances d’avoir une panne avant d’atteindre la MTBF, ceci confirme l’âge de la pompe.

- La troisième c’est la densité de probabilité de défaillance $f(t)$. Son expression est la suivante :

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} = \frac{1.643}{5552.46} \left(\frac{t-2970.2}{5552.46}\right)^{1.643-1} \cdot e^{-\left(\frac{t-2970.2}{5552.46}\right)^{1.643}}$$

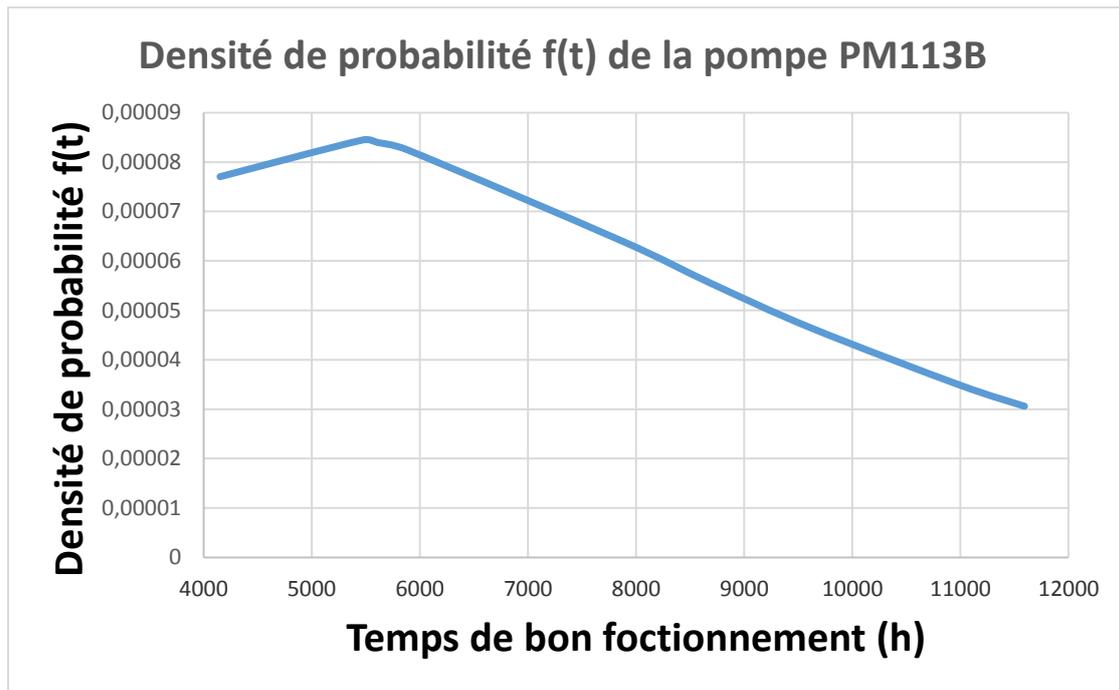


Figure III.14. Densité de probabilité de défaillance f(t)

Interprétation :

Dans la figure (III.14) nous remarquons que la densité de probabilité de défaillance est à décroissante avec le temps. Cette dernière montre également qu'il est fort possible d'avoir des pannes qui peuvent se manifester bien avant la MTBF qui est égale à 7948.53 h.

- Enfin le taux de défaillance est donné par l'expression :

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - \gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} = \frac{1.643}{5552.46} \left(\frac{t - 2970.2}{5552.46}\right)^{1.643-1}$$

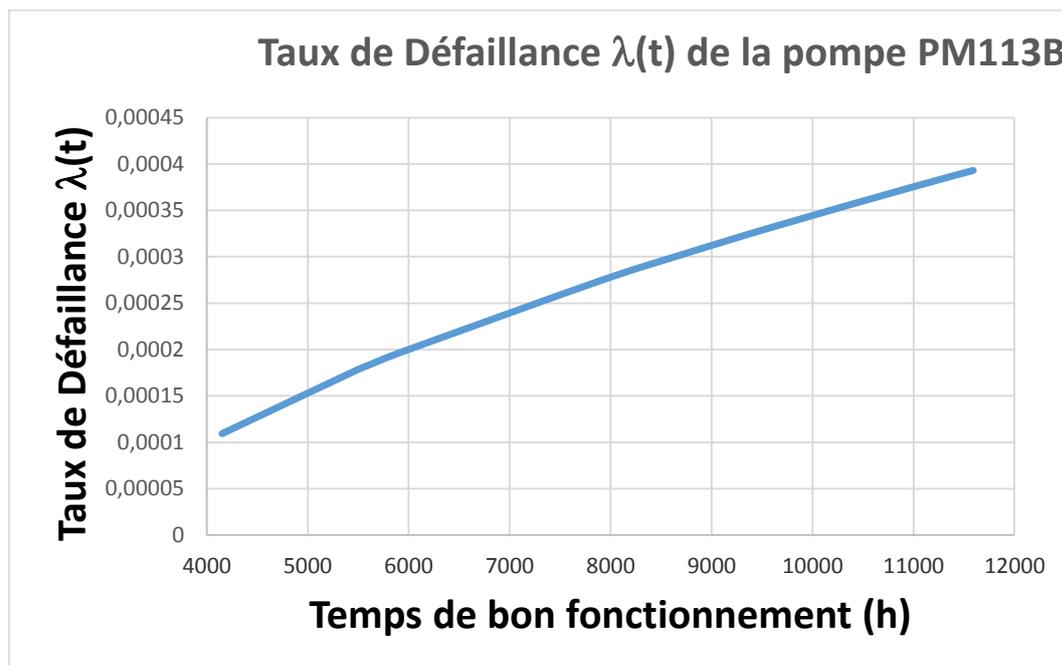


Figure III.15. Le taux de défaillance λ(t)

Interprétation :

L'allure croissante du taux de défaillance avec le temps confirme une autre fois que la pompe est en période de vieillesse.

III.6.3.3. Application sur la pompe centrifuge 100-PM113C :

I	TBF(h)
1	5712
2	6936
3	7584
4	8208
5	9552
6	10176
7	10800
8	12528

La détermination des paramètres du modèle de Weibull (figure III-16) à partir de la méthode de l'actuariat est faite aisément par l'introduction des différents TBFs ainsi que le choix des méthodes de résolution du problème dans le logiciel.

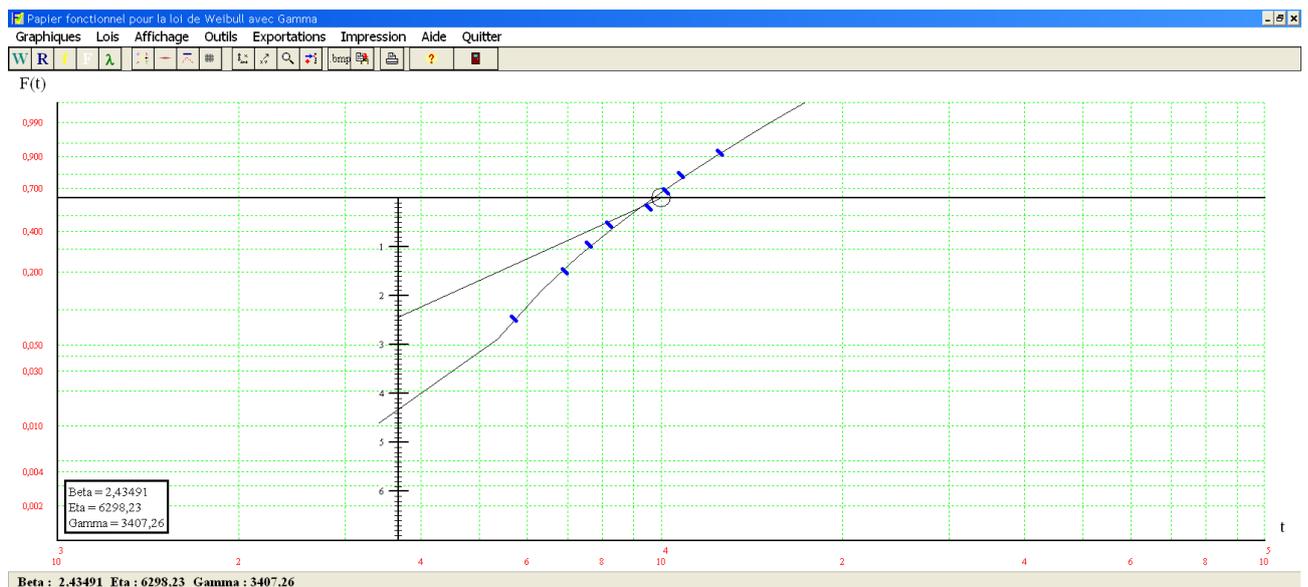


Figure III.16. Représentation des TBF sur le papier de Weibull 100-PM113C

L'utilisation de ce papier (figure. III.15), nous a permis de déterminer les trois paramètres de la loi de Weibull :

- $\beta = 2,434$ (période de vieillesse)
- $\eta = 6298,23$ h
- $\gamma = 3407,26$ h

N°	TBF(h)	F(i)	F(t)	$D_{n,max} = F(i) - F(t) $
1	5712	0.083	0.0002	0.082
2	6936	0.20	0.117	0.083
3	7584	0.32	0.202	0.118
4	8208	0.44	0.316	0.124
5	9552	0.55	0.645	0.095
6	10176	0.67	0.792	0.122
7	10800	0.79	0.902	0.112
8	12528	0.91	0.997	0.087

Après avoir calculé les D_n , on a trouvé que : $D_{n, max} = 0,124$

A partir de l'annexe A :

$N = 08$, en posant que : $\alpha = 0,2$ et en se référant à la table du test K-S, $D_{n, \alpha} = 0,358$. Il apparaît que : $D_{n, max} < D_{n, \alpha}$, le modèle de Weibull est donc acceptable.

Depuis l'annexe B :

A partir de la table de calcul de MTBF, on trouve les paramètres A et B en fonction de la valeur β :

$$A = 0,8865 \quad \text{et} \quad B = 0,393$$

- Calcul de la moyenne des temps de bon fonctionnement (MTBF):

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

$$MTBF = 0,8865 \cdot 6298,23 + 3407,26$$

$$MTBF = 8990,64 \text{ h}$$

Lois de fiabilité :

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

On a : $t = MTBF$

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} = e^{-\left(\frac{t-3407,26}{6298,23}\right)^{2,434}}$$

$$R(t=MTBF) = 0.474 = 47.4 \%$$

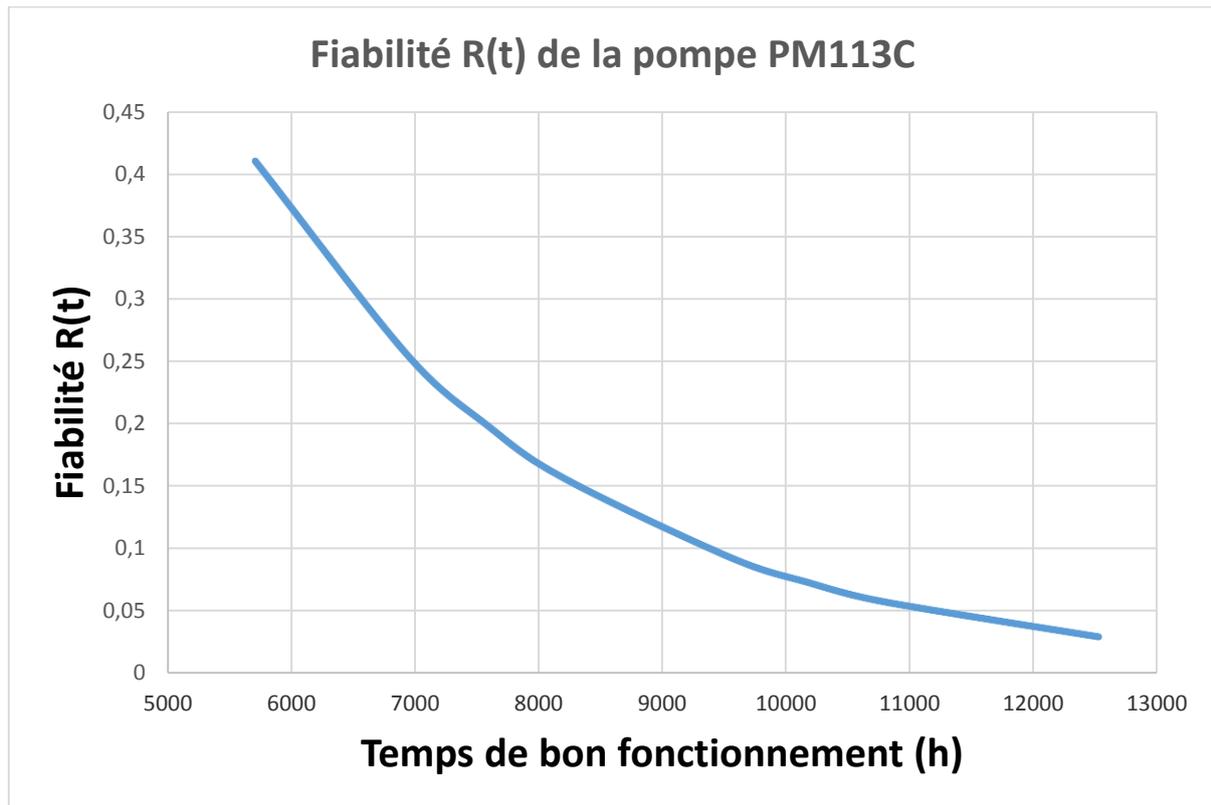


Figure III.17. Fonction de Fiabilité R(t)

Interprétation :

Cette fonction fiabilité : figure (III.17) est décroissante avec le temps, car la probabilité de bon fonctionnement diminue avec le temps. La valeur de cette fonction pour $t=MTBF$ est égale à 47.4 %, ce qui implique que la pompe a 47.4 % de chances d'atteindre la MTBF, ceci confirme qu'elle n'est pas fiable.

