

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

Réf :/2022



MEMOIRE

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

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : Electromécanique

Spécialité : Electromécanique

Par : Moncef BOUCHEMAL

Thème

**Amélioration d'une politique de maintenance en milieu industriel par application d'une approche évaluative
Cas de la raffinerie SONATRACH RA2K Skikda**

Soutenu publiquement, le 15/06 /2022, devant le jury composé de :

M. DJEBALA Abderrazek	Professeur	Univ.Guelma	Président, Encadreur
M. FRIHI Djamel	MCA	Univ.Guelma	Co-Encadreur
Mme BOUCERREDJ Leila	MCA	Univ.Guelma	Examineur
Mme FRIOUI Nadia	MCB	Univ.Guelma	Examineur

Année Universitaire : 2021/2022

Dédicace

Quoi de plus que de pouvoir partager les meilleurs moments de sa vie avec les êtres que l'on aime.

Arrivé à terme de mes études, j'ai le grand plaisir de dédier ce modeste travail à :

- ❖ Mes chers parents.*
 - ❖ Mon cher frère.*
 - ❖ Mes chers collègues.*
 - ❖ Toute ma grande famille.*
- ❖ Tous mes amis chacun à son nom se reconnaîtront,
Ceux qui ne se reconnaîtront pas ... merci quand même.*

*« Quand il y a une volonté,
il y a un chemin.*

Pas de bon vent pour celui qui ne sait pas où il va ! »

Moncef

Remerciements

En premier lieu, je tiens à remercier notre Dieu, notre créateur, pour le courage et la patience qu'il nous a donné pour accomplir ce travail.

Je voudrai exprimer ma profonde gratitude envers mon encadreur

Mr. DJEBALA Abderrazek

Pour son énorme aide et sa contribution tout au long de l'élaboration de ce travail.

Je voudrai exprimer mes plus vifs remerciements à tous les enseignants du département de Génie Electrotechnique et Automatique qui ont contribué à notre formation.

Je les présente aussi aux responsables de la division de raffinage du complexe RA2K de Skikda et particulièrement aux personnels du département maintenance, technique, production ainsi que ma responsable de stage

Mme BOULASSEL Fatiha

Mes ultimes remerciements et ce ne sont pas les moindres, vont à

Mr. Jean-Paul SOURIS et Mme. Fatiha LAOUNI

Pour les précieux documents et conseils.

A tous ceux que nous n'avons pas cités, et qui nous ont aidé de près ou de loin reçoivent nos sincères remerciements.

En fin, notre profonde gratitude aux membres du jury qui vont juger ce travail.

Moncef

Résumé

L'objectif principal de ce mémoire porte sur l'application de la méthode OMF (Optimisation de la Maintenance par la Fiabilité), pour optimiser la sûreté de fonctionnement et améliorer la fiabilité d'un système de pompage dans le complexe industriel RA2K.

Tout d'abord, nous avons procédé à une première classification des installations industrielles de l'entreprise basée sur la criticité, pour ne retenir que deux pompes parmi les cinq présentes. Une deuxième classification sur la base des graphes de Pareto a été entamée pour une amélioration de la fiabilité, de la maintenabilité et de la disponibilité.

La deuxième approche consiste à l'optimisation de la sûreté de fonctionnement pour améliorer un système de pompage dans le complexe industriel par deux méthodes d'analyse des risques différentes : la première est l'AMDEC et la deuxième méthode est le HAZOP.

Le travail a abouti à cibler les éléments critiques et les politiques de maintenance adéquates. Le travail peut éventuellement être généralisé aux autres installations de l'entreprise classées importantes.

Mot clés : AMDEC ; HAZOP ; APR ; analyse fiabiliste ; audit maintenance ; politique de maintenance ; raffinage ; condensat ; préfractionnement ; optimisation fiabilité.

Abstract

The main objective of this thesis concerns the application of the OMF method (Optimization of Maintenance through Reliability), to optimize the operational safety and improve the reliability of a pumping system in the RA2K industrial complex.

First, an initial classification of the most important installations based on criticality is carried out to retain only two pumps among the five present. A second classification based on Pareto graphs has been initiated to improve reliability, maintainability and availability.

The second approach consists in the optimization of the operational safety to improve a pumping system in the industrial complex by two different risk analysis methods: the first is FMECA and the second method is HAZOP.

The work resulted in targeting the critical elements and the appropriate maintenance policies. The work may possibly be generalized to the other installations of the company classified as important.

Keywords: FMEA; HAZOP; PRA; reliability analysis; maintenance audit; maintenance policy; refining; condensate; pre-splitting; reliability optimization.

ملخص

يتعلق الهدف الرئيسي لهذه الأطروحة بتطبيق طريقة OMF (تحسين الصيانة من خلال الموثوقية)، لتحسين السلامة التشغيلية وتحسين موثوقية نظام الضخ في المجمع الصناعي RA2K.

أولاً، أجرينا تصنيفاً أولياً للمرافق الصناعية للشركة بناءً على الأهمية الحيوية، للاحتفاظ بمضختين فقط من بين المضختين الخمسة الحالية. تم البدء في تصنيف ثانٍ يعتمد على الرسوم البيانية باريتو لتحسين الموثوقية وقابلية الصيانة والتوافر.

تتمثل الطريقة الثانية في تحسين السلامة التشغيلية لتحسين نظام الضخ في المجمع الصناعي من خلال طريقتين مختلفتين لتحليل المخاطر: الأولى هي FMECA والطريقة الثانية هي HAZOP.

نتج عن العمل استهداف العناصر الحاسمة وسياسات الصيانة المناسبة. قد يتم تعميم العمل على التركيبات الأخرى للشركة المصنفة على أنها مهمة.

الكلمات الرئيسية: FMEA؛ HAZOP؛ APR؛ تحليل الموثوقية؛ تدقيق الصيانة سياسة الصيانة تكرير. مكثف. التقسيم المسبق تحسين الموثوقية.

Sommaire

Introduction générale.....	01
-----------------------------------	-----------

Chapitre I : Politique de maintenance et sûreté de fonctionnement

1. Introduction.....	03
2. Notions sur la maintenance des systèmes industriels	03
2.1. Définition de la maintenance.....	03
2.2. Objectifs fondamentaux de la maintenance	03
2.3. Types de maintenance	04
2.3.1. La maintenance corrective.....	04
2.3.2. La maintenance préventive.....	05
3. Politique de maintenance.....	06
3.1. Définition.....	06
3.2. Intégration d'une politique de maintenance.....	06
3.2.1. Concevoir un plan de maintenance préventif.....	06
3.2.2. Le contenu du plan de maintenance préventif.....	07
3.3. Stratégie de maintenance.....	08
4. Optimisation d'une politique de maintenance.....	08
4.1. Les dix thèmes clés de l'évaluation.....	08
4.2. Les questionnaires.....	09
4.3. Présentation des questionnaires.....	09
5. Sûreté de fonctionnement des systèmes de production	11
5.1. Historique de la sûreté de fonctionnement.....	11
5.2. Eléments constitutifs de la sûreté de fonctionnement.....	12
5.3. Techniques de sûreté de fonctionnement.....	13
5.3.1. La méthode de l'industrie aéronautique MSG-3.....	13
5.3.2. La maintenance basée sur la fiabilité RCM/MBF.....	13
5.3.3. Optimisation de la maintenance par la fiabilité (OMF).....	15
6. Conclusion du chapitre.....	17

Chapitre II : Optimisation de la fonction maintenance par application d'une approche évaluative

1. Présentation générale du complexe Topping (RA2K).....	18
1.1. Historique du complexe Topping (RA2K).....	18
1.2. Localisation géographique du site.....	19
1.3. Conception générale du site.....	20
1.4. Organisation structurale du complexe Topping (RA2K).....	21
1.5. Organisation de la maintenance.....	21
1.5.1. Modèle de structure.....	22
2. Evaluation de la maintenance.....	25
2.1. Réponses des questionnaires.....	25
2.2. Résultats et interprétations.....	35
2.3. Critiques et propositions.....	37
3. Conclusion du chapitre.....	39

Chapitre III Optimisation de la sûreté de fonctionnement des installations industrielles de l'unité 100 du complexe RA2K Skikda

Partie 1 : Etude fiabiliste

1. Introduction	40
2. Présentation de l'unité 100	40
2.1. Section de la colonne de préfractionnement (100-T101).....	42
2.1.1. Colonne de préfractionnement.....	42
2.1.2. Contrôle du procédé.....	43
2.1.3. Stripper du préfractionnement.....	43
2.1.4. Contrôle du procédé.....	43
2.1.5. Le rebouilleur de la colonne de préfractionnement.....	44
2.1.6. Four atmosphérique.....	44
3. Choix de l'installation critique	45
3.1. Choix basé sur l'approche ESQPL.....	45
3.2. Choix basé sur l'utilisation des graphes de Pareto.....	45
4. Etude de fiabilité de la pompe 106	49
4.1. Définition de la fiabilité.....	49
4.2. Expressions mathématiques de la fiabilité.....	49
4.3. Modèles de fiabilité : Modèle de Weibull.....	51
4.3.1. Principe.....	51
4.3.2. Expressions des lois de fiabilité selon le modèle de Weibull.....	52
4.3.3. Détermination des paramètres de Weibull.....	52
4.4. Etude de la fiabilité de la motopompe 106.....	53
4.4.1. Présentation du logiciel FAIBOPTIM.....	53
4.4.2. Présentations des données et des résultats obtenus.....	53
4.4.2.1. Pompe PM-106 A.....	53
4.4.2.2. Pompe PM-106 B.....	57
4.4.3. Calcul de la fiabilité du système entier par application de la technique des redondances.....	60
4.4.3.1. Redondance active.....	60
4.4.3.2. Redondance passive (stand-by).....	61
4.4.3.3. Application au système étudié : ensemble pompe 106A et 106B.....	62
5. Conclusion du chapitre	64

CHAPITRE IV Optimisation de la sûreté de fonctionnement des installations industrielles de l'unité 100 du complexe RA2K Skikda

Partie 2 : Evaluation des risques

1. Introduction	65
2. La méthode AMDEC	65
2.1. Présentation.....	65
2.2. Définition.....	65
2.2.1. La matrice.....	65
2.2.2. Les composants.....	66
2.2.3. Les fonctions.....	66

2.2.4. Les défaillances.....	66
2.2.5. Les critères.....	68
3. Analyse fonctionnelle.....	70
3.1. Définition.....	70
4. Application de la méthode AMDEC aux P-106A/B.....	71
4.1. Descriptif du système de la P-106A/B.....	71
4.2. Décomposition du système.....	72
4.3. L'analyse du système.....	73
4.4. Conclusions et recommandations.....	80
5. Conclusion du chapitre.....	81
 Conclusion générale.....	 82

Liste des figures

Figure 1.1 : Les deux types de la maintenance corrective	05
Figure 1.2 : Types de la maintenance préventive	05
Figure 1.3 : Les quatre sources d'information.....	06
Figure 1.4 : Diagramme de Kiviat.....	10
Figure 1.5 : Processus d'amélioration continue.....	11
Figure 1.6 : Eléments constitutifs de la sûreté de fonctionnement.....	12
Figure 1.7: Les acteurs de la méthode MBF.....	14
Figure 1.8 Les quatre étapes principales de la démarche MBF.....	15
Figure 1.9 : la méthode OMF.....	16
Figure 2.1 : Situation du complexe Topping.....	20
Figure 2.2 : Schéma synoptique du complexe Topping.....	20
Figure 2.3 : Organisation structurale du complexe Topping.....	21
Figure 2.4 : Organigramme type I	23
Figure 2.5 : Organigramme type II.....	24
Figure 2.6 Diagramme de Kiviat montrant la situation avant optimisation de la maintenance.....	36
Figure 2.7 : Diagramme de Kiviat montrant la situation de la maintenance avant et après optimisation	38
Figure 3.1 : Schéma synoptique de l'unité Topping de Condensât « U100 ».....	41
Figure 3.2 : PFD section préfractionnement du complexe RA2K.....	42
Figure 3.3 : Graphe en nombre de pannes 'amélioration de la fiabilité' et pourcentage correspondant.....	46
Figure 3.4 : Graphe en temps d'arrêt 'amélioration de la maintenabilité' et pourcentage correspondant.....	47
Figure 3.5 : Graphe en $n*t$ 'amélioration de la disponibilité' et pourcentage correspondant...48	
Figure 3.6 : Fonction de fiabilité $R(t)$ et de défaillance $F(t)$	50
Figure 3.7 : Allures de $R(t)$ et de $\lambda(t)$ pour différentes valeurs de β	51
Figure 3.8 : Représentation des TBF sur le papier de Weibull.....	54
Figure 3.9 : Fonction de défaillance $F(t)$	55
Figure 3.10 : Fonction de fiabilité $R(t)$	55
Figure 3.11. Densité de probabilité de défaillance $f(t)$	56