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

$$F(t) = 1 - R(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} = 1 - e^{-\left(\frac{t-3407.26}{6298.23}\right)^{2.434}}$$

Pour ($t=MTBF$) : $F(t) = 0.474 = 47.4\%$

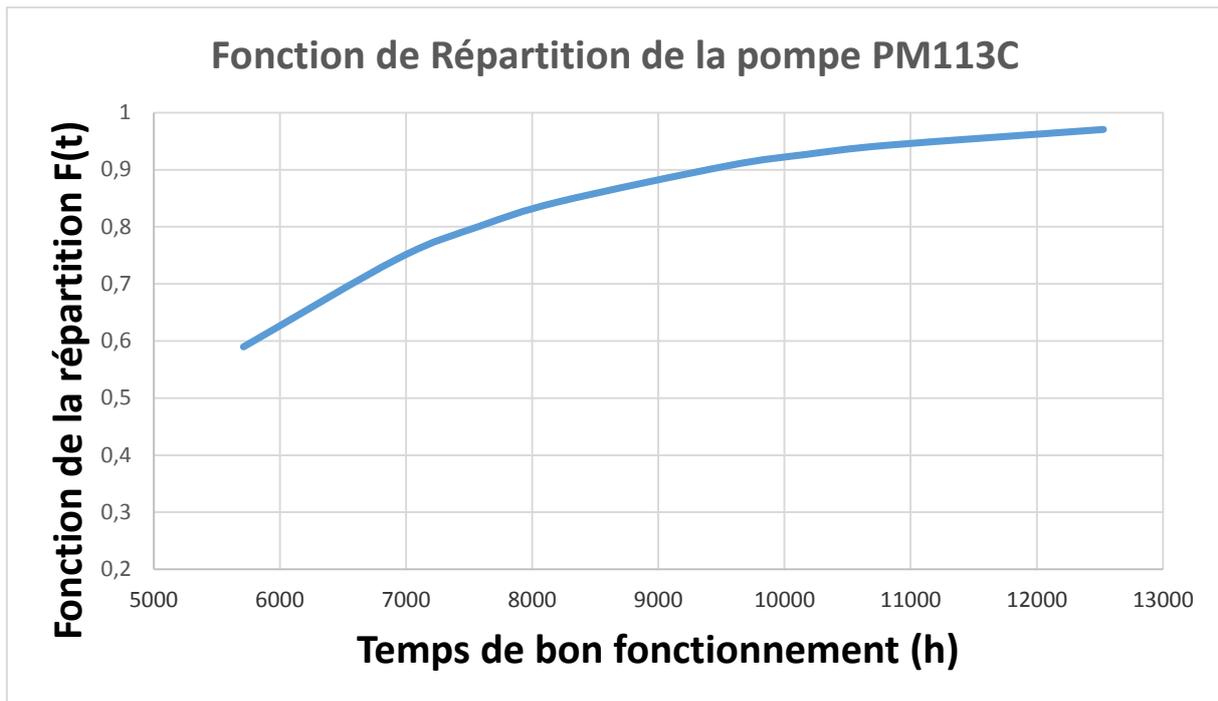


Figure III.18. Fonction de défaillance F(t)

Interprétation :

La valeur de cette fonction pour $t=MTBF$ est égale à 52.6%, ce qui implique que la pompe à 52.6 % de chances d'avoir une panne avant d'atteindre la MTBF, ceci confirme parfaitement la conclusion qu'elle n'est pas fiable.

- La densité de probabilité de défaillance $f(t)$. Elle permet d'estimer à n'importe quel instant la densité d'avoir une panne :

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta}} = \frac{2.434}{6298.23} \left(\frac{t-3407.26}{6298.23}\right)^{2.434-1} \cdot e^{-\left(\frac{t-3407.26}{6298.23}\right)^{2.434}}$$

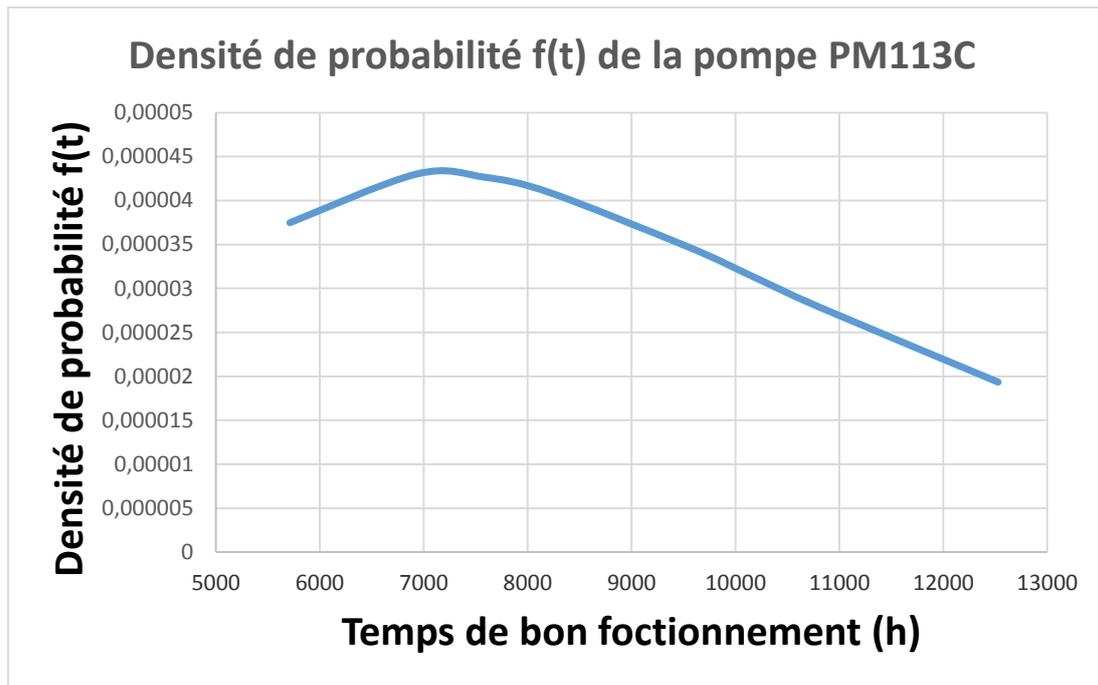


Figure III.19. Densité de probabilité de défaillance f(t)

Interprétation :

Nous remarquons que cette fonction est décroissante avec le temps. Elle montre également qu'il y a des pannes qui se manifestent bien avant la MTBF qui est égale à 8990.64 h.

- Enfin le taux de défaillance est donné par l'expression :

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} = \frac{2.434}{6298.23} \left(\frac{t-3407.26}{6298.23}\right)^{2.434-1}$$

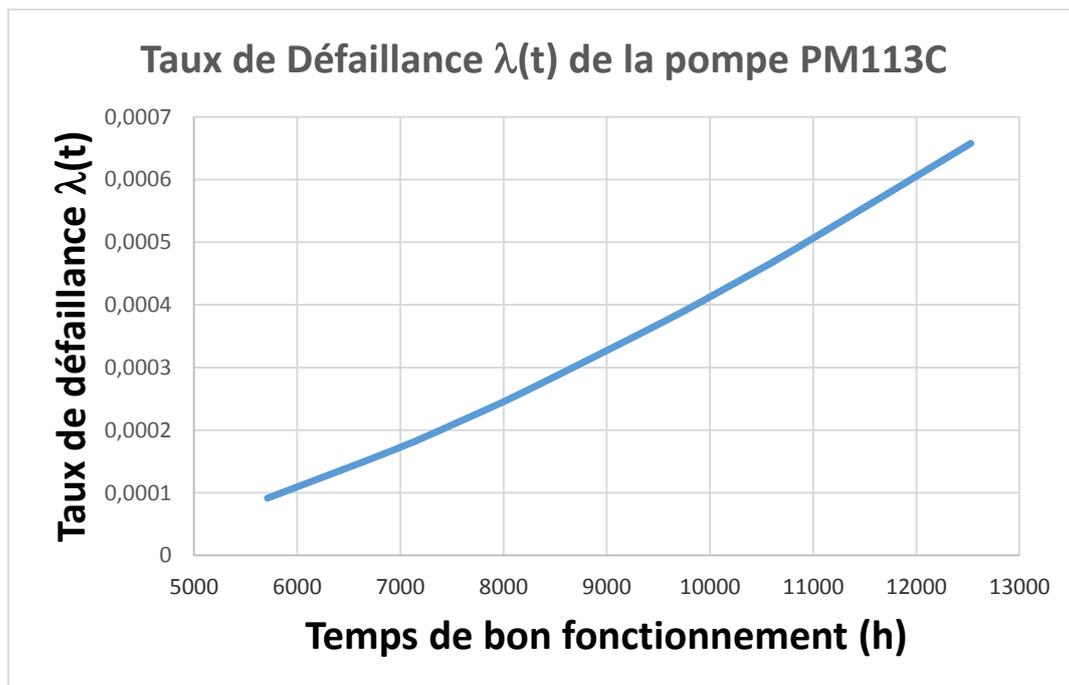


Figure III.20. Le taux de défaillance λ(t)

Interprétation :

La figure (III.20) affiche une allure quasiment croissante avec le temps, ceci est expliqué par la valeur du paramètre β du modèle qui est très supérieur à 1 (2,434). Donc cette pompe est en pleine période de vieillesse.

III.6.4. Récapitulation des résultats de l'étude de fiabilité des trois machines du système :

Machine	MTBF (h)	Période de vie	Fiable ?	R (t= MTBF)
Pompe 100-PM113A	6871.70	Fin maturité Début vieillesse	NON	25.4%
Pompe 100-PM113B	7948.53	Vieillesse	NON	43.3 %
Pompe 100-PM113C	8990.64	Vieillesse	NON	47.4%

Tableau III.7. Fiabilité des trois machines du système

III.6.5. Calcul de la fiabilité du système entier par application de la technique des redondances :

Le problème que 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. [10]

III.6.5.1. 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.

III.6.5.1.1. 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.21) montre le schéma bloc d'un système série.

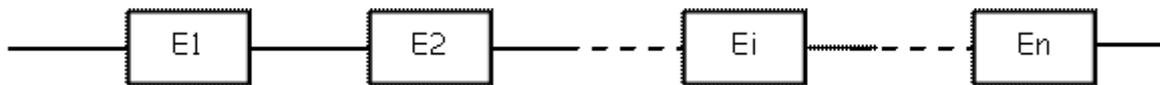


Figure III.21. Schéma bloc d'un système série

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

$$R_s = R1.R2.R3...Ri....Rn = \prod_{i=1}^n Ri$$

III.6.5.1.2. 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.22) montre les schémas bloc d'un système parallèle à deux et n éléments.

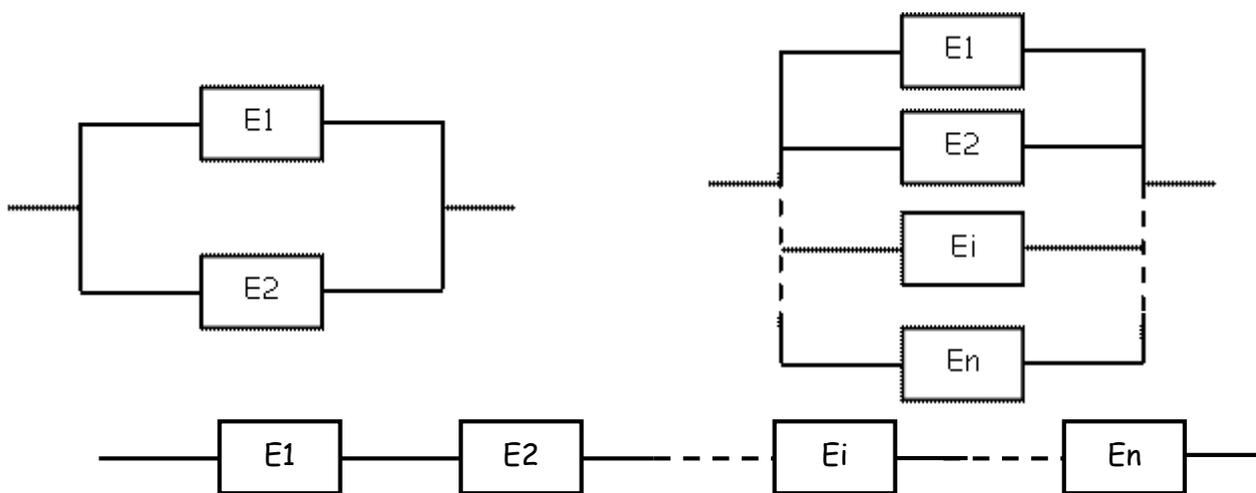


Figure III.22. Système parallèle à 2 et n éléments

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 :

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

III.6.5.2. Redondance passive (stand-by):

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.23) montre l'exemple d'une redondance passive à 2 et n éléments.

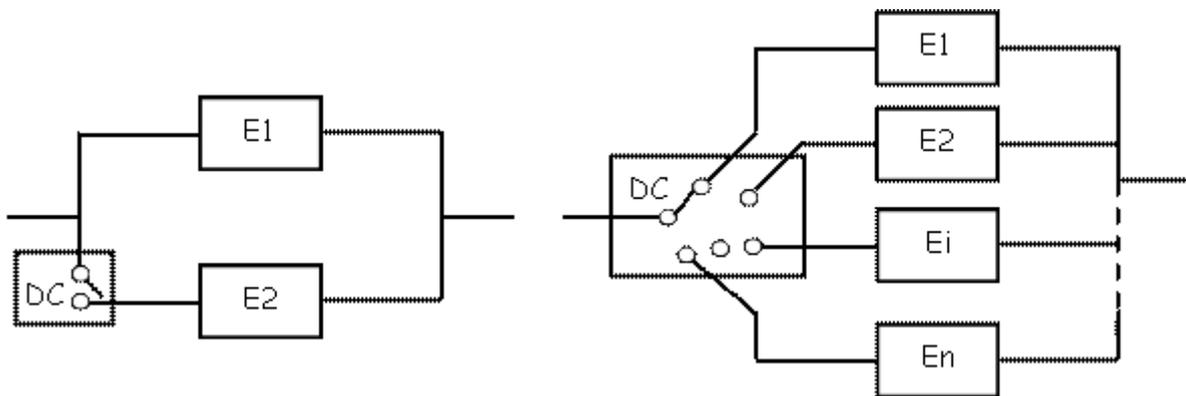


Figure III.23. Schéma bloc d'un système à redondance passive à 2 et n éléments

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 : $R_1 = e^{-\lambda_1 t}$ et $R_2 = e^{-\lambda_2 t}$, la fiabilité du système revient, tout calcul fait, à :

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

Si on prend en compte de 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 :

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

III.6.5.3. Application au système étudié :

Le système en question est composé de trois pompes centrifuges qui travaillent en redondance passive (deux travaillent, l'autre est en attente)

Si on prend en compte l'élément DC et en considérant que :

$$\lambda_{100-PM113A} = \lambda_{100-PM113B} = \lambda_{100-PM113C} = \lambda$$

La fiabilité du système revient à :

$$R_s = e^{-(\lambda_{DC} + \lambda)t} \left[1 + \lambda t + \frac{(\lambda t)^2}{2} \right]$$

Cette expression permet de calculer la fiabilité de tout le système à n'importe quel instant et λ de l'élément DC.

III.7. Conclusion :

Ce chapitre a été consacré principalement à l'étude quantitative de trois pompes centrifuges de la RA2K Topping de Skikda et cela à partir d'un historique de pannes et d'interventions, fourni par le service maintenance. L'analyse faite, en premier lieu, en utilisant la méthode ABC de PARETO nous a permis de distinguer les pannes critiques, majeures et mineures en les séparant en différentes zones. La deuxième partie de ce chapitre a été réservée à la détermination des paramètres de Weibull afin de reconnaître la phase de vie des différentes pompes. A cet effet et selon les résultats obtenus ($\beta > 1$) il s'avère tout à fait clair que ces dernières se situent dans la phase de vie de vieillesse dont le taux de défaillance est croissant,

et que cette période correspond à une dégradation irréversible des caractéristiques du matériel, ramenant ainsi l'équipement à une usure progressive.

Chapitre IV

Analyse qualitative par l'AMDEC, APR et arbre de défaillances

Introduction :

Le principe de la prévention repose sur le recensement systématique et l'évaluation des risques potentiels susceptibles de se produire à toutes les phases de vie d'un équipement. A cet effet, une étude qualitative complémentaire a fait l'objet de ce dernier chapitre.

Ce type d'analyse est très important et représente un outil précieux pour l'identification des modes de défaillances des différents composants de la pompe tout en évaluant leurs effets sur l'ensemble.

Les techniques employées, comme outils d'aide à la décision, dans cette étude, sont l'analyse préliminaire des risques (APR), l'arbre de défaillances et principalement l'Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité (AMDEC).

Suite à cette analyse il serait aisé de proposer des procédures préventives et correctives pour mieux gérer la politique de maintenance (chose à laquelle il faut donner plus d'importance au sein de ce complexe). A l'issue de ce chapitre, nous a avons pu dégager un programme de maintenance de notre pompe centrifuge.

IV.1. Notions de base des pompes :

Les pompes sont des machines servant à élever les liquides ou les mélanges de liquides d'un niveau inférieur à un niveau supérieur, ou refouler les liquides d'une région à faible pression vers une région à haute pression.[12]

Le fonctionnement d'une pompe consiste à produire une différence de pression entre la région d'aspiration et la région de refoulement au moyen de l'organe actif (piston, roue,...etc.) de la pompe. Du point de vue physique, la pompe transforme l'énergie mécanique de son moteur d'entraînement en énergie hydraulique.[17]

IV.1.1. Classification des pompes :

Il existe différentes pompes qui peuvent se classer en deux grandes familles : [17]

- Pompes volumétriques
- Pompes centrifuges

L'utilisation d'un type de pompes ou d'un autre dépend des conditions d'écoulement du fluide. De manière générale, si on veut augmenter la pression d'un fluide on utilisera plutôt les pompes volumétriques, tandis que si on veut augmenter le débit on utilisera plutôt les pompes centrifuges.

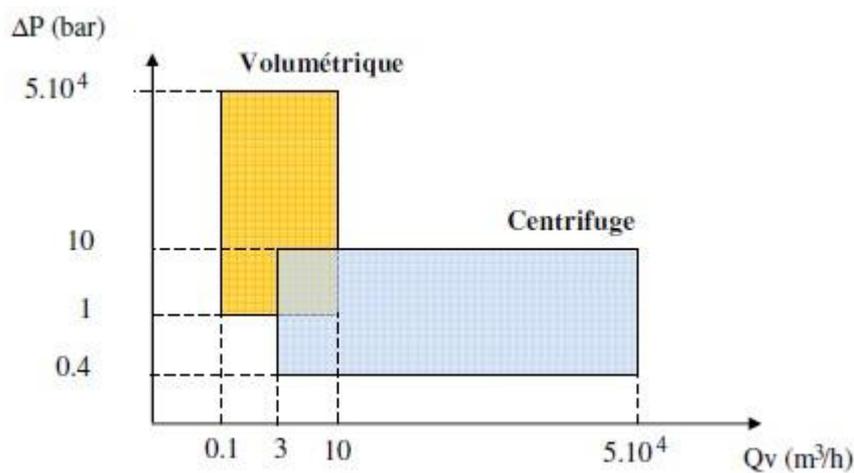


Figure IV.1. Domaine d'utilisation des pompes [17]

IV.1.2. Définition :

Une pompe centrifuge est une machine rotative qui pompe un liquide en le forçant au travers d'une roue à aube ou d'une hélice appelée impulseur. C'est le type de pompe industrielle le plus commun. Par l'effet de la rotation de l'impulseur, le fluide pompé est aspiré axialement dans la pompe, puis accéléré radialement, et enfin refoulé. [12]

tangentiellement.

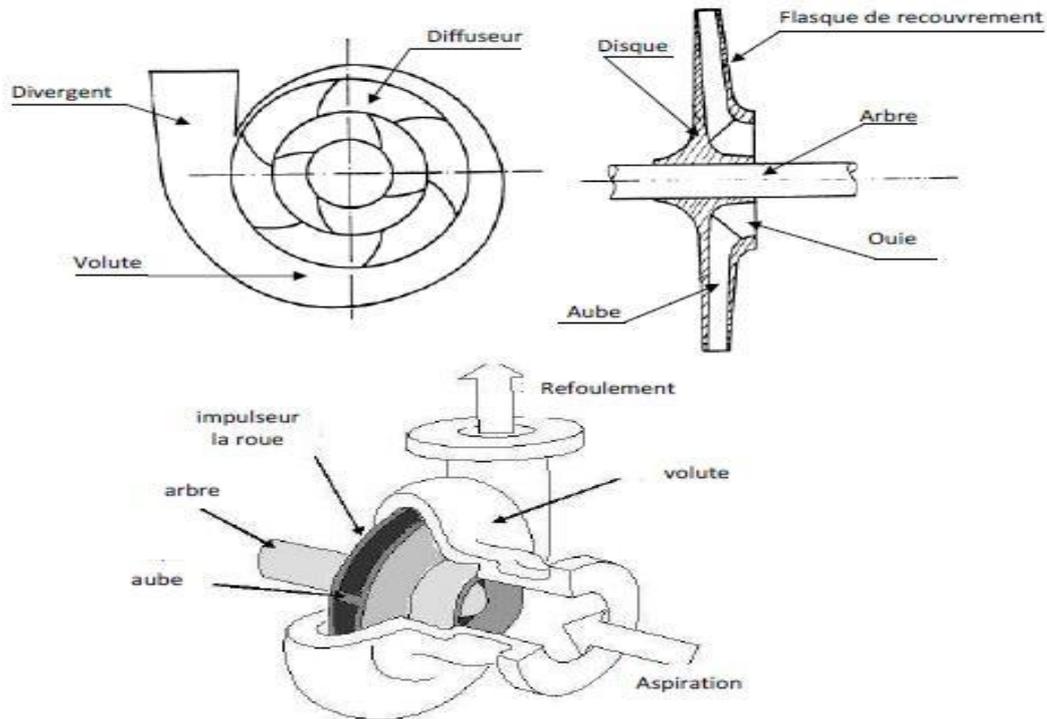


Figure IV.2. Schéma d'une pompe centrifuge

IV.1.3. Les composantes principales :

Les principales composantes des pompes centrifuges sont les suivant : [12]

Distributeur : c'est un organe fixe ayant pour rôle la conduite du liquide depuis la section d'entrée de la pompe jusqu'à l'entrée de l'impulser, il se réduit à une simple tuyauterie pour les pompes monocellulaire.

L'impulseur (la roue) : c'est l'âme de la pompe centrifuge, il comporte des aubes ou ailettes, qui grâce à leur interaction avec le liquide véhiculé transforme l'énergie mécanique en énergie de pression dans le récupérateur. L'impulser se compose de le moyeu, bagues d'étanchéité (d'usure), et les flasques.

Le récupérateur (l'enveloppe) : c'est un organe fixe qui collecte le liquide à la sortie de la roue et la canalisé vers la section de sortie de la pompe avec la vitesse désirée.

Le récupérateur se compose en général de deux parties :

- **Le diffuseur :** a pour rôle de transformer l'énergie cinétique en énergie de pression, et ainsi limiter la vitesse du liquide pour éviter les pertes de charges exagérées.

- **La volute** : c'est le collecteur du liquide venant du diffuseur, elle assure la transformation d'énergie cinétique en pression et canalise le liquide vers la section de sortie de la pompe.