Figure 3.12 : Taux de défaillance $\lambda(t)$	56
Figure 3.13 : Représentation des TBF sur le papier de Weibull.....	58
Figure 3.14 : Fonction de défaillance $F(t)$	58
Figure 3.15 : Fonction de fiabilité $R(t)$	59
Figure 3.16 : Densité de probabilité de défaillance $f(t)$	59
Figure 3.17 : Taux de défaillance.....	60
Figure 3.18 : Schéma bloc d'un système série.....	61
Figure 3.19 : Système parallèle à 2 et n éléments.....	61
Figure 3.20 : Schéma bloc d'un système à redondance passive à 2 et n éléments.....	62
Figure 4.1 : Diagramme D'Ishikawa (exemple simplifié).....	67
Figure 4.2 : La démarche de l'analyse fonctionnelle.....	70
Figure 4.3 : Plan en coupe des pompes 100-P-106A/B.....	71
Figure 4.4 : Décomposition fonctionnelle du système.....	73

Liste des tableaux

Tableau 1.1 : Grille de criticité.....	07
Tableau 1.2 : Grille de cotation.....	09
Tableau 1.3 : Feuille de synthèse.....	10
Tableau 2.1 : Les trois cas de marche du complexe Topping.....	18
Tableau 2.2 : Fiche technique du complexe Topping.....	19
Tableau 2.3 : Feuille de synthèse.....	35
Tableau 3.1 : Détermination de l'installation critique de l'unité 100.....	45
Tableau 4.1 : En-tête de la matrice AMDEC.....	66
Tableau 4.2. Déchiffre de schéma technique de la pompe centrifuge 100-PM106.....	72
Tableau 4.3. Application méthode APR aux pompes 116.....	74
Tableau 4.4 : Application méthode AMDEC.....	75
Tableau 4.5 Application méthode HAZOP.....	77

Introduction

Le métier de la maintenance n'est pas un cours d'eau sans remous, car à chaque instant, surgissent des imprévus, qui selon les enjeux, peuvent se transformer en véritables crises ! Comment fait-on face ? Est-ce que l'expérience, à elle seule, suffit ? Cette dernière montre que ce métier exige des connaissances accrues et des compétences de qualité en plus de l'expérience qui reste une lampe qui éclaire les chemins déjà parcourus. Ce mémoire nous apporte des orientations à ce sujet.

La politique de maintenance est basée sur un plan de maintenance qui doit être, en grande partie, réfléchi autour des actions préventives, et formalisé par des gammes de maintenance. La mise en place d'une base de données structurées, gérées et assistées par ordinateur GMAO est également préférable pour envisager de planifier, mais aussi d'enregistrer tout ce qui n'avait pas été prévu (les pannes). La méthode AMDEC (analyse des modes de défaillances, de leurs effets et de leur criticité) est l'outil indispensable afin de concevoir un plan de maintenance prévisionnel efficace, en plus de celles répertoriées dans l'historique, il permet d'identifier les causes potentielles de défaillance.

L'énergie occupe une place prépondérante dans la vie de l'être humain. Les sciences et les progrès techniques ont permis à l'homme de découvrir de nouvelles ressources énergétiques à savoir tous les produits à vocation énergétique dont nous citons le pétrole et le gaz naturel seuls capables de répondre à l'accroissement des besoins en énergie. Entre le pétrole brut et le gaz naturel, on distingue un autre type d'hydrocarbures que l'on appelle condensat. Etant donné que ce dernier est assimilé à un pétrole brut léger, il peut être utilisé comme charge de raffinage pour l'obtention des coupes pétrolière désirée, et comme matière première de la pétrochimie.

Pour assurer une meilleure valorisation de cette source énergétique et améliorer la qualité des distillats de la raffinerie de Skikda, la Sonatrach a confirmé la nécessité de réaliser une raffinerie de Topping de condensat RA2K à Skikda. Cette nouvelle raffinerie a été mise en exploitation en 2009, elle est conçue pour une capacité de traitement de cinq million tonnes métrique par an. La raffinerie du Topping de condensat de Skikda RA2K traite actuellement une charge de condensat différente de celle sur laquelle elle a été calculée.

Dans cette étude, on va examiner la possibilité d'optimiser les paramètres de marche de la colonne atmosphérique T101 du complexe Topping de condensat RA2K, en vue d'augmenter la disponibilité des équipements qui assurent à leur tour la production avec la charge actuelle.

Pour ce faire, le présent mémoire est subdivisé en quatre chapitres : Le premier chapitre est consacré essentiellement aux généralités sur la maintenance, ses objectifs ainsi que ses différentes techniques et opérations (corrective et préventive), son organisation, en prenant pour base l'aspect analyse technique et fonctionnelle.

Le deuxième chapitre est consacré à la description générale du complexe Topping de condensat, ainsi que l'organisation de son département maintenance, les rôles, les fonctions et les différentes sections. En deuxième lieu le chapitre comprend l'étude critique de la maintenance au sein de la même entreprise après avoir remis un questionnaire au personnel concerné pour réaliser un audit sur la maintenance déjà existante.

Le troisième chapitre fera l'objet de l'optimisation de la sûreté de fonctionnement des installations industrielles du complexe RA2K par application de l'approche OMF : Optimisation de la Maintenance par la Fiabilité. Ce dernier est subdivisé à son tour en deux parties principales. La première comporte une classification des équipements stratégiques basée sur la criticité et une seconde sur la base des graphes de Pareto. La seconde partie est consacrée à l'étude de fiabilité portée sur le système de pompage PM106-A/B en utilisant le logiciel FIABOPTIM.

Enfin, le quatrième chapitre est dédié aux études pour améliorer la sûreté d'un système complexe industriel par deux méthodes d'analyse des risques différentes : la première est l'AMDEC et la deuxième méthode est le HAZOP.

Et pour accomplir cette étude, nous récapitulons les principaux points abordés dans ce travail ainsi que les recommandations proposées dans une conclusion générale.

CHAPITRE I

Politique de maintenance et sûreté de fonctionnement

1. Introduction

Chaque entreprise industrielle a ses particularités en termes de natures technologiques, elle est dans la production du type manufacturing, comme l'automobile, l'aéronautique, la mécanique, ou du type process continu, comme la chimie, le raffinage. Il existe bien sûr des situations « mixtes » qui associent la fabrication de produits et ensuite du conditionnement, comme dans l'agroalimentaire ou les laboratoires pharmaceutiques [1]. Dans chaque entité, il existe une fonction « maintenance » qui est régie par des concepts, des normes, des exigences. Parfois nous nous retrouvons dans un conflit entre le responsable de maintenance et le chef d'entreprise dans la définition des objectifs visant à améliorer celle-ci. En général, cette responsabilité est déléguée par le chef d'entreprise au responsable de la maintenance (ou à la production, dans certains cas). Ce dernier se retrouve donc avec deux responsabilités : définir la politique de maintenance de l'entreprise et la mettre en œuvre et établir une stratégie de déploiement [1].

2. Notions sur la maintenance des systèmes industriels

2.1. Définition de la maintenance

La maintenance est l'ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise [2]. Notons ici que le terme « maintenir » revient à la surveillance et la prévention d'un bien qui remplit les tâches prédéfinies au préalable. Le terme « rétablir » revient aux actions correctives (remise en état) après la perte d'une fonction.

2.2. Objectifs fondamentaux de la maintenance

« Buts fixé ou acceptés par la direction et le service de maintenance. Ces buts peuvent comprendre la disponibilité, la réduction des coûts, la qualité du produit, la protection de l'environnement et la sécurité. » [2].

Les objectifs de la maintenance dans une entreprise sont de promouvoir une maintenance plus efficiente et moins dépensière. Bien que généralement l'exploitation privilégie une vision à court terme qui privilégie le bilan annuel. Or la maintenance du parc, les investissements liés à la mutation des compétences, le développement de restructuration sont souvent négligés. Il ne faut pas oublier que le coût du cycle de vie d'une installation et de son capital productif est lié directement à une bonne maintenance efficace et durable [2].

Les objectifs fondamentaux

Nous identifions deux objectifs majeurs :

- Dominance économique : réduction des dépenses et de ce fait le budget de service ;
- Dominance opérationnelle : l'amélioration de la disponibilité et de ce fait la productivité.

Autres objectifs possibles

- Objectif initial : sortir du cercle vicieux de l'entretien dit pompier (courir pour éteindre le feu) ;
- Objectif réglementaire : se mettre en conformité avec les réglementations liées au secteur d'activité ;
- Objectif sécuritaire : assurer la sécurité des biens et des hommes ;
- Objectif qualité : rechercher une certification ou l'agrément d'un client important ;
- Objectif environnement : respecter l'environnement ;
- Objectif patrimonial : accroître la durabilité des systèmes de productions ;
- Objectif commercial : maintien de la propreté des équipements ;
- Objectif qualité totale : la mise en œuvre d'un projet TPM [2].

2.3. Types de maintenance

2.3.1. La maintenance corrective

Selon la norme AFNOR la maintenance correctice est définie par « 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 ». Que ce soit dans un milieu : industriels, tertiaires, transports, les processus de maintenance ainsi de la qualité, sont identiques. Ce qui change entre le manufacturing et les process continus, c'est la constante de temps de réalisation des différentes activités [1].

Le vocabulaire est toujours le même, il est désormais normalisé au niveau Européen par le CEN (Comité Européen de Normalisation) après avoir été défini, en France, par l'AFNOR. Le processus « Maintenir - maintenance corrective » est un processus clé de la fonction de maintenance. C'est l'ensemble des activités réalisées après la défaillance d'un bien ou de la dégradation de sa fonction, pour lui permettre d'accomplir une fonction requise, au moins provisoirement. Les activités de la maintenance corrective comprennent :

- La constatation et la localisation de la défaillance (symptôme) ;
- La constatation du mode de défaillance au cours du diagnostic initial ;
- L'identification de la cause de la panne ;
- La remise en état avec ou sans modification ;
- Le contrôle du bon fonctionnement ;
- Le compte rendu de l'intervention avec l'exploitation du processus de défaillance.

La maintenance corrective se décompose en maintenance immédiate et maintenance différée dont les définitions sont normalisées (figure 1.1).

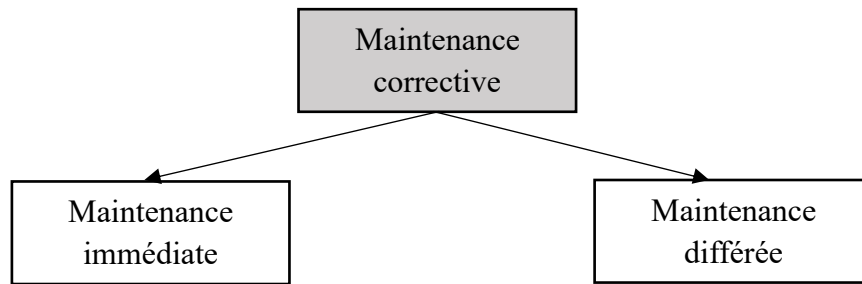


Figure 1.1 : Les deux types de la maintenance corrective

- ❖ **La maintenance immédiate** : ce sont les activités de maintenance corrective ayant pour objectif de rétablir un bien dans un état spécifié ou de lui permettre d'accomplir une fonction requise. Le résultat des activités réalisées doit présenter un caractère permanent. Ces activités peuvent être des réparations, des modifications ou aménagements ayant pour objet de supprimer la ou les défaillances.
- ❖ **La maintenance différée** : ce sont les activités de la maintenance corrective destinées à permettre à un bien d'accomplir provisoirement tout ou partie d'une fonction requise. Appelée couramment « dépannage », cette maintenance palliative est principalement constituée d'actions à caractère provisoire qui devront être suivies d'actions curatives.

2.3.2. La maintenance préventive

La maintenance préventive est la maintenance exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits, elle est destinée à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'un bien. La maintenance préventive se décompose en trois axes comme mentionné dans la figure (2.1).

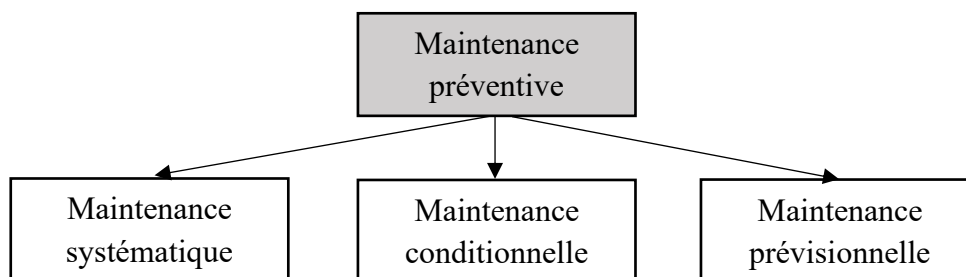


Figure 1.2 : Types de la maintenance préventive

- ❖ **La maintenance systématique** : maintenance préventive exécutée à des intervalles de temps préétablis ou selon un nombre défini d'unités d'usage, mais sans contrôle préalable de l'état du bien.
- ❖ **La maintenance conditionnelle** : maintenance préventive basée sur une surveillance du fonctionnement du bien et/ou des paramètres significatifs de ce fonctionnement intégrant les actions qui en découlent.

- ❖ **La maintenance prévisionnelle** : maintenance conditionnelle exécutée en suivant les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évaluation de paramètres significatifs de la dégradation du bien. (C'est dans cette maintenance prévisionnelle que l'on utilise les outils de CND : contrôles non destructifs), comme la thermographie infrarouge, l'analyse des lubrifiants, les mesures des vibrations ou des épaisseurs avec les ultra-sons).