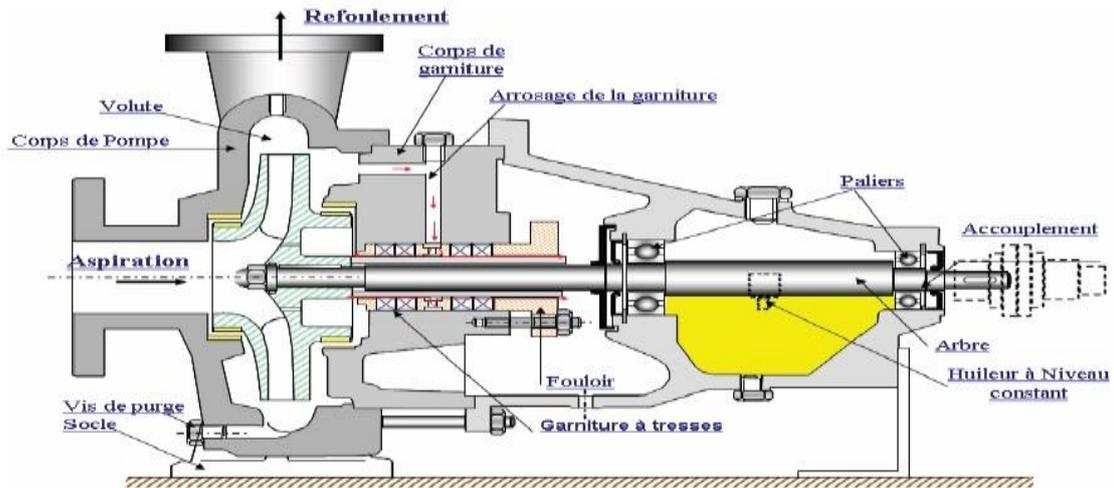


Figure IV.3. Pompe centrifuge monocellulaire en porte à faux [12]

IV.1.4. Principe de fonctionnement :

Le principe de fonctionnement d'une pompe centrifuge repose sur l'effet de la force centrifuge grâce aux aubes de la roue. Celle-ci est placée dans le corps de la pompe qui possède généralement deux orifices, le premier pour l'aspiration dans l'axe de rotation et le second pour le refoulement perpendiculaire à l'axe de rotation. Le fluide pris entre deux aubes se trouve contraint de tourner avec la roue, la force centrifuge repousse alors la masse du liquide vers l'extérieur de la roue où la seule sortie possible sera l'orifice de refoulement.

L'énergie fluide provient donc de la force centrifuge.

On appelle « corps de pompe » l'enveloppe extérieure de la machine. C'est la partie fixe de la machine ou stator.

Le corps est constitué principalement de la « tubulure d'aspiration », de la « volute », et de la « tubulure de refoulement ». La partie mobile ou rotor est formée de l'impulseur (roue à aubes), monté sur un arbre.

Le rotor est actionné par une machine d'entraînement qui est le plus souvent un moteur électrique.

On appelle aubes les lamelles grossièrement radiales qui, à l'intérieur de l'impulseur, canalisent le fluide de l'intérieur vers l'extérieur de la volute.

IV.1.5. Critères de choix d'une pompe centrifuge :

Une pompe centrifuge doit être choisie selon les caractéristiques réelles de l'installation. Les données nécessaires pour un dimensionnement correctes sont :[12]

- Le débit désiré
- La hauteur géométrique à l'aspiration
- La hauteur géométrique au refoulement
- Le diamètre de la conduite

IV.1.6. Avantages et inconvénients des pompes centrifuges :

a) Avantage :[12]

- Faible encombrement.
- Bruit négligeable.
- Simplicité de construction.
- Régularité dans le fonctionnement.
- Aptitude au fonctionnement à grande vitesse, donc l'accouplement peut se faire directement avec des moteurs électriques ou des moteurs diesels.

b) Inconvénients :

- A faible débit et aux grandes hauteurs de refoulement, le rendement diminue.
- Phénomène de cavitation en cas de fuite d'air dans la conduite d'aspiration.
- Diminution de la hauteur de refoulement en cas de fuite d'air dans la conduite d'aspiration.

IV.2. Analyse fonctionnelle de 100-PM113A/B/C :

La pompe centrifuge 100-PM113A/B/C est une machine très importante dans le système de pompage, un arrêt imprévu de cette pompe provoquera l'arrêt de tout le

système. La figure (IV.4) montre une photo réelle de la pompe centrifuge 100-PM113, tandis que le dessin d'ensemble montrant les principaux constituants de la pompe centrifuge 100-PM113 est donné par la figure (IV.5).



Figure IV.4. Photo réelle de la pompe centrifuge 100-PM113

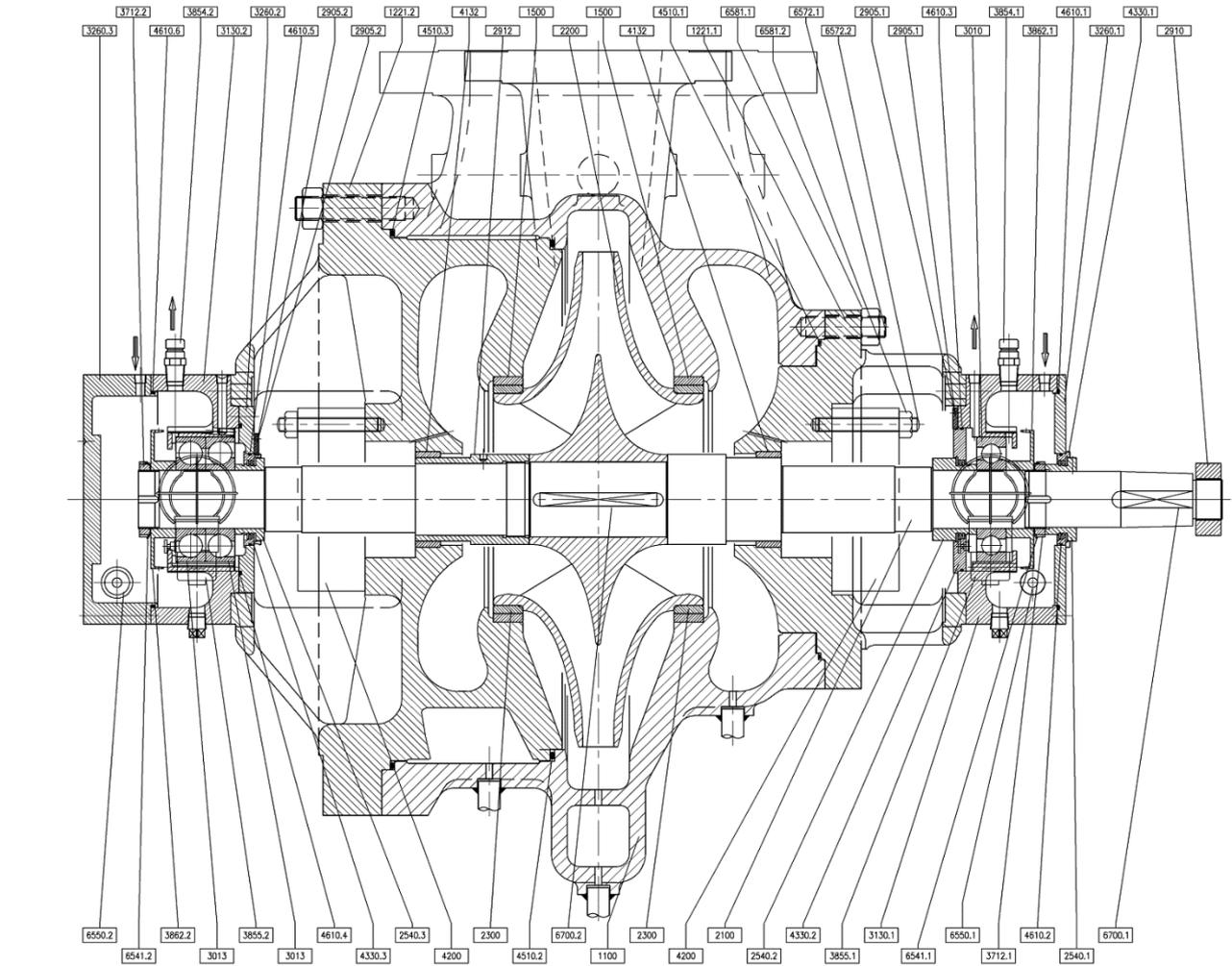


Figure IV.5. Dessin d'ensemble en coupe de la pompe centrifuge 100-PM113

Numéro de référence	Description	Numéro de référence	Description	Numéro de référence	Description	Numéro de référence	Description
3260.1	Couvercle de palier	1500	Bague d'usure du boîtier	3855.2	Huileur à niveau constant	6550.1	Dispositif de refroidissement
3130.2	Support de roulement	1221.2	Couvercle du boîtier	3855.1	Huileur à niveau constant	6541.2	Rondelle de blocage
3130.1	Support de roulement	1221.1	Couvercle du boîtier	3854.2	Bouchon de filtre à huile	6541.1	Rondelle de blocage
3013	Butée à billes	1100	Enveloppe	3854.1	Bouchon de filtre à huile	4610.6	Joint torique
3010	Roulement antifricition	4610.1	Joint torique	3712.2	Écrou de roulement	4610.5	Joint torique
2912	Écrou de roue	4510.3	Joint	3712.1	Écrou de roulement	4610.4	Joint torique
2910	Écrou d'arbre	4510.2	Joint	3260.3	Couvercle de palier	4610.3	Joint torique

2905.2	Machine à laver	4510.1	Joint	3260.2	Couvercle de palier	4610.2	Joint torique
2905.1	Machine à laver	4330.3	Anneau de labyrinthe	6700.2	Clé		
2540.3	Défecteur	4330.2	Anneau de labyrinthe	6700.1	Clé		
2540.2	Défecteur	4330.1	Anneau de labyrinthe	6581.2	Écrou hexagonal		
2540.1	Défecteur	4200	Garniture mécanique	6581.1	Écrou hexagonal		
2300	Bague d'usure de la roue	4132	Douille de presse-étoupe	6572.2	Goujon		
2200	Impulseur	3862.2	Lanceur de disques de lubrification	6572.1	Goujon		
2100	Arbre	3862.1	Lanceur de disques de lubrification	6550.2	Dispositif de refroidissement		

Tableau IV.1. Déchiffre de schéma technique de la pompe centrifuge 100-PM113

La figure (IV.6) montre le schéma fonctionnel de la pompe centrifuge. Ce schéma permet de bien comprendre les fonctions principales et techniques assurées ainsi que les organes principaux qui les composent.

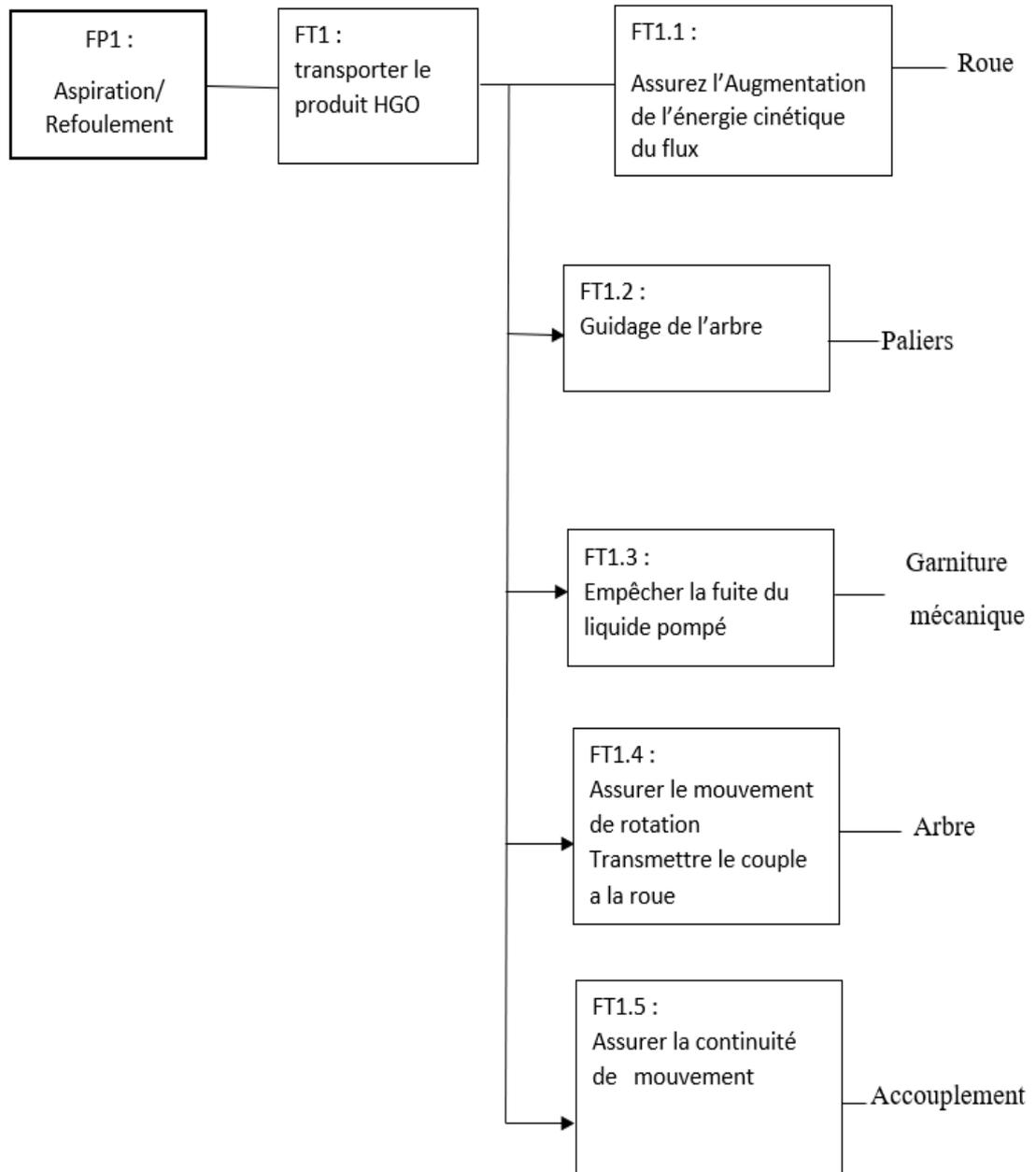


Figure IV.6. Analyse fonctionnelle de la pompe centrifuge 100-PM113

IV.3. Cause à effet de pompe centrifuge 100-PM113 :

Ce tableau est d'une importance capitale car il représente les données de base pour construire les arbres de défaillances que nous aborderons plus loin dans ce chapitre.