3. Politique de maintenance

3.1. Définition

« Politique de maintenance : définir le plan de maintenance et la répartition entre les activités préventives et correctives ». La politique de maintenance consiste à définir les activités opérationnelles de prévention et de correction et leur bonne répartition. Il est en effet illusoire de penser que la prévention réglera tout ou de définir un pourcentage entre prévention et correction sans faire de corrélation avec les exigences de disponibilité et de qualité du client (qui, pour la maintenance, est la production au sein de l'entreprise) [1].

Une bonne politique de maintenance se construit à partir de la criticité des équipements, car il ne sert à rien de faire de la prévention sur des équipements dont le risque est faible, voire nul, et donc sans aucune incidence sur le client final. La première action à faire est donc d'identifier des équipements à risque à partir d'une grille de criticité, qui mêle à la fois l'ancienneté des équipements et la logistique de maîtrise par la maintenance. Le tableau (1.1) montre une grille de sélection d'installations critiques.

3.2. Intégration d'une politique de maintenance

3.2.1. Concevoir un plan de maintenance préventif

Un plan de maintenance préventif ne se construit qu'à partir de plusieurs informations provenant de quatre origines :

- **L'existant** comporte l'historique du « correctif » et « préventif » qu'il faut reconstituer à partir de la connaissance des techniciens encore présents ou à partir des bases de données existantes ;
- **Les exigences réglementaires** nationales ou professionnelles (ce qui nécessite une connaissance et une mise à jour régulière de la législation en vigueur) ;
- **Les recommandations des fournisseurs** ou constructeurs, à condition que, dans les cahiers des charges d'achats d'équipements, des exigences de maintenance soient identifiées ;
- **Les études AMDEC** pour identifier les risques potentiels.

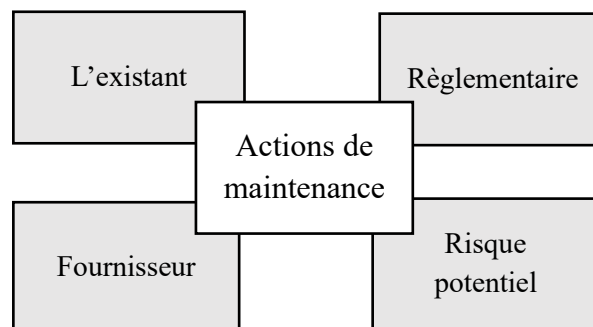


Figure 1.3 : Les quatre sources d'information

Critères	1	2	3	4
Conditions générales de l'équipement	Moins de trois ans ou encore sous garantie	Entre trois et dix ans ou en dehors de la garantie	Entre dix et vingt ans	Au-dessus de vingt ans
Risque sécurité	Nul	Faible	Moyen	Grave
Risque industriel	Arrêt sans conséquence notable sur la production	Arrêt entraînant une perte de production d'une demi-journée	Arrêt entraînant une perte de production d'une journée	Arrêt entraînant une perte de production au-delà de la journée
Risque qualité	Pas de problème particulier sur la qualité	Problèmes qui nécessitent des retouches	Problèmes qui entraînent des rebuts matière	Problèmes qui entraînent un retour client
Maîtrise du process	Le personnel de la maintenance maîtrise parfaitement le process	Des conseils extérieurs sont parfois nécessaires	Des conseils fréquents sont nécessaires	Une part importante de la connaissance est en dehors de l'entreprise
Logistique de maintenance	La documentation technique et les pièces de rechange sont suffisantes pour assurer la disponibilité du process	La documentation technique n'est pas à jour et il manque parfois des pièces de rechange	La durée des pannes est anormale par manque de documentation et de pièces de rechange	L'entreprise est quasi complètement dépendante de ses fournisseurs

Tableau 1.1 : Grille de criticité

3.2.2. Le contenu du plan de maintenance préventif

Le plan de maintenance est en grande partie la politique de maintenance de l'entreprise. Il comporte des actions préventives et correctives, de ce fait c'est le plan préventif qui doit être le plus important pour les équipements à risque, d'où l'importance et le soin que l'on doit mettre à le construire. Il comporte trois axes :

- La maintenance systématique ;
- La maintenance conditionnelle ;
- La maintenance prévisionnelle.

En général trois causes principales génèrent plus de 80 % des problèmes d'indisponibilité :

- Les desserrages ;
- La pollution par l'environnement industriel (poussières dues aux produits plus ou moins agressifs et corrosifs) ;
- Les défauts de graissage.

Le plan préventif doit impérativement et prioritairement prendre en compte ces causes et les actions préventives nécessaires [1].

3.3. Stratégie de maintenance

Une fois la politique de maintenance préventive et corrective et son plan de maintenance (liste des gammes) établis, il reste à définir qui va la mettre en œuvre. Soit tout est fait en interne avec des ressources spécifiques, soit l'ensemble est externalisé, soit la solution est mixte. Ce sont ces choix qui vont orienter l'organisation à mettre en place [1].

En général, nous partons de l'organisation, et puis nous changeons au fur et à mesure sans pour autant identifier les véritables causes du dysfonctionnement dans l'entreprise. Il est donc beaucoup plus judicieux de définir sa stratégie de maintenance avant de définir l'organisation qui la mettra le mieux en œuvre.

En utilisant cette stratégie, nous allons identifier les fonctions de la maintenance avant de décider des points qui pourraient être externalisés :

- Maintenance préventive ;
- Maintenance corrective ;
- Méthodes de maintenance ;
- Gestion des stocks et approvisionnements ;
- Gestion des ressources humaines (gestion des carrières et de la formation technique et méthodologique) ;
- Gestion des activités et des dépenses [2].

4. Optimisation de la politique de maintenance

L'optimisation des coûts et de la performance de la maintenance passe régulièrement par une analyse de l'existant afin de pouvoir se comparer à d'autres, c'est une démarche de type benchmarking, ou « comment se faire évaluer par des experts à partir d'une série de questions ». En effet, s'il existe un référentiel ISO pour la qualité (la série des ISO 9000), il n'en existe pas pour la maintenance. Si un audit est réalisable en qualité, c'est qu'il existe un référentiel et des certificateurs qui vont comparer la réalité aux exigences de la norme. En maintenance, l'audit ne peut exister, car le référentiel n'existe pas. En conséquence, seuls des diagnostics peuvent être réalisés à partir de questionnaires et de critères réalisés par des experts. Dans le langage courant, on parle pourtant d'audits en maintenance [1].

Le diagnostic de l'efficacité de la fonction maintenance comporte un ensemble de questions qui servent à évaluer le niveau de réalisation des activités de la maintenance, qu'elles soient réalisées par le service de maintenance ou par d'autres entités (production, méthodes, prestataires, etc.). La démarche consiste à indiquer honnêtement un avis sur le degré de réalisation des fonctions analysées de l'organisation globale de la maintenance dans l'entreprise [1].

4.1. Les dix thèmes clés de l'évaluation

- A. Définition des missions et responsabilités de l'organisation de la maintenance.
- B. Méthodes de travail.
- C. Préparation de la réalisation des opérations.

- D. Réalisation des opérations de maintenance.
- E. Gestion et tenue des pièces de rechange.
- F. Contrôle des coûts globaux.
- G. Interfaces de la maintenance avec les autres services.
- H. Ressources humaines et animation.
- I. Stratégie d'utilisation des prestataires extérieurs.
- J. Système d'information et utilisation de l'informatique.

Une cotation s'effectue de 0 % à 100 % comme indiqué par le tableau (1.2). Il faut indiquer le niveau de la réalisation de chaque demande de manière analogique, à l'aide de la grille de cotation présentée en page suivante.

Afin de valider l'avis donné et la cotation effectuée, l'entreprise doit apporter des éléments de justification, tels que des documents, des rapports, des définitions de fonctions, des indicateurs, des tableaux de bord, des programmes de réunions et toute information expliquant et démontrant l'avis émis.

Cotation	Critères
0%	La fonction, l'action ne sont pas remplies ou le moyen n'existe pas
25%	La fonction, l'action sont remplies en partie ou sont en phase de mise en place. Le moyen vient d'être acquis et est en phase de mise en service.
50%	La fonction, l'action, le moyen sont opérationnels, mais ne donnent pas encore satisfaction
75%	La fonction, l'action, le moyen sont opérationnels, donnent apparemment satisfaction, mais ne sont pas évalués (indicateurs d'activité).
100%	La fonction, l'action, le moyen sont opérationnels, ils donnent satisfaction et sont contrôlés par des indicateurs d'efficacité.

Tableau 1.2 : Grille de cotation

4.2. Les questionnaires

Les questionnaires se présentent au nombre de dix (un par thème clé), comportent de huit à dix questions en fonction des thèmes traités. Une feuille de synthèse se présente ainsi comme mentionné dans l'exemple du tableau (1.3).

4.3. Présentation des questionnaires

Les résultats sont présentés selon un positionnement dans un graphique regroupant les questionnaires par famille de fonctions. Généralement le graphique de Kiviat, ou diagramme radar, est le plus utilisé (figure 1.4).

Synthèse générale	0%	25%	50%	75%	100%	Points
A. Définition des missions et responsabilités			1			50
B. Méthodes de travail			1			50
C. Préparation de la réalisation des opérations			1			50
D. Réalisation des opérations de maintenance			1			50
E. Gestion et tenue des pièces de rechange			1			50
F. Contrôle des coûts globaux			1			50
G. Interfaces de la maintenance avec les autres services			1			50
H. Ressources humaines et animations			1			50
I. Stratégie d'utilisation des prestataires extérieurs			1			50
J. Système d'information et utilisation de l'informatique			1			50
Total			250			500

Tableau 1.3 : Feuille de synthèse

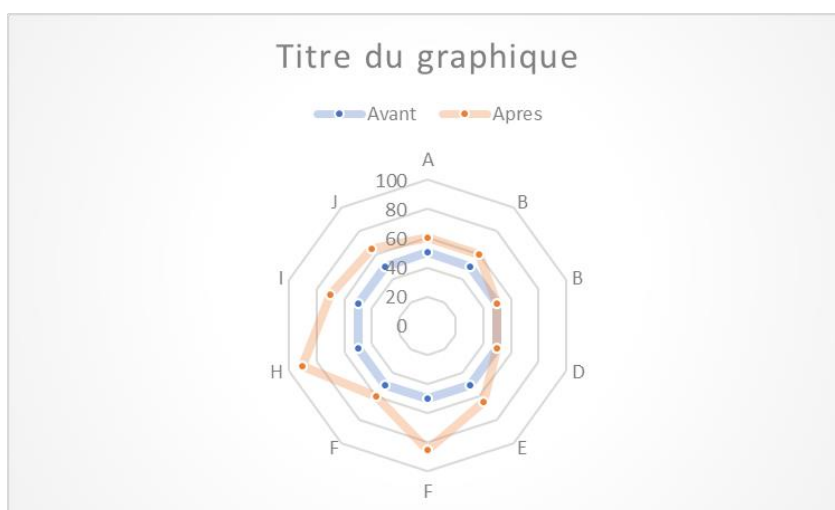


Figure 1.4 : Diagramme de Kiviat

La consolidation des résultats positionne globalement le service de maintenance dans un espace, ce qui permet de se situer à un moment donné et de savoir quelles sont les actions à mener pour améliorer l'efficacité globale de la maintenance et aller vers la recherche de l'excellence. Le graphique est complété par des fiches de synthèse d'actions correctives par thème, qui indiquent ce qu'il faut améliorer et développer en priorité. Il reste à l'entreprise à choisir ces axes d'améliorations en fonction des points à améliorer et à les planifier, car il n'est pas possible de tout améliorer en même temps. Des scénarios sont proposés et c'est à l'entreprise de décider lequel est retenu et qui devra le mettre en œuvre en fonction de ses propres priorités. Cette démarche, pour être efficace, doit être reconduite régulièrement (tous les ans au minimum), afin de formaliser les avancées et matérialiser les efforts selon la démarche suivante : [1].

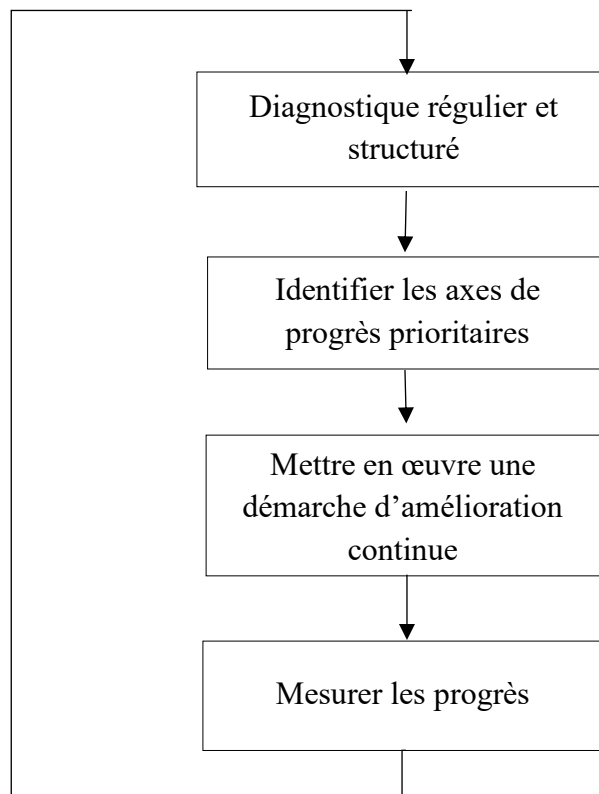


Figure 1.5 : Processus d'amélioration continue [1]

5. Sûreté de fonctionnement des systèmes de production

5.1. Historique de la sûreté de fonctionnement

Bien qu'il soit possible d'en trouver des prémices dans l'histoire à différentes époques, la sûreté de fonctionnement est une science jeune dont les concepts continuent à évoluer. Les années 1950 ont vu apparaître la fiabilité en tant que discipline de l'ingénieur pour formuler les chances de bon fonctionnement d'un bien sur un intervalle de temps donné [3]. On se préoccupe alors de calculer la probabilité de non-défaillance d'un équipement complexe et ainsi les chances de succès de la mission qu'il remplit. Il faut attendre les années 1980 pour voir émerger la **sûreté de fonctionnement** comme discipline scientifique ainsi qu'une notion plus large que la fiabilité afin de traduire la confiance qu'un utilisateur peut avoir dans un bien (matériel,

logiciel, système complexe, ...etc.). Définie alors comme « l'ensemble des propriétés qui décrivent la disponibilité et les facteurs qui la conditionnent : fiabilité, maintenabilité et logistique de maintenance ». La sûreté de fonctionnement est la traduction du terme anglais « *dependability* », synonyme dans le langage courant de disponibilité. Le TC 56 (comité technique horizontale) change de nom en 1989 pour s'appeler « sûreté de fonctionnement (*dependability*) » et entériner ainsi la naissance de ce nouveau concept (figure 1.6) [3].

Aujourd'hui la réglementation et les certifications qu'elle impose, a eu un double effet : le développement de l'utilisation des outils de sûreté de fonctionnement, mais également une certaine idée de la couverture des risques [4]. N'a-t-on pas oublié que, malgré les études, les précautions, les systèmes de sauvegarde, les protections, le risque existe toujours.

5.2. Eléments constitutifs de la sûreté de fonctionnement

La démarche et le raisonnement de la sûreté de fonctionnement s'appuient sur des grandeurs qui seront précisées dans les paragraphes suivants. Différents auteurs définissent la SdF comme :

- la fiabilité, la disponibilité, la maintenabilité et la sécurité [Fournier, 1993] ;
- la science des défaillances [Villemeur, 1988] ou la confiance justifiée dans le service délivré [Laprie et al., 1995] ;
- le maintien de la qualité dans le temps [Mortureux, 2001].

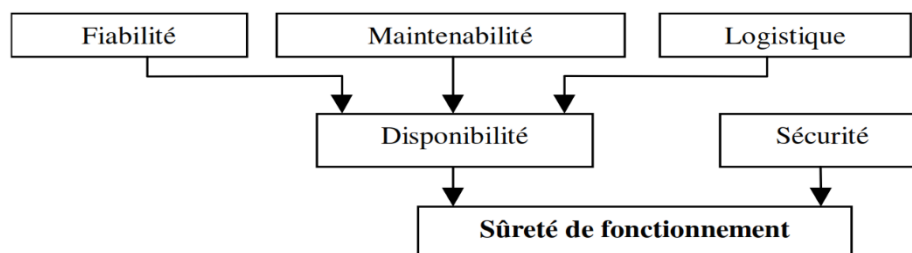


Figure 1.6 : Eléments constitutifs de la sûreté de fonctionnement [3]

La définition « Fiabilité, Disponibilité, Maintenabilité et Sécurité » qu'on retrouve dans l'acronyme FDMS (RAMS en anglais), fait référence aux définitions de ces termes et met en avant leur complémentarité. Si la fiabilité, la maintenabilité, la disponibilité ou la sécurité sont aussi des performances d'un système, la SdF ne se réduit pas uniquement à une de ces performances, elle se construit à travers toutes ces performances.

La définition « science des défaillances » suppose la connaissance, l'évaluation, la prévision, la mesure et la maîtrise des défaillances. Ainsi la sûreté de fonctionnement apparaît davantage comme l'aptitude d'une entité à satisfaire une ou plusieurs fonctions requises dans des conditions données.

La définition « confiance justifiée dans le service délivré » dépend principalement de la perception des utilisateurs. Le service délivré par un système est son comportement perçu par son, ou ses utilisateurs, sachant qu'un utilisateur est un autre système (humain ou physique) qui interagit avec le système considéré.

La définition « maintien de la qualité dans le temps » prend en compte la conformité aux exigences (explicites ou non). Elle présente le défaut de laisser supposer qu'une activité SdF se conduit nécessairement dans le cadre d'une démarche qualité, ce qui est insuffisant.

La définition de la SdF sera considérée globalement comme la conjugaison de ces quatre définitions. L'ensemble de ces définitions est cohérent et fournit une image plus complète de la SdF prise selon plusieurs points de vue [5].

5.3. Techniques de sûreté de fonctionnement

5.3.1. La méthode de l'industrie aéronautique MSG-3

❖ Historique

Au milieu des années 1960, l'industrie aéronautique a fait la constatation que les révisions systématiques d'équipements complexes ne semblaient pas avoir beaucoup d'effet sur leur fiabilité. Elle s'est donc lancée dès 1968 dans le développement d'une méthode pour déterminer la maintenance préventive du Boeing 747 [8].

❖ Principes

L'objectif majeur du MSG-3 (*Maintenance Steering Group*) est de définir la maintenance qui permet d'assurer la sécurité des avions. Si la sécurité est l'objectif premier, le transport aéronautique est fortement soumis aux lois du marché et le critère économique est aussi pris en compte. Il n'apparaît cependant pas comme l'objectif majeur de la méthode.

Le principe du MSG est d'organiser le choix des tâches de maintenance en fonction des conséquences des défaillances. Le but d'une action de maintenance préventive n'est pas directement d'assurer qu'un équipement soit en état de marche mais plutôt d'éviter les conséquences de son dysfonctionnement. Il y a là une nuance importante, car de matérielle l'approche devient fonctionnelle. Le cœur de la méthode est la logique de sélection des tâches de maintenance qui, en fonction des conséquences des défaillances, orientera vers les actions les plus efficaces et les plus économiques [8].

Le MSG-3 distingue trois types d'analyses :

- L'analyse des systèmes et ensembles propulsifs (moteurs, systèmes auxiliaires...);
- L'analyse des structures, c'est-à-dire les éléments soumis à des charges (voilure, fuselages, supports moteur, train d'atterrissage...);
- Les inspections de zones.

5.3.2. Maintenance basée sur la fiabilité RCM/MBF

❖ Définition

La maintenance basée sur la fiabilité (RCM – Reliability Centred Maintenance) est une technique de maintenance qui a fait son apparition dans l'industrie aéronautique vers la fin des années 1960 et au début des années 1970 aux États-Unis [8]. Cet outil a le risque à l'œil en considérant de manières fortes structurées, les conséquences et la probabilité d'une défaillance. La RCM essaye de minimiser les conséquences d'une défaillance en cherchant et en exécutant les tâches critiques de maintenance. En particulier, elle identifie des défaillances cachées et aide à améliorer la disponibilité. L'objectif principal de la maintenance basée sur la fiabilité est de réduire le coût de la maintenance en se focalisant essentiellement sur les fonctions les plus

importantes du système, tout en reléguant au second plan ou en évitant les actions de maintenance qui ne sont pas strictement nécessaires.

La maintenance basée sur la fiabilité est une approche de maintenance préventive. Elle est basée sur l'hypothèse que la fiabilité inhérente à un équipement est fonction de la conception et de la qualité de construction. Une maintenance préventive efficace devra assurer que cette fiabilité soit réalisée [5].

❖ **Mise en étude de la démarche MBF**

La mise en place de la démarche se fait par une organisation "groupe de projet" dans lesquels différents acteurs sont impliqués (figure 1.7) [6].

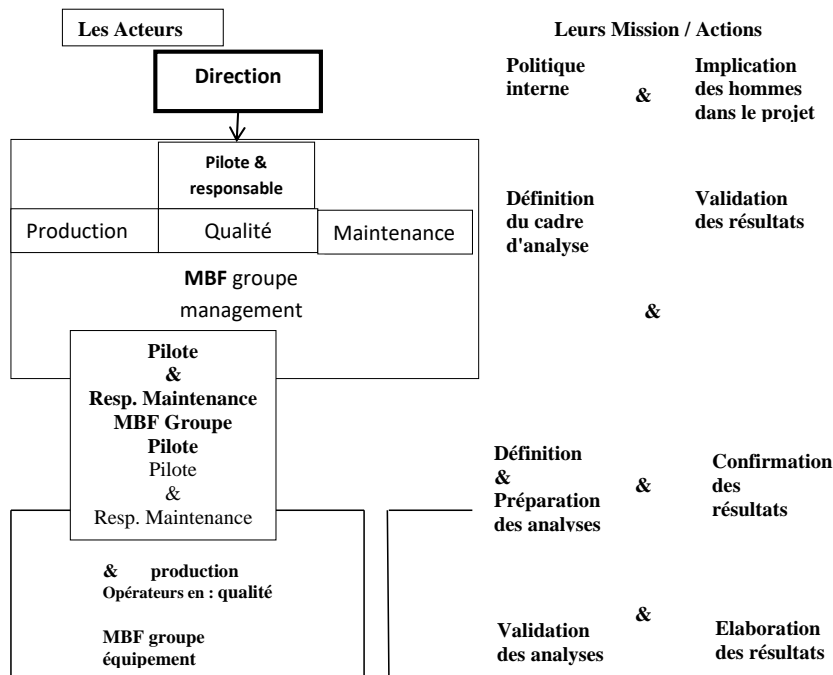


Figure 1.7: Les acteurs de la méthode MBF

La mise en place d'un programme de maintenance planifié se fait en quatre étapes. Ces étapes utilisent bon nombre d'informations et de supports faisant référence à la production, à la qualité et à la maintenance. Au travers de ces différentes étapes, les groupes impliqués doivent en permanence déterminer les objectifs qui sont prioritaires et valider les résultats à toutes les phases pour poursuivre sans une dispersion excessive (figure 1.8) [3].

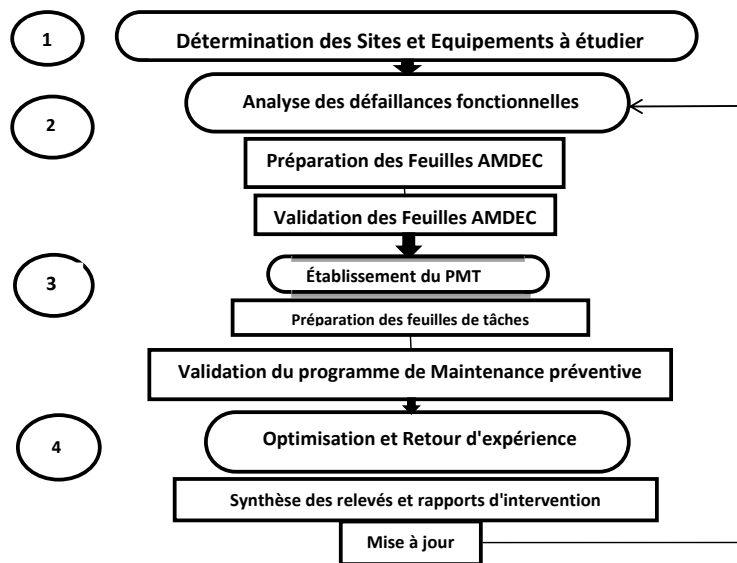


Figure 1.8 Les quatre étapes principales de la démarche MBF

5.3.3. Optimisation de la maintenance par la fiabilité (OMF)

❖ Historique

L'optimisation de la maintenance par la fiabilité a été développée par EDF à partir de 1990 sur la base du MSG-3 et de la méthode RCM de l'EPRI (l'Electric Power Research Institute). Des études pilotes menées sur différents systèmes de centrales nucléaires ont permis d'établir les bases de la méthode. Celle-ci a ensuite été généralisée sur les centrales nucléaires et mise en œuvre dès 1993 sur une cinquantaine de systèmes considérés comme les plus importants vis-à-vis des critères de sûreté, de disponibilité, et de coûts d'exploitation [8]. La méthode a été adaptée dès 1995 pour être utilisée sur d'autres types d'installations (centrales thermiques au charbon, turbines à combustion, lignes de transport d'électricité, éoliennes...). Des sociétés prestataires de services en maintenance l'ont transféré à d'autres secteurs industriels (automobile, offshore...).

Une méthode de seconde génération a été développée en 2003 pour permettre notamment la révision des programmes de maintenance préventive établis avec la méthode initiale, et l'analyse des systèmes de moindre importance [3].

❖ Principe

La méthode d'Optimisation de la Maintenance Basée sur la Fiabilité constitue une approche globale d'aide à la décision pour déterminer les actions de maintenance préventive permettant de maîtriser les coûts et le niveau requis de disponibilité d'une installation ou d'un système [8], et plus largement, pour garantir un niveau de sûreté de fonctionnement.