Constats	Causes possibles	Remèdes possibles
Surchauffe et grippage de La pompe	<ul style="list-style-type: none"> -pompe non amorcée. -Fonctionnement à très faible débit. -Pièce rotative frottant sur une pièce fixe à l'intérieur. -Roulements usés. 	<ul style="list-style-type: none"> -Vérifier le remplissage. Aérer et/ou amorcer. -Mesurer la valeur et vérifier le minimum autorisé. -Remplacer les roulements.
Faible durée de vie des roulements	<ul style="list-style-type: none"> -Fonctionnement à débit élevé. -Désalignement dû aux contraintes des tuyauteries. -Arbre courbé. 	<ul style="list-style-type: none"> - Mesurer la valeur et vérifier le maximum autorisé. - Vérifier que les faux ronds d'arbre sont dans les limites acceptables
La pompe vibre ou est bruyante	<ul style="list-style-type: none"> -Fonctionnement à très faible débit. -Pièce rotative frottant sur une pièce fixe à l'intérieur. 	<ul style="list-style-type: none"> - Mesurer la valeur et vérifier le minimum autorisé. - Vérifier la conception du circuit.
Fuite excessive de la garniture mécanique	<ul style="list-style-type: none"> -Roulements usés. -Désalignement dû aux contraintes des tuyauteries. -Arbre courbé. 	<ul style="list-style-type: none"> - Remplacer les roulements -Vérifier que les faux ronds d'arbre sont dans les limites acceptables
Courte durée de vie de la garniture	<ul style="list-style-type: none"> - Le fluide est abrasif et 	<ul style="list-style-type: none"> -Éviter le dépôt de particules abrasives sur les faces de la garniture.

	<ul style="list-style-type: none"> provoque une usure excessive des faces du joint. -Machine décentrée - Défaillance du ressort. - Corrosion des mécanismes d'entraînement. - Défaillance des joints toriques due au vieillissement. 	<ul style="list-style-type: none"> - Utiliser un séparateur ou un filtre. - Aligner la machine. - Vérifier le frottement de la garniture sur l'arbre. - Remplacer les pièces. - Consulter le fabricant de garnitures pour d'autres matériaux.
Désamorçage de la pompe a près démarrage	<ul style="list-style-type: none"> -Hauteur d'aspiration trop importante ou niveau trop bas. -Quantité excessive d'air ou de gaz dans le liquide. -Poche d'air ou de vapeur dans la ligne d'aspiration. 	<ul style="list-style-type: none"> - Vérifier $NPSHA > NPSHR$, submergence correcte, perte au niveau des filtres/raccords. - Vérifier et purger les tuyauteries et le circuit. - Vérifier la conception de la ligne d'aspiration pour les poches de vapeur.
Débit insuffisant	<ul style="list-style-type: none"> -Hauteur d'aspiration trop importante ou niveau trop bas -Vitesse trop faible. 	<ul style="list-style-type: none"> - Vérifier $NPSHA > NPSHR$, submergence correcte, perte au niveau des filtres/raccords.
Débit nul	<ul style="list-style-type: none"> -Entrée de la tuyauterie d'aspiration insuffisamment submergée. 	<ul style="list-style-type: none"> - Vérifier la conception du circuit.

Tableau IV.2. Analyse cause à effet de la pompe centrifuge 100-PM113

IV.4. Analyse Préliminaire des Risques (APR) :

Le tableau (IV.3) montre donc les principaux organes de la pompe centrifuge, les éventuelles situations dangereuses qu'ils peuvent provoquer, ainsi que les conséquences observées sur le fonctionnement général de la pompe centrifuge.

Systeme 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
La pompe centrifuge 100-PM113	Roue	Oui	Usure	Oui	Vibrations excessives	Arrêt de la pompe centrifuge	Maintenance préventive systématique et conditionnelle	Procéder à des mesures régulières des vibrations
	Bague d'étanchéité	Non	Usure	Non	Fuite d'huile	Manque de graissage		Vérification fuite d'huile
	Boîte à garniture	Oui	Usure	Oui	Fuite excessive Surchauffement	Arrêt de la pompe centrifuge		Vérification visuelle de la boîte
	Arbre	Oui	Fléchissement	Oui	Vibrations excessives	Arrêt de la pompe centrifuge		Procéder à des mesures régulières des vibrations
	Paliers	Oui	Usure	Oui	Vibrations excessives	Arrêt de la pompe centrifuge		Mesures vibratoires
	Accouplement	Oui	Désalignement	Oui	Vibrations excessives	Arrêt de la pompe centrifuge		Vérification visuelle de l'accouplement

Tableau IV.3. Analyse préliminaire des risques de la pompe centrifuge 100-PM113

Interprétation :

Tous les risques qui nous ont cité en (Tableau IV.3) à part la bague d'étanchéité sont des risques dangereux infectant ainsi le bon fonctionnement de la pompe. La négligence de ces derniers conduira automatiquement la pompe à des problèmes potentiels.

Les défaillances des organes de la pompe centrifuge provoqueront des accidents, des fuites, des vibrations, des bruits excessifs et surchauffement. Ces derniers auront pour conséquences des arrêts répétitifs de la pompe centrifuge.

Etant données les conditions sévères d'exploitation de la pompe (vitesse de rotation et charge) qui sont à l'origine d'un certains nombres de défauts des éléments de la pompe, il s'avère nécessaire d'appliquer une politique de maintenance basée sur des vérifications visuelles et des mesures vibratoires pour améliorer l'état vibratoire et globale de la pompe centrifuge.

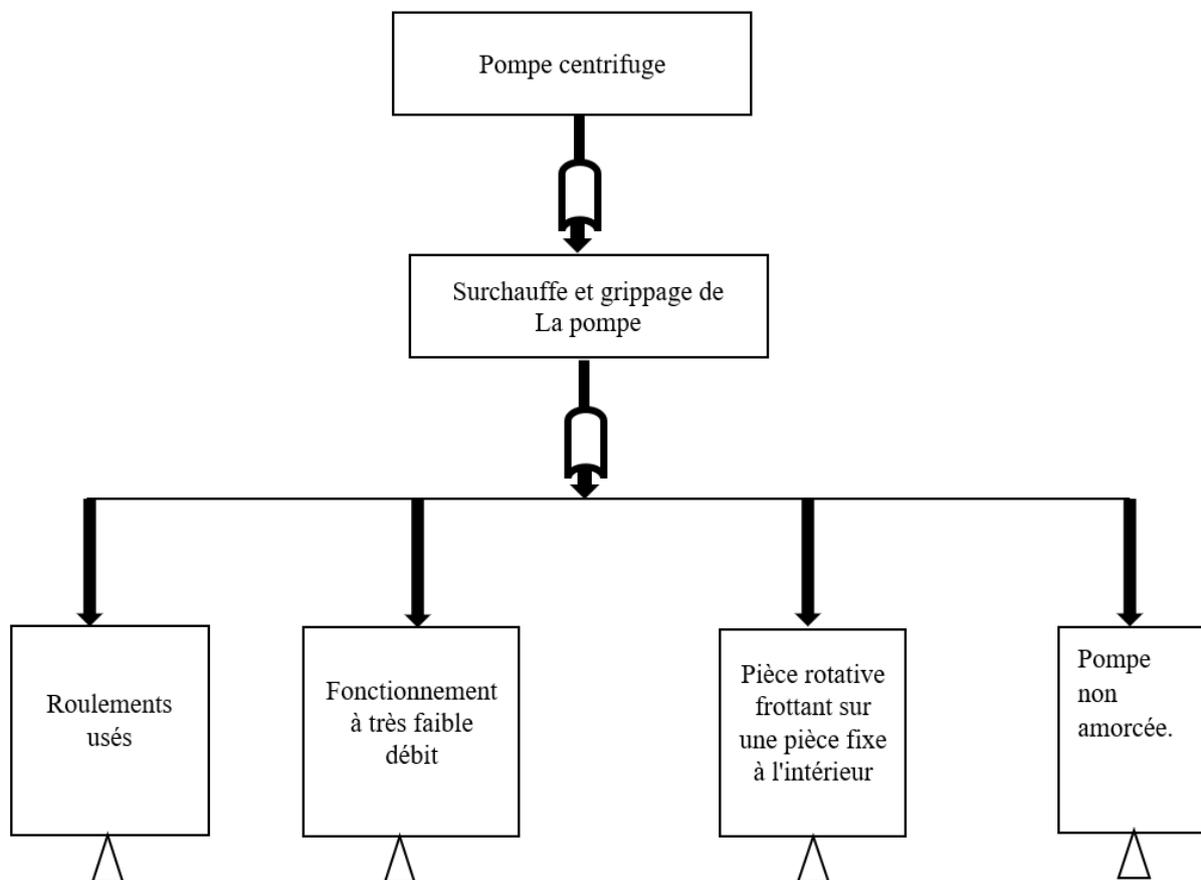
IV.5. Arbre de défaillances :

Figure IV.7. Arbre de défaillance du mode « Surchauffe et grippage de la pompe »

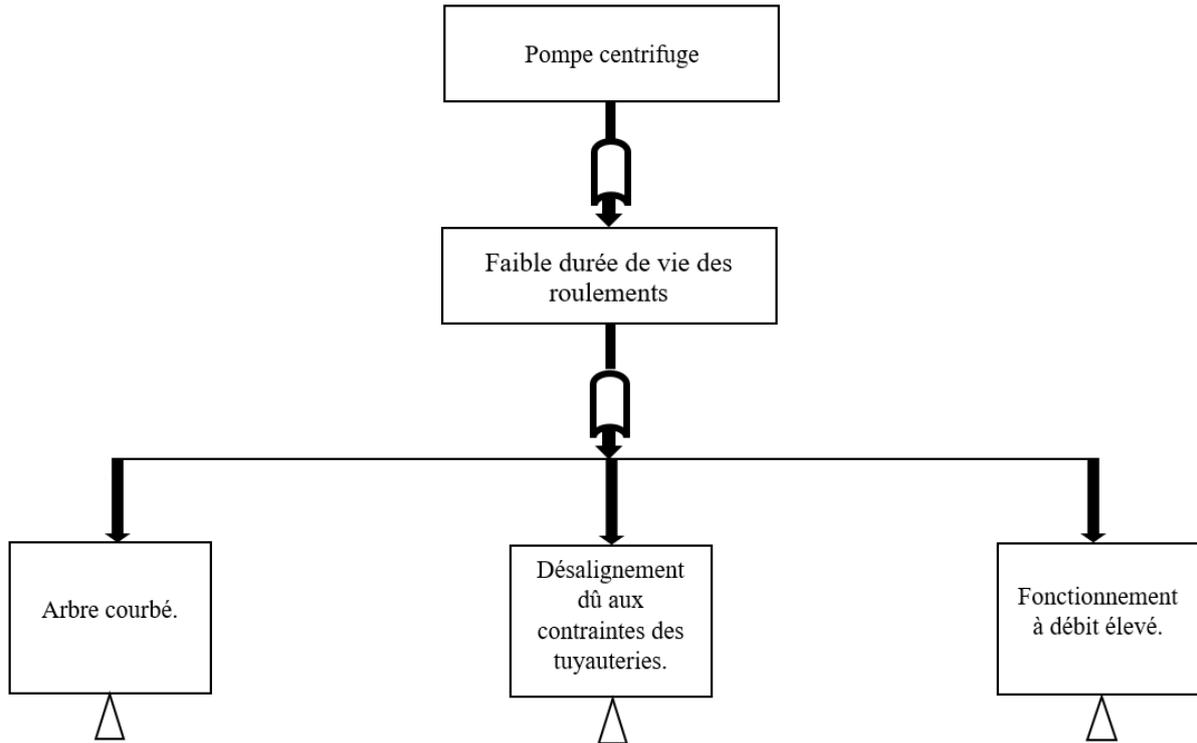


Figure IV.8. Arbre de défaillance du mode « Faible durée de vie des roulements »