C'est une démarche rationnelle qui vise à limiter au mieux les conséquences des défaillances d'origine matérielle, sur le fonctionnement de l'installation. L'étude des systèmes et des matériels permet de déterminer :

- Où les actions préventives sont nécessaires (sur quels matériels) ;
- Quelles sont les actions à effectuer ;

- Quand (avec quelle fréquence) on doit les réaliser.

La figure (1.9) décrit les trois phases de la méthode OMF. La phase de retour d'expérience consiste à rechercher ce qui s'est passé sur les matériels ou composants en termes de fiabilité, de disponibilité et de coûts, et les actes de maintenance ou modifications réalisées. La phase d'évaluation des risques consiste à envisager les événements graves qui pourraient se passer et met en œuvre les techniques d'analyse de fonctionnement et de dysfonctionnement. Ce travail est complet par la prise en compte de l'historique de maintenance. Pour prévenir les défaillances qui présentent une gravité et qui ont des chances de se produire, il faudra envisager d'effectuer des tâches de maintenance préventive. La phase d'optimisation de la maintenance détermine les tâches à effectuer ainsi que leur fréquence de réalisation, tout en envisageant éventuellement des améliorations ou des modifications [8].

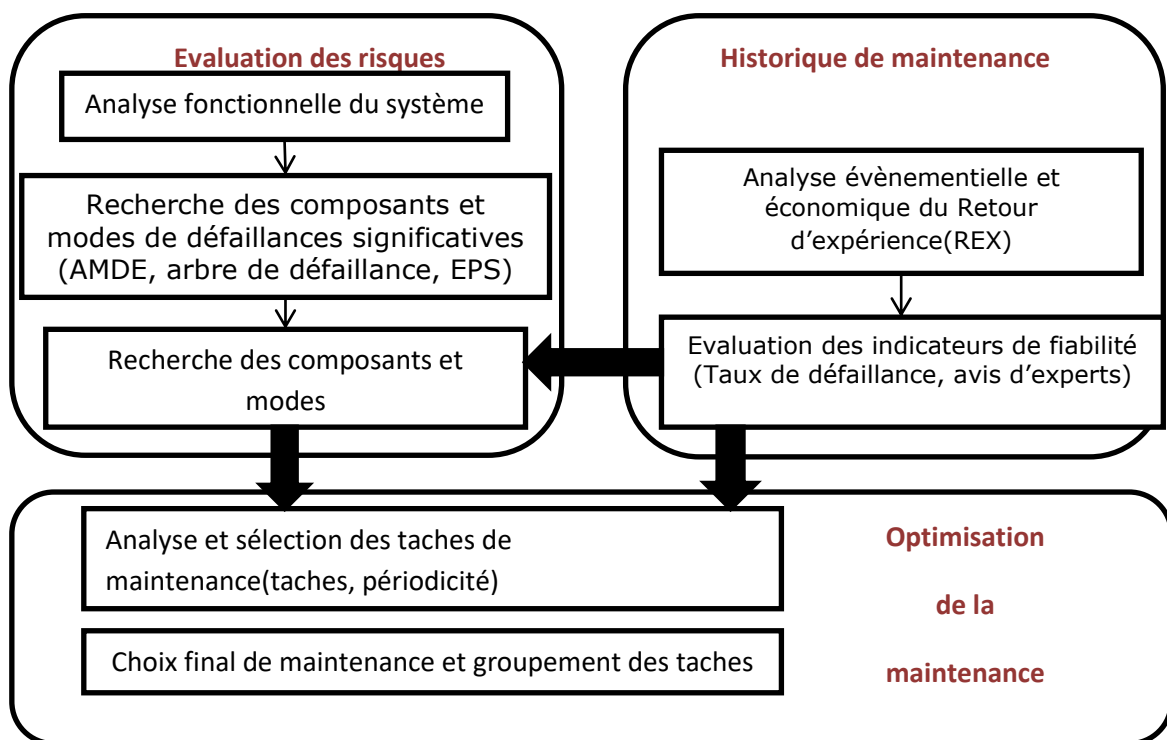


Figure 1.9 : la méthode OMF

6. Conclusion

Dans ce premier chapitre, nous avons passé en revue les généralités sur la maintenance, ses objectifs ainsi que ses différentes techniques et opérations (corrective et préventive), en prenant pour base l'aspect analyse technique et fonctionnelle. Après avoir rappelé les principales formes de maintenance, nous avons définis la politique de maintenance, au niveau de l'entreprise, la manière dont elle doit être intégrée, en soulignant l'impact économique. Nous avons également évoqué les bonnes pratiques du benchmarking de la maintenance et son évaluation en vue d'optimiser la disponibilité des matériels. Nous avons terminé ce chapitre par l'introduction et la présentation de méthode stratégique et contemporaine qui est partie intégrante de la sûreté de fonctionnement, à savoir, la méthode OMF, en vue de son application.

CHAPITRE II

Optimisation de la fonction maintenance par application d'une approche évaluative

1. Présentation générale du complexe Topping (RA2K)

China Petroleum Engineering and Construction Corporation (CPECC), en qualité de contractant EPC pour SONATRACH, a été chargée 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 [10].

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

- Cas A : production maximale de naphta et du gasoil (cas de base) ;
- Cas B : production maximale de kérosène Jet A1 ;
- Cas C : production maximale de naphta et production minimale de gasoil ;

Produit	Mode d'exploitation		
	Production max de Naphta et de Gasoil Léger (Cas A) ¹	Production Max de Jet A1 (Cas B) ¹	Production Max de Naphta et Min de Gasoil Léger (Cas C) ¹
Butane	111.9	111.9	111.9
Naphta	4038.1	3470.1	4038.1
Jet A1	-	992.5	42.5
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 2.1 : Les trois cas de marche du complexe Topping [10]

⁽¹⁾ Les chiffres sont donnés en 1000 Tonnes Métriques par an

1.1. Historique du complexe Topping (RA2K)

Sonatrach avait projeté de réaliser l'usine de Toppig 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 présentée 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 [10]. 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 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 [10].

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 [10].

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.

Tableau 2.2 : Fiche technique du complexe Topping

1.2. Localisation géographique du site

Le Complexe Topping de Condensat RA2K est situé dans l'enceinte, 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'ouest.

- Le Terminal de stockage du pétrole brut et du Condensat RTE au sud.

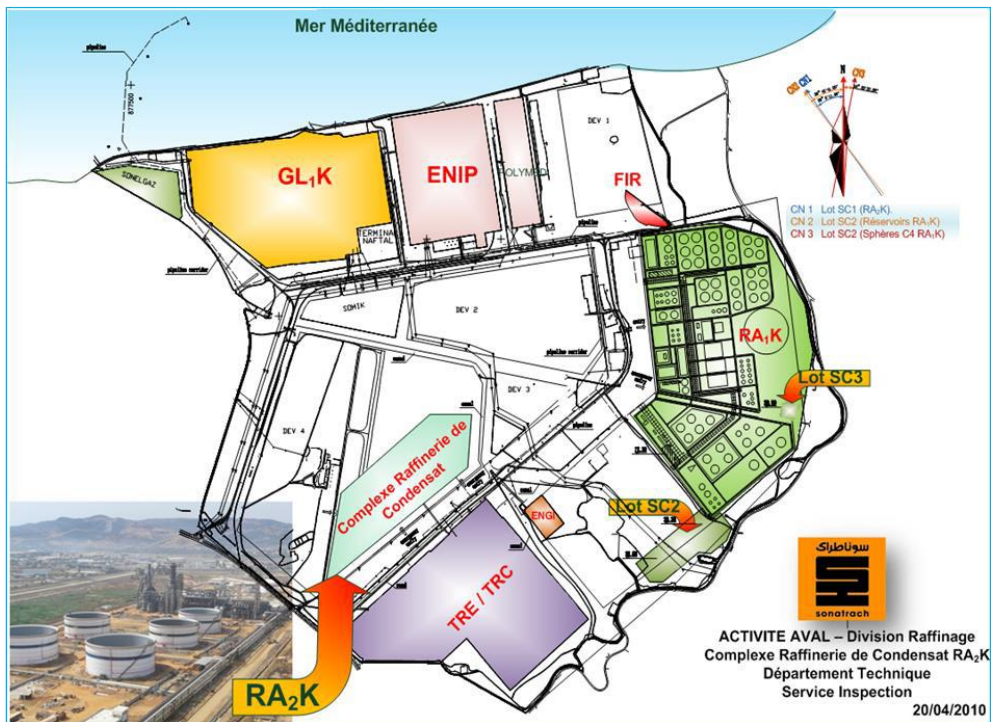


Figure 2.1 : Situation du complexe Topping [10]

1.3. Conception générale du complexe

Le complexe est constitué principalement de :

- Une Unité de Topping de condensât (U100) ;
- 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).

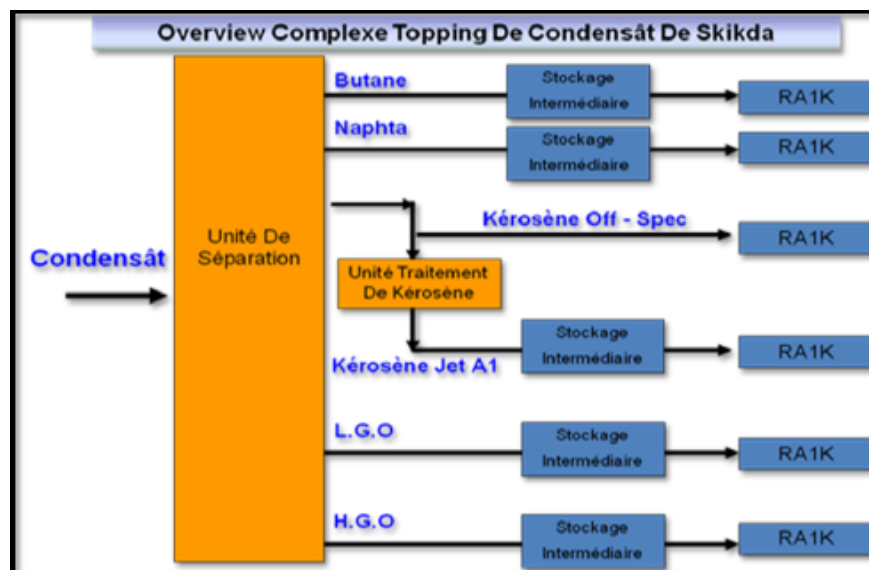


Figure 2.2 : Schéma synoptique du complexe Topping [17]

1.4. Organisation structurale du complexe Topping (RA2K)

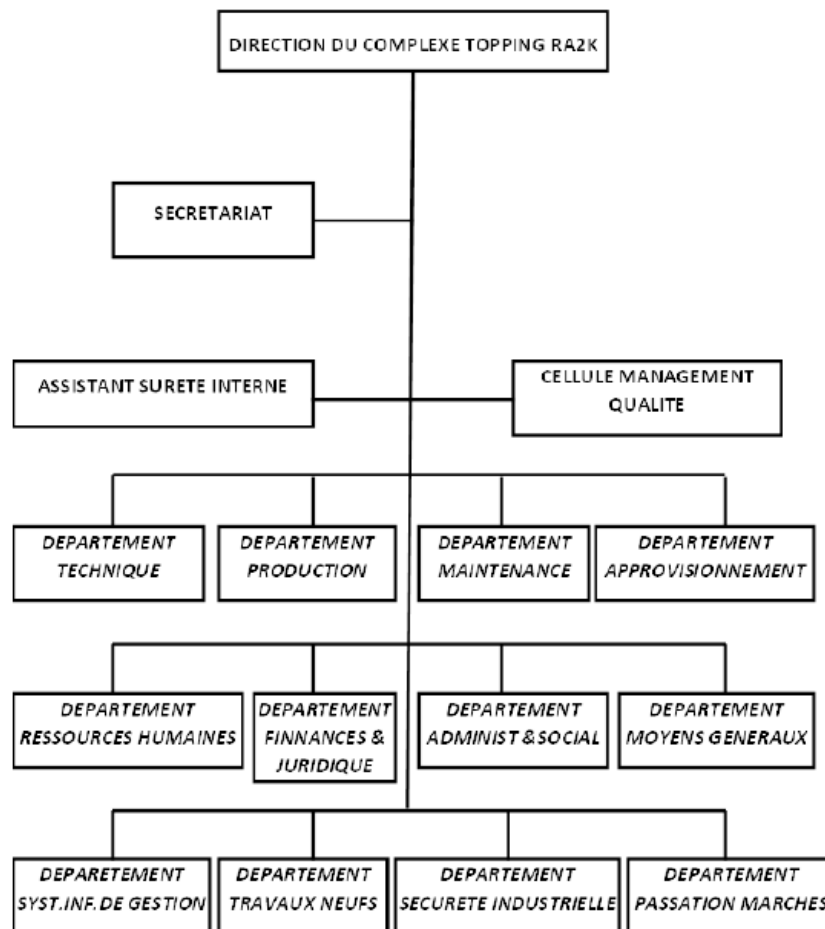


Figure 2.3 : Organisation structurale du complexe Topping [10]

1.5. Organisation de la maintenance

L'objectif principal pour suivie par l'organisation d'un département maintenance et de le doter d'une structure susceptible d'accroître sa contribution à l'efficience général du complexe industriel. Le département maintenance existe pour servir et pour soutenir la production. Il en résulte que les problèmes de l'entretien ne peuvent être résolus et les coûts ne peuvent être réduits en améliorant seulement l'organisation, les systèmes et contrôle du département car ce dernier ne contrôle pas entièrement coûts et sa performance. Les fonctions de production, approvisionnements, sécurité, etc. ont une influence directe sur l'efficacité du département maintenance. L'organisation de ce département doit donc permettre une étroite collaboration avec ses autres fonctions de façon à assurer une contribution maximum à la performance du complexe [11].

Les objectifs visés en organisant le département maintenance d'un complexe sont les suivant :

- 1) Assurer une étroite supervision du personnel d'exécution et des travaux exécutés ;
- 2) Établir des lignes précises et claires d'autorité et de responsabilité de l'organisation dans son ensemble ;
- 3) Définir les responsabilités et l'autorité propre à chaque niveau de commandement ;

- 4) Doter de la supervision directe de l'autorité maximum, pour l'exécution des travaux de routine, l'autorité associée à la responsabilité de la qualité, de l'efficience et de la sécurité du travail ;
- 5) Grouper les activités et les compétences en ensemble homogènes en vue de fournir le meilleur service à la production ;
- 6) Fournir la liaison et le conseil en la production permettant de déterminer un niveau de maintenance adéquat au moindre coût ;
- 7) Disposer des éléments staff nécessaires à la planification et à la programmation du personnel, des matériaux et du matériel interne ou externe ;
- 8) Avoir une structure utilisant au mieux le personnel d'exécution et de staff disponibles.

Le dispositif d'organisation adopté répond aux besoins organisationnels du système de base. Le système de base détermine le fonctionnement du département maintenance dans sa vie quotidienne. Il va de soi que la mise en place des systèmes de planification à moyen et à long-terme « préventif et arrêt programmé » conduira à des amplifications de cette structure d'organisation [11].

1.5.1. Modèle de structure

Une démarche importante lors de la conception d'une structure d'organisation et la définition et la standardisation des niveaux de supervision permettant d'organiser, d'exécuter est de contrôler les activités que cette structure est appelée à accomplir. La structure du département maintenance a été conçue pour fonctionner avec un nombre minimum de niveaux de supervision. Ce nombre minimum permet de déléguer en pratique, vers chaque niveau de supervision, l'autorité et la responsabilité maximum pour favoriser l'efficience et de l'organisation.

Le modèle de structure du département maintenance comporte trois niveaux de commandement :

- 1) Niveau de supervision directe ;
- 2) Niveau de supervision sous-fonction ;
- 3) Niveau de supervision fonction.

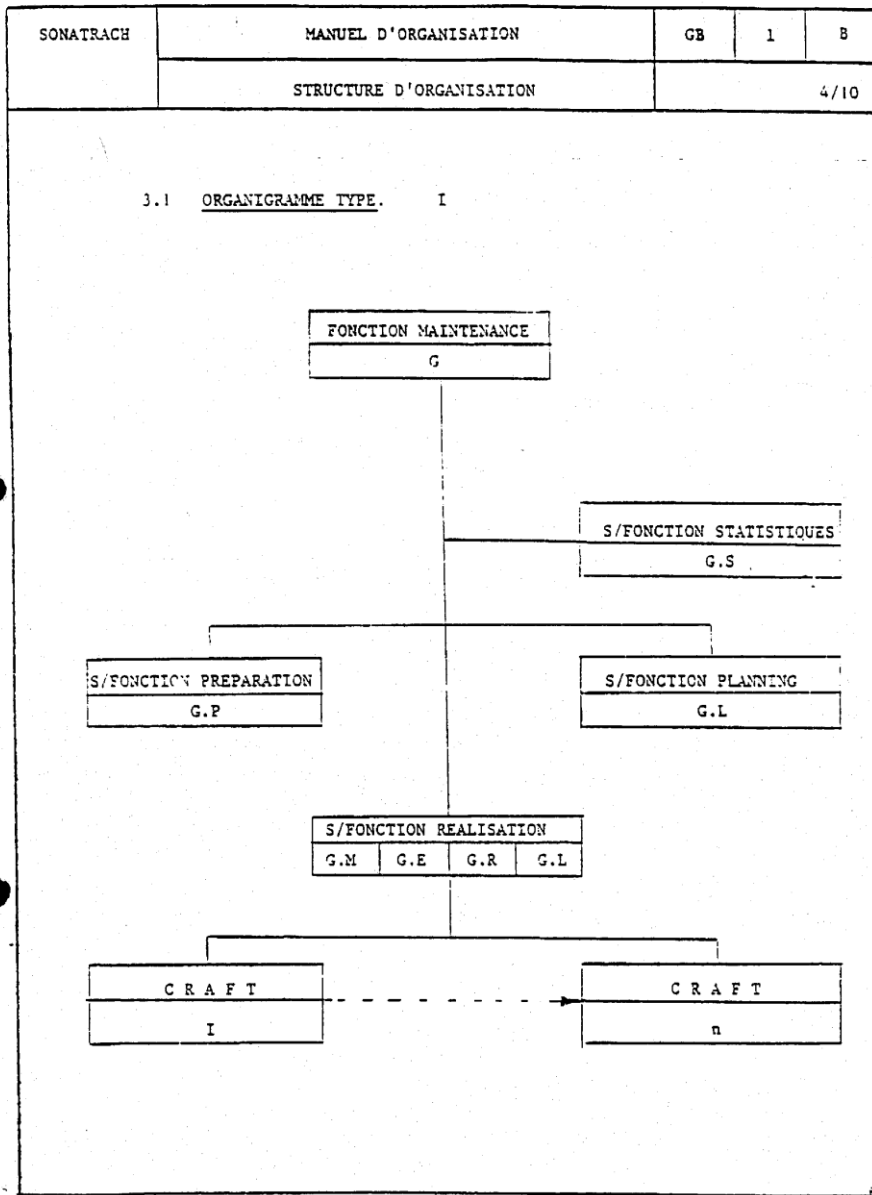


Figure 2.4 : Organigramme type I [11]

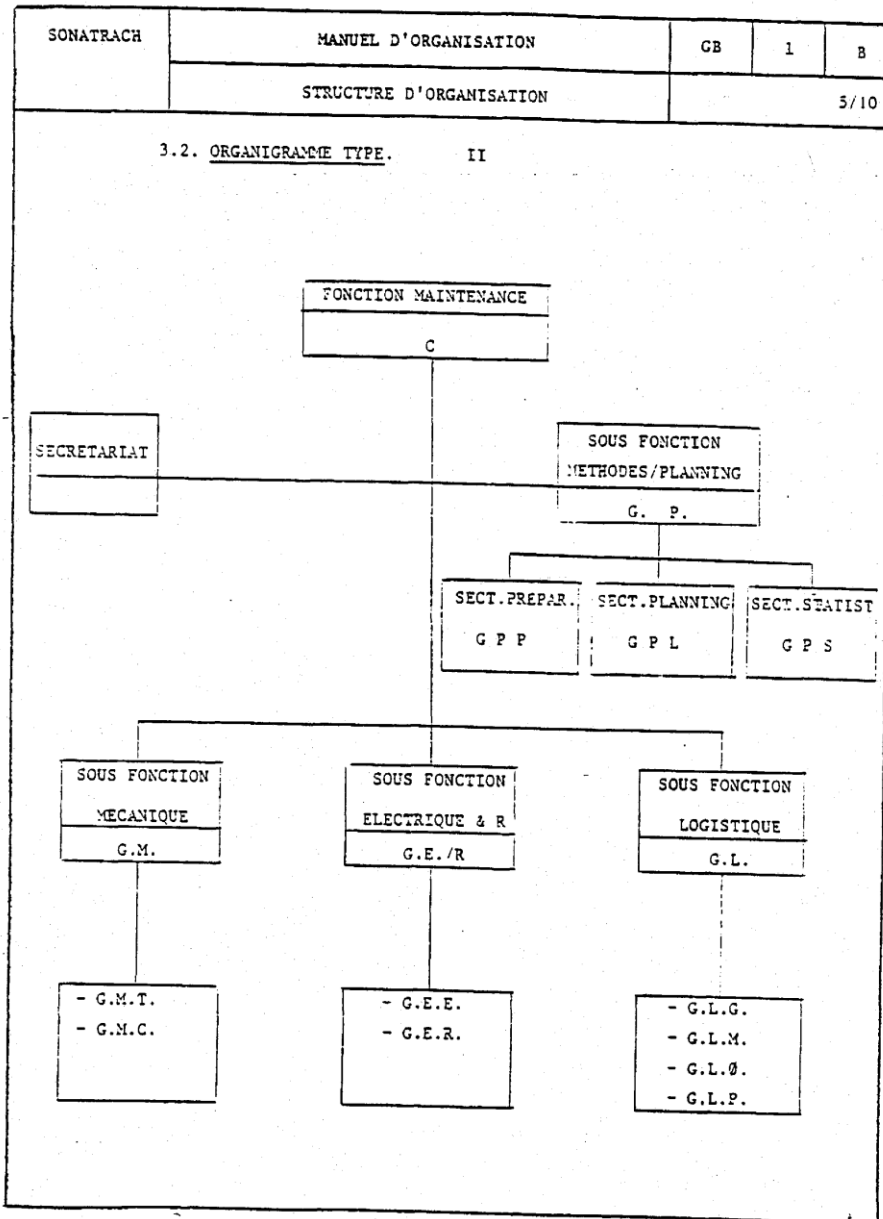


Figure 2.5 : Organigramme type II [11]

2. Evaluation de la maintenance

Pour évaluer la fonction maintenance au sein de l'entreprise nous avons opté pour la méthode discutée au chapitre 1. Celle-ci a la particularité d'être récente par rapport à la méthode d'évaluation communément utilisée (Lavina). En plus elle prend en considération plusieurs aspects de la fonction maintenance non pris en compte par la méthode de Lavina.

2.1. Réponses des questionnaires

Après avoir remis les questionnaires aux personnels concernés voici les résultats que nous avons obtenus :

A. Définition des missions et des responsabilités	0%	25%	50%	75%	100%
1. Existe-t-il un organigramme où toutes les fonctions sont décrites ?					X
2. Existe-t-il un organigramme de la fonction maintenance où toutes les structures sont définies ?					X
3. Est-il connu des collaborateurs cadre et maîtrise ?				X	
4. L'organigramme est-il connu des agents d'exécution ?			X		
5. Existe-t-il des fiches de postes ?					X
6. Existe-t-il une politique de maintenance écrite définissant les objectifs et la mesure des résultats ?					X
7. Les opérations de maintenance sont-elles suivies par nature d'opération (correctif, préventif, amélioration, conduite...) ?					X
8. Les opérations de maintenance sont-elles suivies par corps de métiers ?					X
9. Existe-t-il un tableau de bord de performances permettant de faire un management par objectifs ?			X		
10. La maintenance fonctionne-t-elle sous assurance ISO 9000 ?					X

B. Méthodes de travail	0%	25%	50%	75%	100%
1. Existe-t-il une politique de maintenance préventive ?					X
2. Existe-t-il une structure méthodes maintenance prenant en charge l'élaboration du plan de préventif ?					X
3. Le plan de préventif a-t-il été réalisé à partir de méthodes du type MBF, AMDEC, historique, données constructeur... ?					X (Constructeur)
4. Existe-t-il un enregistrement spécifique des actions importantes (rénovations) permettant le retour d'expérience ?					X (GMAO)
5. La majorité des interventions sont-elles décrites par des modes opératoires et des gammes d'intervention ?					X
6. Existe-t-il un rapport d'incident comportant une analyse basée sur la chaîne causale : (cause, mode, effet) ?					X
7. Existe-t-il des réunions formelles cycliques dédiées à l'analyse des principaux dysfonctionnements constatés ?			X		
8. Existe-t-il une procédure de gestion de la documentation technique ?					X
9. La documentation existante est-elle suffisante pour l'activité ?					X

C. Préparation de la réalisation	0%	25%	50%	75%	100%
1. Existe-t-il des procédures écrites définissant la création, la validation et le traitement des documents (DT, DI, OT, DR) ?					X
2. Toutes les demandes d'intervention sont-elles analysées et validées avant leur exécution ?					X
3. Le personnel des méthodes maintenance est-il formé aux méthodes d'analyse des défaillances et diagnostic ?	X				
4. Revoit-on systématiquement les gammes et modes opératoires en fonction de la réalisation effectuée ?					X
5. Analyse-t-on les écarts entre le temps prévu et réalisé ?					X
6. La production prend-elle en charge le premier niveau de maintenance ?				X	
7. Les documents (consignes, recommandations, contrôles, réglementaires) sont-ils à jour ?					X
8. Les contrôles obligatoires (appareils soumis à réglementation) sont-ils effectivement réalisés ?					X
9. Existe-t-il des compétences pour la préparation, la planification et le suivi des grands arrêts ?					X
10. La maintenance prend-elle en charge les exigences de l'ISO en matière de qualité (procédures d'étalonnage, de contrôles et essais) ?					X