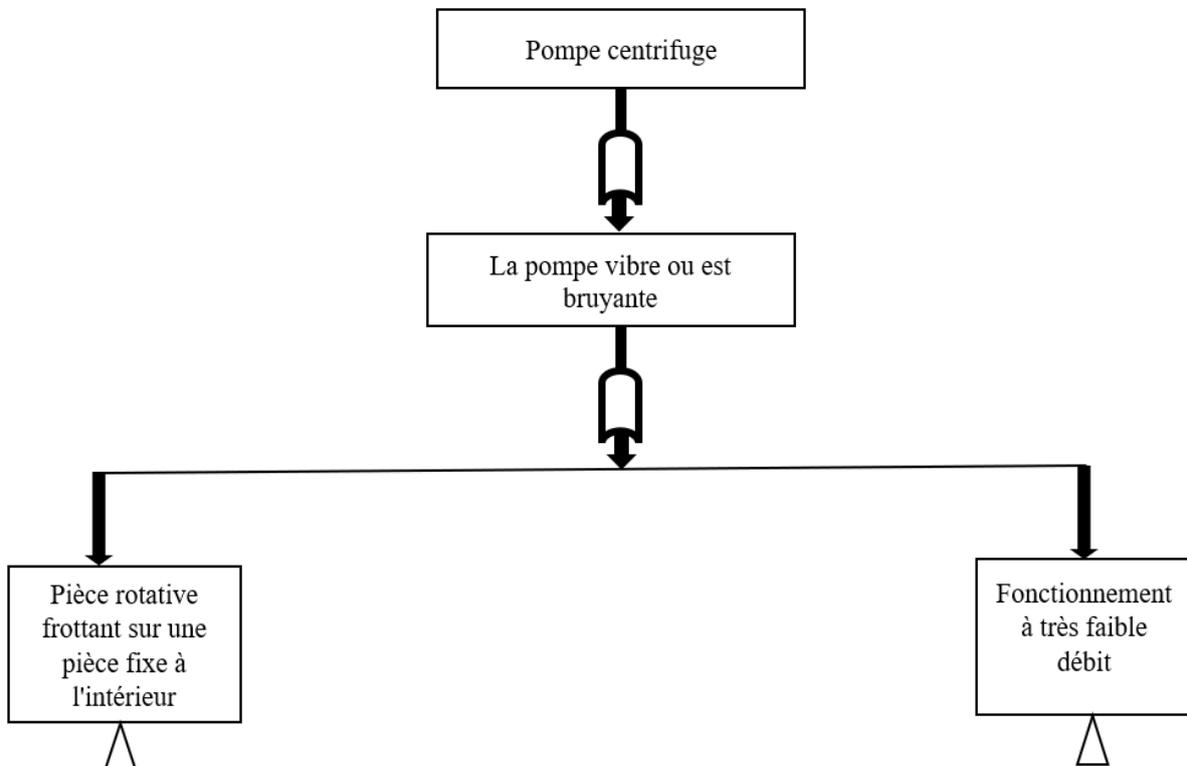


Figure IV.9. Arbre de défaillance du mode « La pompe vibre ou est bruyante »

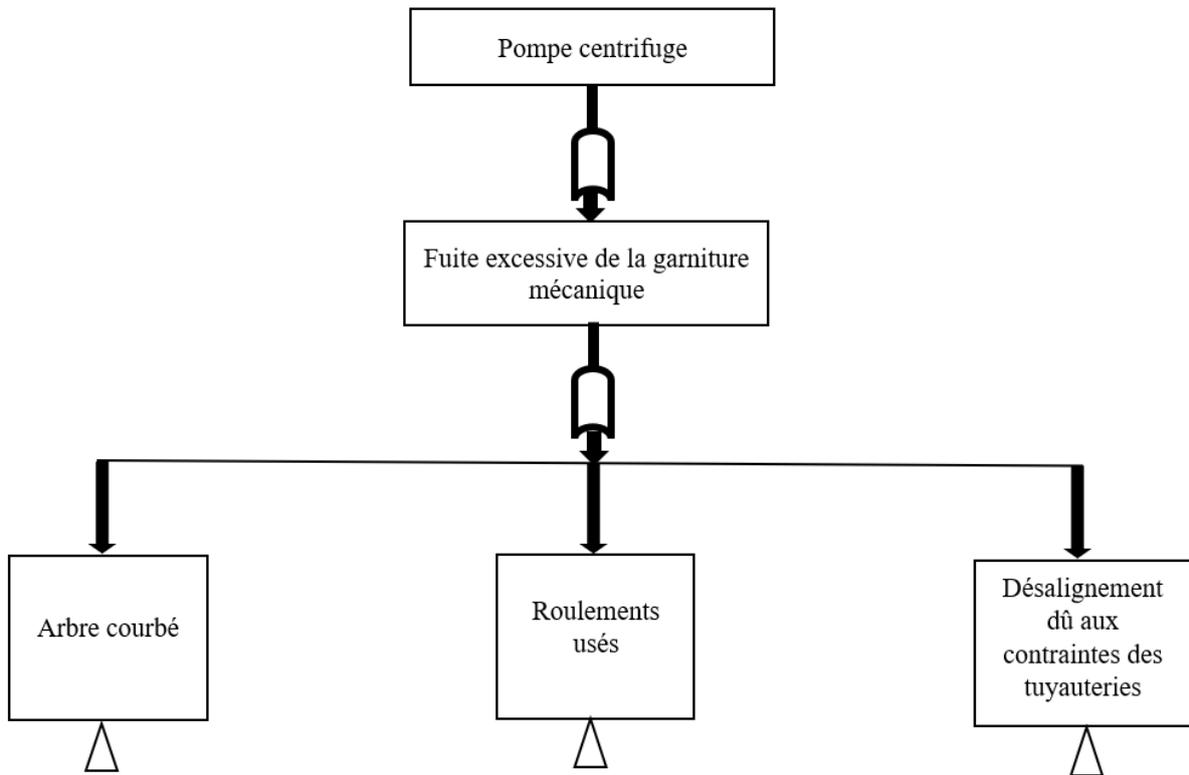


Figure IV.10. Arbre de défaillance du mode « Fuite excessive de la garniture mécanique »

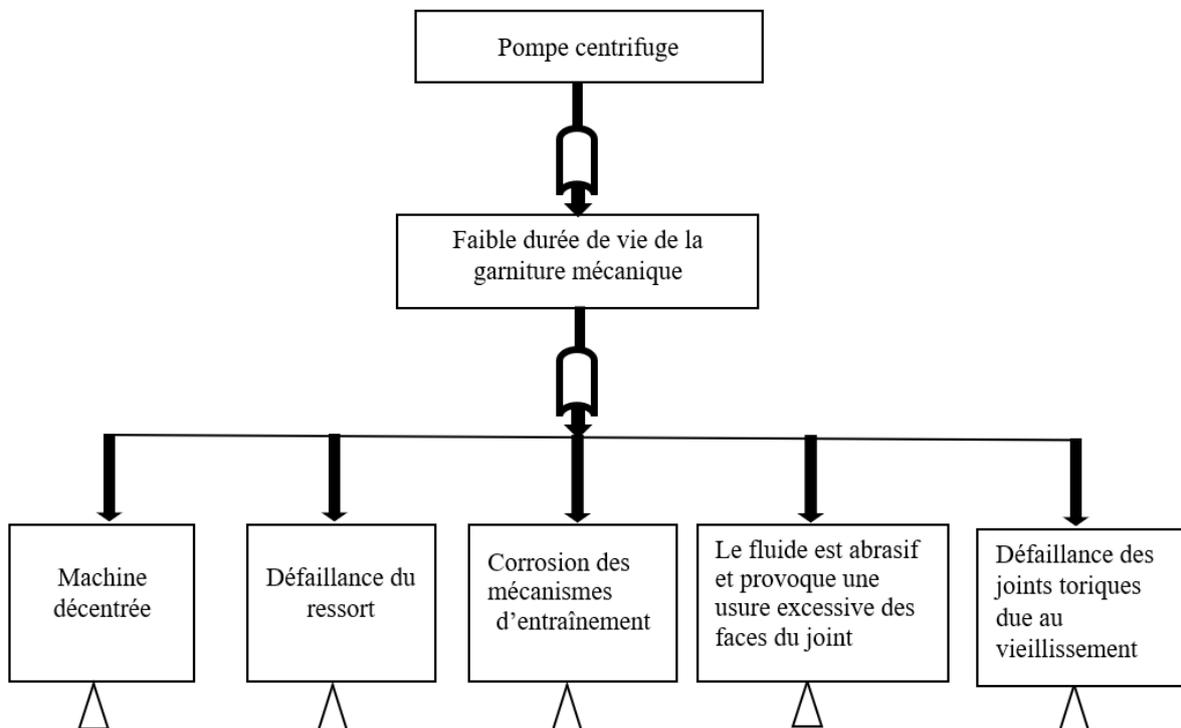


Figure IV.11. Arbre de défaillance du mode « Faible durée de vie de la garniture mécanique »

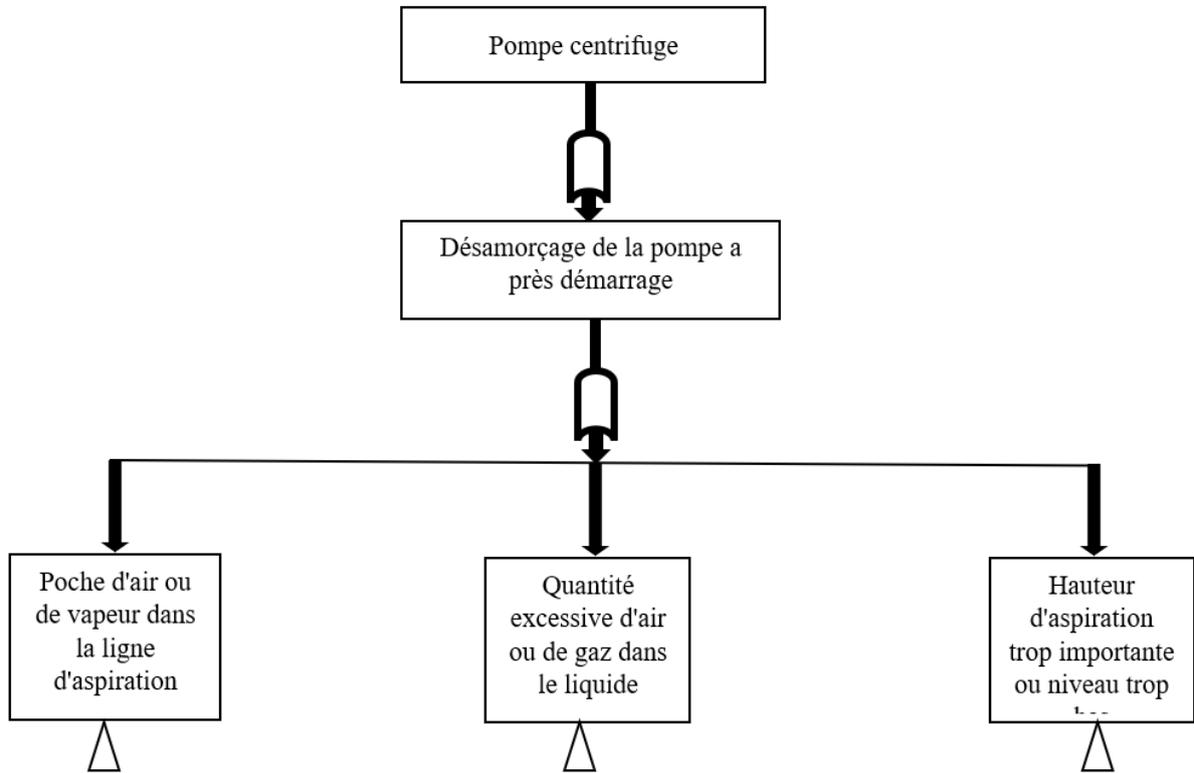


Figure IV.12. Arbre de défaillance du mode « Désamorçage de la pompe a près démarrage »