D. Réalisation des opérations de maintenance	0%	25%	50%	75%	100%
1. Les équipes sont-elles opérationnelles dans les 10 minutes suivant le début de poste ?				X	
2. Chaque professionnel connaît-il précisément le travail qu'il aura à entreprendre à l'issue du travail en cours ?				X	
3. Peut-on connaître en moins de 10 minutes l'état d'avancement de tous les travaux ?					X
4. Le programme de préventif est-il respecté ?					X
5. L'accumulation des reports perturbe-t-il le plan de charge ?					X
6. L'outillage est-il la cause des perturbations dans la réalisation des interventions ?			X		
7. Le retour des O.T. est-il contrôlé afin de garantir qu'ils sont renseignés de manière complète avant leur enregistrement ? (Quoi et pourquoi)					X
8. Existe-t-il une procédure de réception des travaux réalisés ?					X
9. Existe-t-il une procédure interne ou externe permettant d'avoir une démarche permanente d'amélioration ?					X

E. Gestion et tenue des pièces de rechange	0%	25%	50%	75%	100%
1. Y-a-t-il une politique de gestion des stocks ?					X
2. Les règles de stockage sont-elles respectées ?					X
3. Les pièces de rechange sont-elles regroupées dans un catalogue qui précise tous les paramètres de gestion et tenue des stocks ?					X
4. Existe-t-il une analyse de dépenses par équipement ?					X
5. Existe-t-il une codification morphologique permettant d'éviter les doublons et permettre une standardisation ?					X
6. Existe-t-il une procédure efficace de réservation de pièces pour les travaux planifiés ?					X
7. Les pièces stratégiques sont-elles particulièrement identifiées et suivies ?					X
8. Existe-t-il une analyse systématique des pièces à forte valeur de consommation, afin d'en limiter le montant ?					X
9. Les écarts d'inventaires sont-ils inférieurs à 10 % ?					X
10. Existe-t-il une procédure de réception qualitative de la pièce de rechange ?					X

F. Contrôle des coûts globaux	0%	25%	50%	75%	100%
1. Existe-t-il un système de calcul des coûts directs de maintenance ?					X
2. Les budgets de maintenance sont-ils concertés entre production, qualité et maintenance ?					X
3. Les budgets sont-ils la traduction d'un plan d'actions reposant sur une analyse technique et économique ?					X
4. La structure maintenance reçoit-elle des informations permettant une comparaison par rapport aux objectifs ?					X
5. Fait-on une évaluation périodique des pertes de production imputables à l'indisponibilité et à la non capacité des moyens ?					X
6. Suit-on les dépenses par destination (équipements, chaînes de maintenance, centres de responsabilités...) ?					X
7. Existe-t-il un tableau de bord mensuel conjuguant résultats comptables, indicateurs de disponibilité et indicateurs d'états divers (préparation, urgences, sécurité...) ?					X
8. Existe-t-il un tableau de bord mensuel comportant des indicateurs de performance de la maintenance ?					X
9. Existe-t-il des indicateurs d'efficacité de la maintenance à travers les résultats de production (disponibilité et qualité) ?					X
10. La maintenance est-elle consultée sur le renouvellement ou achats de nouveaux équipements ?					X

G. Interfaces de la maintenance	0%	25%	50%	75%	100%
1. Existe-t-il une réunion journalière (production/maintenance/Qualité) de traitement des problèmes immédiats ?					X
2. Existe-t-il une réunion mensuelle production/ Qualité/maintenance de suivi des affaires communes et de planification des interventions ?					X
3. Existe-t-il une réunion trimestrielle production/Qualité/maintenance d'évaluation de la qualité de service ?					X
4. Existe-t-il une réunion annuelle production/Qualité/maintenance de définition de budget ?					X
5. Les dépenses de maintenance sont-elles communiquées aux « clients » de la maintenance ?					X
6. Les défaillances entraînant une baisse de la qualité sont-elles analysées avec le service qualité ?			X		
7. Le service maintenance est-il consulté par les achats sur le choix final des fournisseurs de pièces de rechange ?	X				
8. Les démarches de gestion des compétences sont-elles concertées avec la DRH ?			X		
9. Existe-t-il un retour d'informations de prestations de maintenance réalisées par la production ?		X			
10. La maintenance est-elle impliquée sur les points concernant l'hygiène, la sécurité et l'environnement ?					X

H. Ressources humaines et animation	0%	25%	50%	75%	100%
1. Le climat social en maintenance est-il favorable ?			X		
2. Existe-t-il une procédure de gestion des compétences ?		X			
3. La pyramide des âges est-elle un élément de gestion des personnels ?					X
4. Le personnel d'intervention et de méthode est-il formé aux concepts de la maintenance et de résolution des problèmes ?				X	
5. Existe-t-il une démarche de fonction et de perfectionnement du personnel de maintenance ?				X	
6. Connait-on la nature et le volume des compétences disponibles pour maintenir chaque installation ?				X	
7. Le management du personnel s'effectue-t-il avec des objectifs de résultat et de comportement ?				X	
8. Existe-t-il un système de suggestions faisant appel aux propositions du personnel ?	X				
9. La maintenance possède-t-elle une démarche de mobilité du personnel ?			X		
10. Existe-t-il un support d'information papier, informatique, permettant d'informer le personnel sur l'avis de son service ou de l'entreprise ?			X		

I. Stratégie d'utilisation des prestataires	0%	25%	50%	75%	100%
1. Le taux d'appel à la sous-traitance fait-il partie d'une démarche stratégique permanente ?					X
2. Le taux d'appel à la sous-traitance est-il jugé satisfaisant pour laisser la charge de travail ?					X
3. Existe-t-il une procédure de qualification de l'évaluation des entreprises prestataires ?					X
4. Les services achat et maintenance maîtrisent-ils parfaitement toutes les formes contractuelles ?					X
5. Le service maintenance est-il organisé pour gérer les contrats des prestataires ?					X
6. Existe-t-il une procédure permettant de conserver la connaissance acquise par les sous-traitants dans l'entreprise ?					X
7. Existe-t-il une démarche de réception des interventions réalisées par les prestataires ?					X
8. Existe-t-il une démarche d'audit des interventions réalisées par les prestataires ?					X
9. La sous-traitance est-elle utilisée pour réduire les frais de fonctionnement de la maintenance (externalisation d'ateliers de production de pièce par exemple) ?					X

J. Système d'information et utilisation de l'informatique	0%	25%	50%	75%	100%
1. Le programme d'amélioration de l'efficacité de la maintenance est-il supporté par un système d'information efficace ?					X
2. La maintenance utilise-t-elle la GMAO ?					X
3. La gestion des stocks est-elle informatisée ?					X
4. La gestion de la documentation est-elle informatisée ?					X
5. La maintenance possède-t-elle un système de CAO pour la réalisation de gamme et schémas ?					X
6. L'analyse des incidents est-elle informatisée ?					X
7. Les tableaux de bord sont-ils informatisés et présentés sous la forme de graphes ?					X
8. La maintenance utilise-t-elle des applications informatiques spécifiques (logiciels de simulation, AMDEC, Systèmes experts) ?	X				

2.2. Résultats et interprétations

Le tableau (2.3) montre les résultats obtenus synthétisés.

Synthèse générale	0%	25%	50%	75%	100%	Points	Pourcentage
A. Définition des missions et responsabilités	0	0	2	1	7	875/1000	87.5%
B. Méthodes de travail	0	0	1	0	8	850/900	94.44%
C. Préparation de la réalisation des opérations	1	0	0	1	8	875/1000	87.5%
D. Réalisation des opérations de maintenance	0	0	1	2	6	800/900	88.88%
E. Gestion et tenue des pièces de rechange	0	0	0	0	10	1000/1000	100%
F. Contrôle des coûts globaux	0	0	0	0	10	1000/1000	100%
G. Interfaces de la maintenance avec les autres services	1	1	2	0	6	725/1000	72.5%
H. Ressources humaines et animations	1	1	3	4	1	575/1000	57.5%
I. Stratégie d'utilisation des prestataires extérieurs	0	0	0	0	9	900/900	100%
J. Système d'information et utilisation de l'informatique	1	0	0	0	7	700/800	87.5%
Total						8300/9500	87.4%

Tableau 2.3 : Feuille de synthèse

Afin de mieux visualiser les résultats nous proposons de les présenter sous forme de graphe radar ou diagramme de Kiviat (figure 2.6).

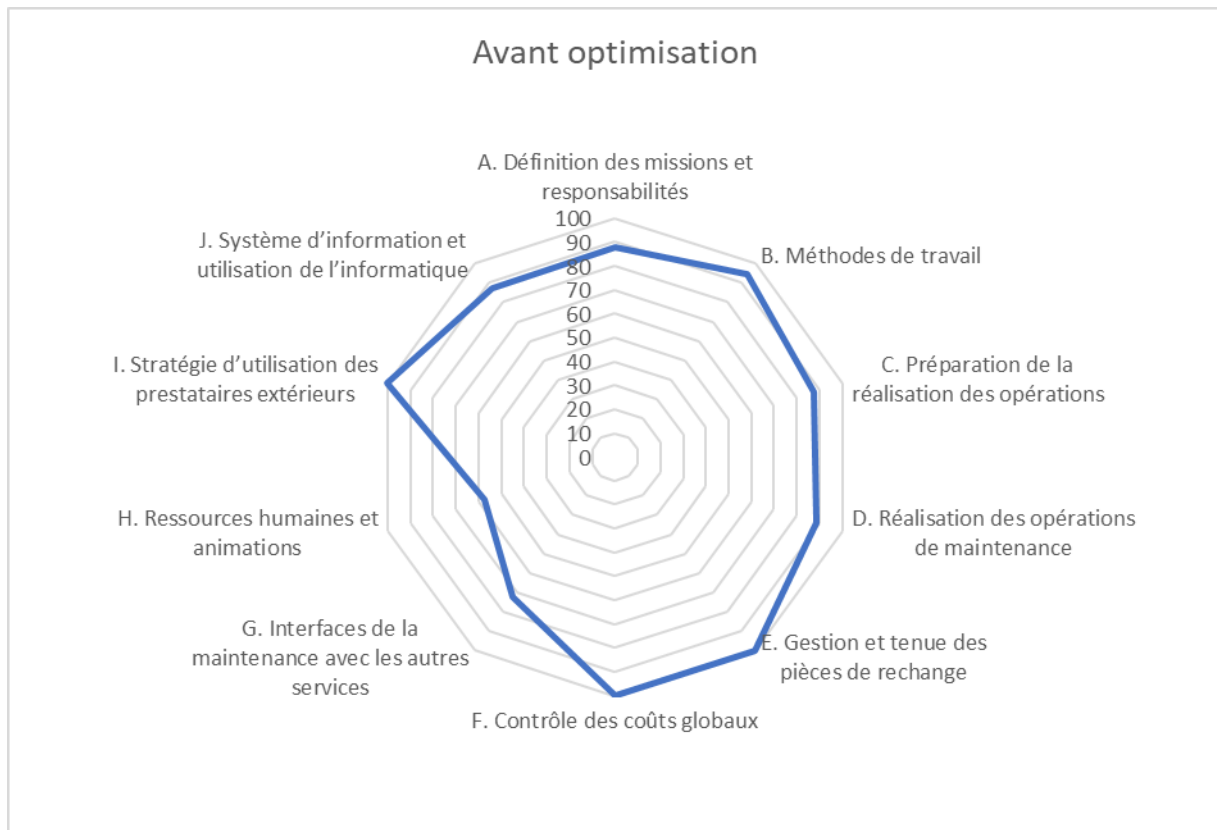


Figure 2.6 Diagramme de Kiviat montrant la situation de la maintenance avant optimisation

L'analyse des scores obtenus nous a permis de constater que le niveau global de la fonction maintenance au sein de l'entreprise Topping est de 87.4 %, ce qui place la fonction à un niveau plutôt exemplaire. Toutefois, 5 domaines ont nécessité notre attention :

a) Définition des missions et des responsabilités

Nous avons constaté que certaines missions et responsabilités ne sont pas bien connues au niveau du secteur, notamment pour :

- L'organigramme classique n'est pas connu des membres du personnel ou manque de précision ;
- Le tableau de bord des performances qui guide dans la prise de décisions des équipes autour d'un suivi d'objectifs est inefficace.

b) Préparation de la réalisation

Nous avons constaté des faiblesses dans les préparatifs dues à :

- Manque de formation du personnel des méthodes de maintenance aux méthodes d'analyse et de diagnostic.

c) Interface de la maintenance

Nous pouvons résumer ces faiblesses dans :

- La maintenance n'est pas rattachée à la qualité, le référentiel ISO série 9000 pour la qualité n'est pas respecté ;
- L'avis de la maintenance n'est pas consulté dans les achats de pièces de rechange ;
- Manque d'anticipation de la DRH afin d'identifier les profils les plus pertinents pour les former à leurs futures fonctions. Notamment en cas de mobilité interne ;
- Le service production ne participe pas aux définitions des programmes et à leur planification.

d) Ressources humaines et animation :

Nous avons constaté que la faiblesse de cette rubrique est due au :

- Manque des canaux de communication entre l'entreprise et les travailleurs (pas de procédure de gestion des compétences) ;
- Négligence des propositions des travailleurs ;
- Taux de rotation du personnel faible ;
- L'absence du support exprimant l'avis de l'entreprise sur la compétitivité du travailleur.

e) Système d'information et utilisation de l'informatique :

Nous avons constaté que certaines procédures ne sont pas appliquées :

- Absence d'applications informatiques spécifiques.