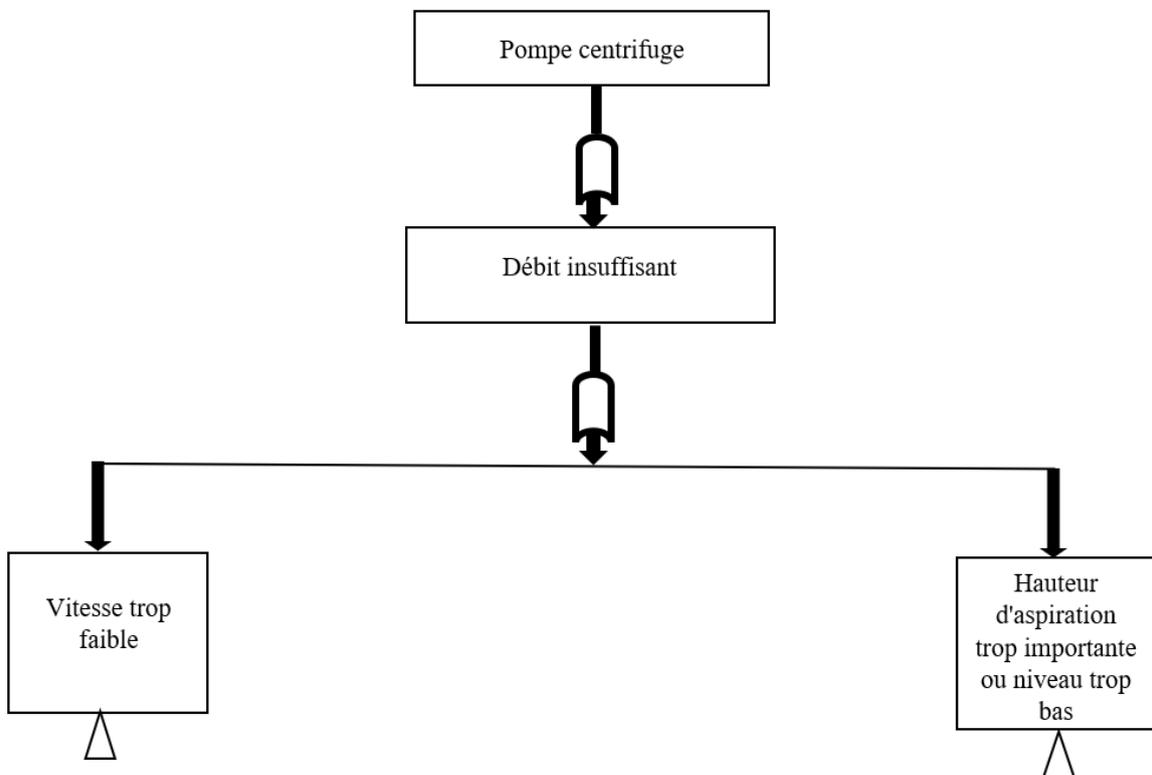


Figure IV.13. Arbre de défaillance du mode « Débit insuffisant »

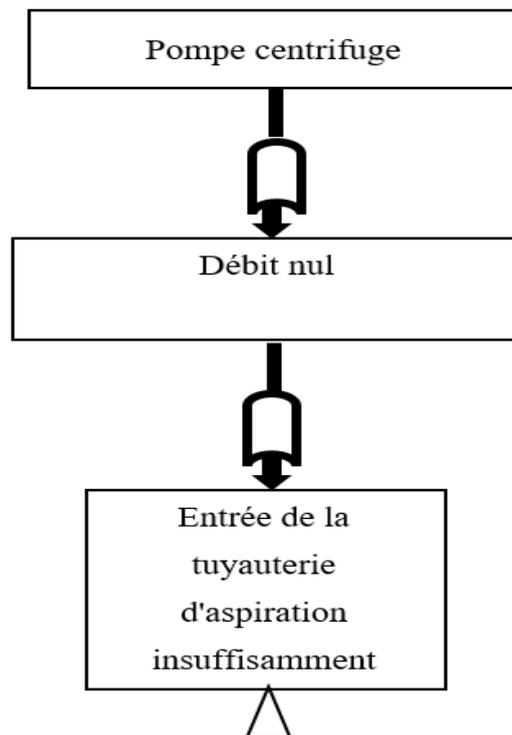


Figure IV.14. Arbre de défaillance du mode « Débit nul »

IV.6. Exemple de l'AMDEC :

L'analyse AMDEC (Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité) est un outil précieux pour une étude 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'une pompe centrifuge.[18]

		Étude : Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leurs Criticité				Responsable :				
		Secteur : Pompe centrifuge				Unité maintenance : Atelier Mécanique				
Matériels		Caractéristique de défaillance				Criticité			Résultat de défaillance	
Sous-système	Élément	Fonction	Mode de défaillance	Cause de défaillance	Effet de défaillance	G	F	D	C	Actions
100-PM113A/B/C	Base de pompe	Fixation de la pompe	Vibrations	Base mal fixée	Bruit de fonctionnement	1	2	1	2	
	Roue	Donner une vitesse au liquide		<ul style="list-style-type: none"> Ouïes de la roue usées Ouïes bouchées Rotation dans le mauvais sens 	<ul style="list-style-type: none"> Diminution de débit Arrêt de la pompe 	4	3	3	36	Maintenance corrective et Remise en cause complète de la conception « Changement de la roue »
	Boîte à garniture	Protéger la garniture de la pompe	<ul style="list-style-type: none"> Fuite excessive Surchauffement 	<ul style="list-style-type: none"> presse garniture mal-fixé ou trop serrée extrémités de garniture non chevauchées Usure de la garniture 	Usure de garniture	4	2	3	24	Maintenance préventive conditionnelle « Changement des Boîtes à garnitures »
	Graisseur à huile à niveau constant	Lubrifier les paliers	Suintement d'huile au niveau de fixations filetées	Variation de pression à l'intérieur	Cassure d'arbre	3	1	1	3	
	Écrou	Blocage de la roue	Desserrage de la roue	Le mouvement de rotation de la roue	<ul style="list-style-type: none"> Vibration de la roue Bruit de fonctionnement 	4	1	1	4	

Bague d'étanchéité	Ne laisse pas passer l'huile	Fuite d'huile	Consommation des bagues d'étanchéité	Débit insuffisant	2	3	4	16	Maintenance préventive systématique « Changement de la bague d'étanchéité »
Jauge du niveau d'huile	Mesure le niveau d'huile ainsi que sa température en continu (en statique et en dynamique)	Fuite d'huile	Dépassement du niveau maximum d'huile	Arrêt de la pompe	1	2	1	2	
paliers	Supporter et guider en rotation l'arbre de transmission	Surchauffement des roulements	<ul style="list-style-type: none"> déformation de l'arbre coincement des éléments rotatif lubrification insuffisante des paliers Mauvais type d'huile 	<ul style="list-style-type: none"> Usure d'arbre de pompe Bruit de fonctionnement 	3	2	2	12	Maintenance préventive systématique « Changement des roulements (arrière et avant) »
Clapet anti-retour	Il permet le passage de l'huile dans un seul sens	La pompe tourne mais aucune huile n'est évacuée	<ul style="list-style-type: none"> clapet monté en inverse clapet coincé 	Arrêt manuelle de la pompe	3	2	1	6	Changement du clapet anti-retour
Vanne	Distribuer ou	Blocage	Pas de commande	Arrêt d'alimentation d'huile	1	1	1	1	Maintenance préventive systématique

		interrompre le passage du fluide								
Manomètre	Informer sur le niveau de la pression d'huile	Dépassement d'échelle				1	1	1	1	
Citerne de stockage	Permet la protection d'huile et le refroidissement	Augmentation de la température des parois	<ul style="list-style-type: none"> mauvaise aération mauvaise isolation 	Présence de vapeur		1	1	1	1	
Orifice	Diriger le liquide vers l'entrée de la roue	<ul style="list-style-type: none"> Échauffement de l'orifice Bruit 	<ul style="list-style-type: none"> Évaporation du liquide Variation de pression Présence des corps étrangers 	<ul style="list-style-type: none"> Implosion de l'orifice Érosion 		2	1	1	2	
Coude	Réduit les parties de charge	Endommagement de la turbine	Défaut au niveau du montage du coude (air qui entre)	Désamorçage de la pompe		3	1	2	6	
Crépine-clapet anti-retour	Éviter le passage d'éléments solide	<ul style="list-style-type: none"> Détérioration Crépine bouchée 	Présence d'éléments solides dans le fluide	<ul style="list-style-type: none"> Mauvaise filtration du liquide Usure pompe 		4	2	2	16	Maintenance préventive systématique
Tube	Conduire l'aspiration	<ul style="list-style-type: none"> Bruits Vibration 	Formation de vapeur à	Cavitation		4	1	2	8	

		d'huile vers l'orifice d'aspiration		l'intérieur de la pompe • Poche d'air dans les tubes						
	Accouplement	Permet l'entraînement en rotation un élément récepteur à partie d'un élément moteur	Fragmentation	Durée de vie expirée	Arrêt de la pompe	4	2	3	24	Maintenance préventive conditionnelle

Tab VI.4. Grille AMDEC du 100-PM113A/B/C

IV.6.1. Synthèse ou évaluation de la criticité :

A partir du (Tableau IV.4) Grille de l'AMDEC de la pompe 100-PM113, on a hiérarchisé les défaillances selon le seuil de criticité, les éléments dont la criticité atteint le seuil qui demande des actions correctives, ainsi ceux qui ont la gravité et la fréquence entre 1 et 3 doivent entraîner une action corrective de conception, même si la criticité n'atteint pas le seuil fixé.

Niveau de criticité	Éléments	Criticité	Action corrective
1<C<10	Base de pompe	2	Aucune modification de conception
	Graisser à huile à niveau constant	3	
	Écrou	4	
	Jauge du niveau d'huile	2	
	Clapet anti-retour	6	
	Orifice	2	
	Tube	8	
	Coud	6	
10<C<20	Bague d'étanchéité	16	Maintenance préventive systématique
	Paliers	12	
	Crépine-clapet anti-retour	16	
20<C<30	Boîte à garniture	24	Maintenance préventive conditionnelle
	Accouplement	24	
c>30	Roue	36	Remise en cause complète de la conception

Tableau IV.5. Evaluation de la criticité du la pompe centrifuge 100-PM113

IV.7. Programme de maintenance de la pompe centrifuge 100-PM113 :

Ces pompes ont été conçues pour simplifier l'entretien et pour rendre le service facile.

La maintenance préventive et les révisions avant que des troubles graves se produisent permettront de réduire les coûts d'exploitation.

La section suivante décrit les différentes étapes nécessaires à l'enlèvement et le remplacement de toutes les pièces. Si une révision est nécessaire, suivez attentivement les instructions spécifiques.

IV.7.1. Entretien courant :

Ce calendrier n'est qu'une recommandation et est destiné à être modifié par l'expérience sur le site des conditions en vigueur.

	Pièces
Quotidien	<ul style="list-style-type: none"> -Vérifier les mesures de l'aspiration et de décharger. -Vérifier les conditions de fonctionnement anormales (la température haute-basse, écoulements, vibration, pression, etc...). -Vérifier la puissance du moteur. -Vérifier la fuite des garnitures, des joints... -Vérifier tous les niveaux de lubrifiant c.-à-d. le logement des roulements, circuits d'alimentation lubrifiant/garniture. -Vérifier l'écoulement libre du circuit de refroidissement. - Vérifier que la pompe en stand-by est disponible pour le démarrage
Hebdomadaire	<ul style="list-style-type: none"> -Vérifier l'unité des vibrations. -Examiner la notation d'opérateurs pour la perte de performance de d'unité.
Mensuel	<ul style="list-style-type: none"> -Vérifier la contamination de lubrifiant par analyse d'échantillon. -Vérifier toutes les peintures ou enduits protecteurs. -Examiner toutes les glandes de câble de power/instrument pour assurer l'étanchéité.
6 mois	<ul style="list-style-type: none"> -Changer les lubrifiants. -Examiner la base fixant, en se boulonnant, en jointoyant pour déceler le relâchement, fendre ou la détresse générale. -Vérifier l'alignement d'unité.
Annuellement	<ul style="list-style-type: none"> -Examiner les dents ou les disques d'accouplement pour déceler l'usage -Inspecter les roulements et nettoyer les logements des roulements. -Vérifier le calibrage des instruments
3 années	<ul style="list-style-type: none"> -Examiner l'état interne de la pompe et toute la canalisation auxiliaire pour contrôler la corrosion et l'érosion. -Examiner les composants internes de pompe pour déceler l'usage.

Tableau IV.6. Entretien courant des pompes 100-PM-113A/B/C

Lorsque l'installation est nouvelle, un essai des pompes doit être mené avec des jauges calibrées pour déterminer les valeurs de la tête du système pour des capacités connues,

fournissant ainsi des informations pour une utilisation en contrôle des performances à lieu. Ces données se révéleront précieuses pour déterminer les calendriers d'entretien et dans le choix des pièces de rechange à garder à portée de main à une date ultérieure.

IV.7.2. Révisions complètes :

La fréquence d'une révision complète dépend des heures de fonctionnement de la pompe, la sévérité des conditions et l'entretien de la pompe en fonction.

Il n'est pas nécessaire d'ouvrir la pompe pour l'inspection à moins qu'il y ait d'évidence définie que la capacité a tombée excessivement ou à moins qu'il y ait indication d'ennui à l'intérieur de la pompe ou dans les paliers.

Avant d'effectuer le démontage, l'entretien et / ou de l'inspection de l'appareil, les étapes suivantes doivent être prises et mises en garde respectées.

- Étiqueter les commandes de conducteur en position de "off".
- Isolement de la pompe : Avant d'essayer de démonter la pompe, la pompe doit être isolée dans le système, en fermant les vannes de système d'aspiration et d'évacuation, être vidangée de liquide et refroidir.
- Vidanger l'huile de lubrification.

IV.8. CONCLUSION :

Après l'analyse quantitative faite précédemment, nous avons préféré, pour mieux cerner l'ensemble des problèmes des pompes, d'aborder une analyse qualitative sur notre système faite essentiellement par les techniques et les méthodes les plus connues dans le monde de la maintenance, à savoir l'analyse des risques de défaillances par l'AMDEC et l'APR ainsi que l'analyse fonctionnelle et l'arbre de défaillance pour chaque sous-ensemble de la pompe centrifuge. Ces méthodes ont permis de mettre en évidence tous les scénarios de défaillances potentielles de la pompe centrifuge ainsi que les remèdes possibles et les démarches de la maintenance proposées.

Conclusion générale

Suite à un stage pratique, au sein de la RA2K Topping de condensat de Skikda et dans le cadre de notre projet de fin d'études, nous avons réalisé une étude de fiabilité faite essentiellement à partir d'un historique de pannes, de trois **pompes centrifuges**, fourni par le service maintenance du complexe.

L'application du questionnaire de **Lavina**, nous a permis de déceler certaines faiblesses au niveau de la politique de maintenance adoptée par les responsables de la **RA2K** pour lesquelles nous avons suggéré quelques propositions afin d'améliorer le rendement du service maintenance.

En partant de l'historique de pannes, des trois pompes centrifuges désignées par 100PM113A/B et C, enregistré depuis leur mise en service janvier 2012, nous avons abordé une étude quantitative de l'historique par l'application, dans un premier temps, de la méthode ABC de Pareto. Cette dernière a été utilisée dans le but de trouver les actions prioritaires des interventions des agents de la maintenance que ce soit préventive ou curative.

Dans un deuxième temps, la quantification de l'historique par l'application du modèle de Weibull. Ce dernier reconnu par sa modélisation des trois phases de vie d'un équipement. A partir des valeurs du facteur de forme β (paramètre de Weibull) trouvées, pour l'ensemble des pompes (supérieur à un), il a été tout à fait clair de déduire que ces dernières se situent dans la phase de vie de vieillesse (le taux de défaillance est croissant, cette période correspond à une dégradation irréversible des caractéristiques du matériel, d'où une usure progressive).

Cette période de vieillissement qui comporte la majorité de la vie du système, est caractérisée par une augmentation progressive du taux de défaillance, dont les pièces mécaniques (arbre, roue à aubes, garnitures...Etc.) sont soumises à des phénomènes de vieillissement multiples qui peuvent agir en combinaison : corrosion, usure, déformation, fatigue, et finalement perte de résilience ou fragilisation. Cette phase de vie est généralement modélisée par des lois de probabilité telle que la loi que nous avons employé celle de **Weibull**.

Etant donné que la remontée du taux de défaillance, avec l'âge, n'est pas toujours systématique, c'est pourquoi, les techniciens et les ingénieurs de la maintenance concentrent leurs efforts sur la maintenance systématique préventive conditionnelle afin de prévenir les défaillances de vieillesse. A cet effet, nous avons réalisé une étude qualitative des pompes centrifuges par le biais de trois techniques de prévention des défaillances qui sont l'arbre de défaillances, l'analyse préliminaire des risques (APR) et l'analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité (AMDEC).

Ces méthodes précieuses nous ont aidés à identifier les modes de défaillances des principaux organes de pompes (arbre, roue à aubes, bagues d'étanchéité et différents paliers...etc) tout en évaluant leur criticité sur la sûreté de fonctionnement.

A l'issue des études quantitative et qualitative faites dans le cadre de notre travail de mémoire et afin d'augmenter le temps de bon fonctionnement et par conséquent réduire les

Conclusion générale

temps d'arrêt, un planning de maintenance a été proposé, à la fin, comme partie complémentaire à ces analyses.

Comme conclusion finale, nous pouvons dire que pour augmenter la fiabilité qui donne la possibilité de réduire les temps d'arrêts, l'indisponibilité et les coûts de maintenance il faut concentrer l'ensemble des efforts afin de concrétiser une meilleure organisation de la maintenance. Pour cela des enjeux majeurs doivent être prisent en compte dans la totalité de la gestion de ce système.

Ces enjeux peuvent être résumés comme suit :

- Augmentation de la disponibilité des systèmes (diminution des arrêts imprévus meilleures temps techniques de réparation).
- Optimisation des interventions pendant les arrêts programmés,
- Meilleure surveillance des systèmes (exemple : création des tâches de surveillance).
- Enjeu d'amélioration de l'organisation de maintenance :
- Rapprochement de l'exploitation et de la maintenance,
- Motivation du personnel et adhésion pour le travail en équipe.

Références bibliographiques

- [1] M.Ayachi Ammar, Etude analytique et amélioration FMD des pompes centrifuge procès 100-PM-114A/B, Projet professionnel de fin formation, Institut Algérien du pétrole Ecole de Boumerdes, Avril 2017.
- [2] Bekhouche Manel et Louahem Amina, Phénomène de corrosion dans les condenseurs, Mémoire de fin d'étude, Ecole Nationale Supérieure des Mines et Métallurgie ENSMM Annaba, Juin 2015.
- [3] H. El Hadaf et M. Tkiouat, L'audit de la maintenance : Application à la centrale thermique Mohammadia de l'ONE, Conférence Francophone de Modélisation et Simulation, Rabat-Maroc du 3 au 5 Avril 2006.
- [4] Yves Lavina, Audit de la fonction maintenance, 2005.
- [5] Djebala Abderrazak, Cours de la maintenance des systèmes électromécaniques, 3ème année Licence Electromécanique, Université de Guelma, 2017.
- [7] Hassini Brahim, Etude qualitative et quantitative des scenarios de défaillance de la pompe 2000 P de l'entre prise CERTAF, Mémoire de fin d'étude master, Université Aboubekr Belkaid-Telmcen, 2013-2014.
- [8] D. Bounie, Les méthodes d'analyse de risques, Polytech'Lille-IALL, L'usine agro-alimentaire.
- [9] 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.
- [10] Mehimdat Mohammed Salah et Touati Saif, Analyse qualitative et quantitative des risques de défaillances d'un système de compresseur de gaz à l'entreprise SONATRACH-DP-TFT, Mémoire de fin d'étude Master, Université Guelma, 2018-2019.
- [11] Djamel Frihi, Cours maintenance industrielle, Université Guelma, 2018-2019.
- [12] Kadi Mohammed et Gana Djamel Eddine, Etude et amélioration FMD d'une motopompe centrifuge, Projet de fin d'étude Master Professionnel, Université kasdi merbah-Ouargla, 2013-2014.
- [13] Belouadah Abdenaceur, Amélioration de la fiabilité d'un système électromécanique par l'utilisation des opérations de la maintenance préventive, Mémoire de fin d'étude Master, Université Mohamed Boudiaf de M'sila, 2015-2016.
- [14] Djebala Abderrazak, Cours Diagnostic et surveillance, Université de Guelma,2017.
- [15] Ouelaa Nouredine, Etude et installation d'une politique de maintenance et de sécurité industrielle pour la surveillance des machines tournantes, Bilan final des activités du projet PNR, Université de Guelma, Octobre 2013.
- [16] Fiche technique du logiciel FAIBOPTIM.

Références bibliographiques

[17] Moumene Salah Eddine, Etude et maintenance des pompes centrifuges industrielles, Projet de fin d'étude Master, Université Badji Mokhtar-Annaba, 2009.

[18] Zouambia Oussama et Bouzar Dilmi sif El Hak, Etude technique et théorique de compresseur BCL 406, Rapport de stage, Université de boumerdes, 2010.

Site internet :

[6] <https://fr.slideshare.net/Gennaotechnology/52-lesniveauxdemaintenance>.

Annexes

Annexe A :

N	Niveau significatif				
	0,2	0,15	0,1	0,05	0,01
1	0,900	0,925	0,950	0,975	0,995
2	0,684	0,726	0,776	0,842	0,929
3	0,565	0,597	0,642	0,708	0,828
4	0,494	0,525	0,564	0,624	0,733
5	0,446	0,474	0,510	0,565	0,669
6	0,410	0,436	0,470	0,521	0,618
7	0,381	0,405	0,438	0,486	0,577
8	0,358	0,381	0,411	0,457	0,543
9	0,339	0,360	0,388	0,432	0,514
10	0,322	0,342	0,368	0,410	0,490
11	0,307	0,326	0,352	0,391	0,468
12	0,295	0,313	0,338	0,375	0,450
13	0,284	0,302	0,325	0,361	0,433
14	0,274	0,292	0,314	0,349	0,418
15	0,266	0,283	0,304	0,338	0,404
16	0,252	0,274	0,295	0,328	0,392
17	0,250	0,266	0,286	0,318	0,381
18	0,244	0,259	0,278	0,309	0,371
19	0,237	0,252	0,272	0,301	0,363
20	0,231	0,246	0,264	0,294	0,356
25	0,210	0,220	0,240	0,270	0,320
30	0,190	0,200	0,220	0,240	0,290
35	0,180	0,190	0,210	0,230	0,270
>35	$\frac{1,07}{\sqrt{N}}$	$\frac{1,22}{\sqrt{N}}$	$\frac{0,188}{\sqrt{N}}$	$\frac{1,36}{\sqrt{N}}$	$\frac{1,63}{\sqrt{N}}$

Annexe A. Tableau de loi Kolmogorov-Smirnov

Annexes

Annexe B :

β	A	B	β	A	B	β	A	B
0,2	120	1 901	1,5	0,9027	0,613	4	0,9064	0,254
0,25	24	199	1,55	0,8994	0,593	4,1	0,9077	0,249
0,3	92,625	50,08	1,6	0,8966	0,574	4,2	0,9086	0,244
0,35	5,291	19,98	1,65	0,8942	0,556	4,3	0,9102	0,239
0,4	33,234	10,44	1,7	0,8922	0,54	4,4	0,9146	0,235
0,45	24,686	6,46	1,75	0,8906	0,525	4,5	0,9125	0,23
0,5	2	4,47	1,8	0,8893	0,511	4,6	0,9137	0,226
0,55	17,024	3,35	1,85	0,8882	0,498	4,7	0,9149	0,222
0,6	1,546	2,65	1,9	0,8874	0,486	4,8	0,916	0,218
0,65	13,663	2,18	1,95	0,8867	0,474	4,9	0,9171	0,214
0,7	12,638	1,85	2	0,8862	0,463	5	0,9162	0,21
0,75	11,906	1,61	2,1	0,8857	0,443	5,1	0,9192	0,207
0,8	1,133	1,43	2,2	0,8856	0,425	5,2	0,9202	0,203
0,85	1,088	1,29	2,3	0,8859	0,409	5,3	0,9213	0,2
0,9	10,522	1,17	2,4	0,8865	0,393	5,4	0,9222	0,197
0,95	1,0234	1,08	2,5	0,8873	0,38	5,5	0,9232	0,194
1	1	1	2,6	0,8882	0,367	5,6	0,9241	0,191
1,05	0,9803	0,934	2,7	0,8893	0,355	5,7	0,9251	0,186
1,1	0,9649	0,878	2,8	0,8905	0,344	5,8	0,926	0,165
1,15	0,9517	0,83	2,9	0,8919	0,334	5,9	0,9269	0,183
1,2	0,9407	0,787	3	0,893	0,316	6	0,9277	0,18
1,25	0,99314	0,75	3,1	0,8943	0,325	6,1	0,9266	0,177
1,3	0,9236	0,716	3,2	0,8957	0,307	6,2	0,9294	0,175
1,35	0,917	0,667	3,3	0,897	0,299	6,3	0,9302	0,172
1,4	0,9114	0,66	3,4	0,8984	0,292	6,4	0,931	0,17
1,45	0,9067	0,635	3,5	0,8997	0,285	6,5	0,9316	0,168
1,5	0,9027	0,613	3,6	0,9011	0,278	6,6	0,9325	0,166
1,55	0,8994	0,593	3,7	0,9025	0,272	6,7	0,9335	0,163
1,6	0,8966	0,574	3,8	0,9083	0,266	6,8	0,934	0,161
1,65	0,8942	0,556	3,9	0,9051	0,26	6,9	0,9347	0,15

Annexe B. Les valeurs des coefficients A et B en fonction du paramètre de forme