2.3. Critiques et propositions

a) Définition des missions et des responsabilités

- Mettre au profit du personnel de maintenance et faire savoir l'organigramme de l'entreprise et préciser les devoirs et responsabilités de chaque acteur. Ceci permettra de limiter les luttes d'expansion et les chevauchements des missions ;
- Définir un tableau de bord d'aide à la décision pour atteindre les objectifs préalablement définis dans le cadre d'une politique de maintenance claire et précise.

b) Préparation de la réalisation

- Les ressources concernées en maintenance sont celles qu'elle met en œuvre pour satisfaire la production, et également celles qui sont mises à sa disposition. Les ressources en maintenance sont essentiellement réalisées par des ressources humaines incluant compétences, expérience, formation et disponibilité, ainsi les résultats et l'efficacité des formations proposées. Un manque de formation du personnel de maintenance aux méthodes d'analyse et de diagnostic peut influencer considérablement sur le déroulement de la mission du service (temps, coût, moyens..). A ce propos la formation continue du personnel de maintenance aux différentes techniques et moyens d'analyse est indispensable.

c) Interface de la maintenance

- Rattacher la maintenance à la qualité. En effet, il existe un référentiel ISO pour la qualité (la série des ISO 9000), réalisation d'un audit qualité par le biais d'un référentiel et des certificateurs pour comparer la réalité aux exigences de la norme ;

- La maintenance ne participe pas à des réunions qualité qui n'ont pour but que d'identifier pourquoi l'entreprise constate des rebuts, on dialogue principalement avec la production ;
- La maintenance doit être consultée dans l'achat des pièces de rechange et de nouveau matériel pour l'entreprise (rattacher les travaux neufs à la maintenance).

d) Ressources humaines et animation

- Instaurer un sentiment de justice par un traitement juste et équitable des employés ;
- Être conscient des performances et des forces de ses employés, utiliser leurs forces à bon escient ;
- Mettre un plan d'action pour les démarches de compétences ;
- Prendre en compte les suggestions du personnel ;
- Mettre en place un système de rotation du personnel ;
- Mettre en place un support d'information papier, informatique, permettant d'informer le personnel sur l'avis de son service ou de l'entreprise.

e) Système d'information et utilisation de l'informatique :

- Mise en place d'applications informatiques spécifiques (logiciels de simulation, AMDEC, Systèmes experts).

La figure (2.7) montre la situation de la maintenance après la prise en compte des propositions formulées précédemment.

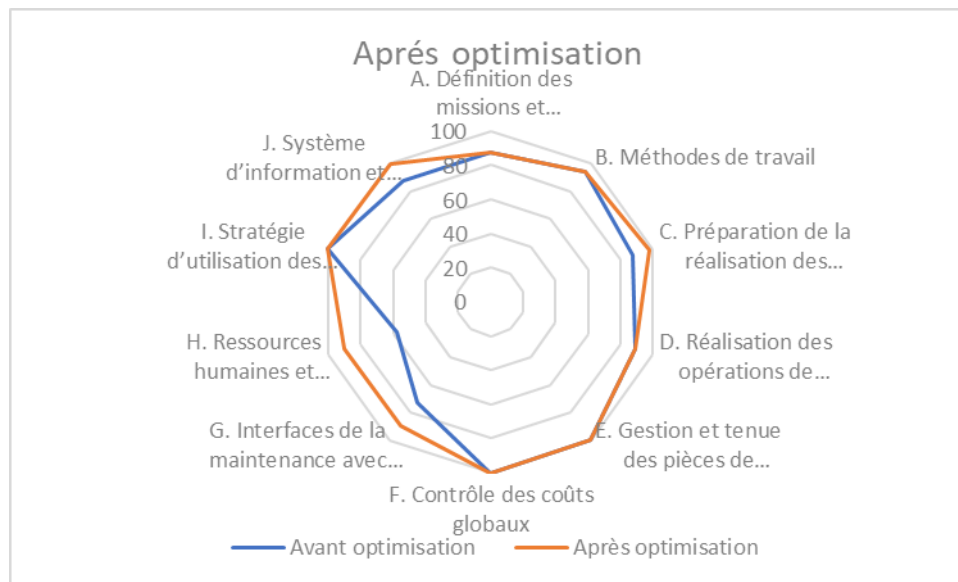


Figure 2.7 : Diagramme de Kiviati montrant la situation de la maintenance avant et après optimisation

3. Conclusion du chapitre

Dans ce chapitre nous avons présenté en premier lieu l'entreprise en général où nous avons passé notre stage pratique, ainsi que l'organisation de son département maintenance, les rôles, les fonctions et les différentes sections. En deuxième lieu nous avons procédé à l'étude critique de la maintenance au sein de la même entreprise. En effet après avoir remis un questionnaire au personnel concerné pour réaliser un audit sur la maintenance déjà existante, nous avons réalisé qu'il y avait de possibles améliorations en termes d'efficacité et de planification. Cette démarche avait pour but de nous situer et de savoir quelles sont les actions à mener afin d'améliorer l'efficacité globale de la maintenance au sein de l'entreprise pour atteindre un niveau d'excellence.

CHPITRE III

Optimisation de la sûreté de fonctionnement des installations industrielles de l'unité 100 du complexe RA2K Skikda

Partie 1 : Etude fiabiliste

1. Introduction

L'usine de condensat de garniture RA2K est une installation industrielle complexe ceci en raison de sa taille (elle comprend plusieurs unités), de sa capacité de traitement et du grand nombre de paramètres à régler et à contrôler. Ce système est utilisé pour traiter 5 M tonnes métriques pendant une période continue de 330 jours de condensat. Cette station est conçue pour le traitement de cinq charges différentes de condensats nommées comme suit : OB1 ALRAR, BEJAIA, RHOUD NOUSS, NEW OB1. Les produits finaux de l'unité comme le butane, le naphta, le kérosène, le gasoil léger (LGO) et lourd (HGO) sont stockés dans des réservoirs de stockage intermédiaires correspondant à une autonomie de fonctionnement d'environ quatre jours, après quoi ils sont envoyés à la raffinerie de Skikda RA1K pour les transactions commerciales. La complexité du système nécessite une supervision et une étude adéquate de tous les paramètres de criticité (Conditions générales de l'équipement, risque sécurité, risque industriel risque qualité, maîtrise du process, logistique de maintenance) et de fiabilité des équipements pour assurer un contrôle optimal de la disponibilité et un fonctionnement sûr [10].

2. Présentation de l'unité 100

L'unité est conçue pour une capacité de traitement de cinq million de tonnes par an. Elle est constituée principalement de 4 sections :

- Section de préchauffe ;
- Section de distillation du condensat ;
- Section de stabilisation de la coupe naphta ;
- Section de dépropanisation et séchage du butane.

- **Section 01 : préchauffage de la 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%.

- **Section 02 : distillation du condensat**

Cette section du procédé est principalement composée d'un préfractionneur, d'une tour atmosphérique et d'une tour sous vide. Elle est conçue pour séparer le condensât en naphta, kérosène, gasoil léger et gasoil lourd. Ces produits sont acheminés selon ce qui suit :

- Naphta léger : vers la section de stabilisation du naphta.
- Naphta lourd : vers stockage.
- Kérosène : vers l'unité de traitement du kérosène.
- Gasoil léger : vers stockage.
- Gasoil lourd : vers stockage.

La section de distillation du condensât comprend également trois fours ; il s'agit de deux fours rebouilleurs pour le préfractionneur et la tour atmosphérique, ainsi qu'un four atmosphérique qui sert à augmenter la température des résidus du préfractionneur avant qu'ils entrent dans la tour atmosphérique.

• Section 03 : stabilisation de la coupe naphta

La section de stabilisation du naphta est premièrement constituée d'un débutaniseur. Elle est conçue pour séparer le naphta léger du préfractionneur en GPL et en naphta stabilisé. Le naphta stabilisé est mélangé avec celui issu du préfractionneur et de la colonne atmosphérique, le mélange naphta sera acheminé vers le stockage. Le GPL est acheminé vers la dernière section.

• Section 04 : dépropanisation et séchage de butane

Elle est constituée d'un dépropaniseur et elle est conçue pour séparer le GPL de la section de stabilisation du naphta en butane et en propane. Le propane est utilisé en tant que combustible pour les fours et le butane est acheminé vers une unité de séchage avant d'être acheminé vers les sphères de stockage du complexe.

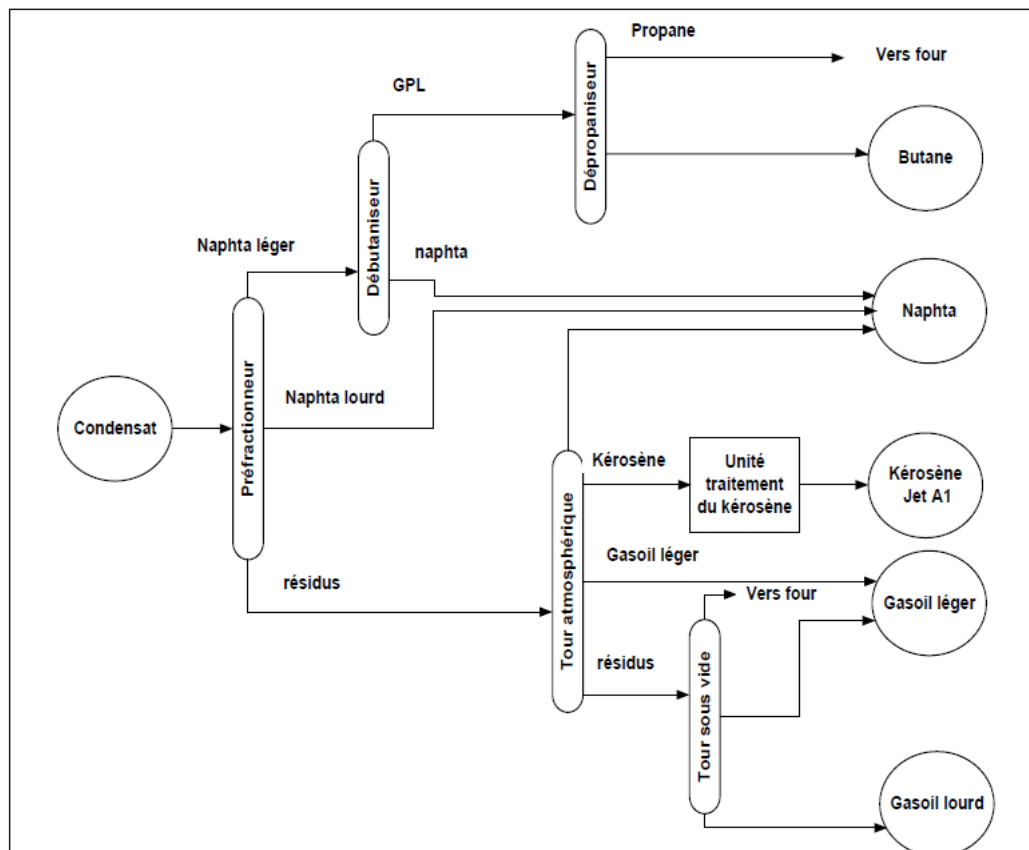


Figure 3.1 : Schéma synoptique de l'unité Topping de Condensât « U100 » [10]

2.1. Section de la colonne de préfractionnement (100-T101)

2.1.1. Colonne de préfractionnement

La colonne de préfractionnement (100-T-101) comporte 35 plateaux. La charge entre dans la colonne au plateau 28 et elle est séparée en trois coupes principales : Fond du préfractionneur, naphta de soutirage du préfractionneur, et naphta de tête du préfractionneur. Les vapeurs de tête de la colonne de distillation sont complètement condensées par les 100-E-101A-D et 100-A-101A-H (Refroidisseur à air de vapeur de tête du préfractionneur). Le liquide condensé est recueilli au Ballon de reflux du préfractionneur (100-V-101).

La séparation du naphta de tête du préfractionneur est contrôlée par une régulation de température et de pression localisée à la tête du préfractionneur et du ballon de reflux. Le régulateur de température réinitialise la valeur du reflux de tête et le régulateur de pression ajuste (règle) la pression. Lors du fonctionnement normal, aucun dégagement gazeux n'est produit dans 100-V-101. À partir de ce ballon de reflux, le produit de naphta du préfractionneur est pompé sous contrôle de niveau, par la pompe de naphta du préfractionneur (100-P-103A/B), à la section de stabilisation de naphta pour récupérer le GPL. Le reflux est acheminé à la tête de la colonne de distillation sous contrôle de température en cascade par l'écoulement par la pompe 100-P-102A/B (Pompe de reflux du préfractionneur) [12].

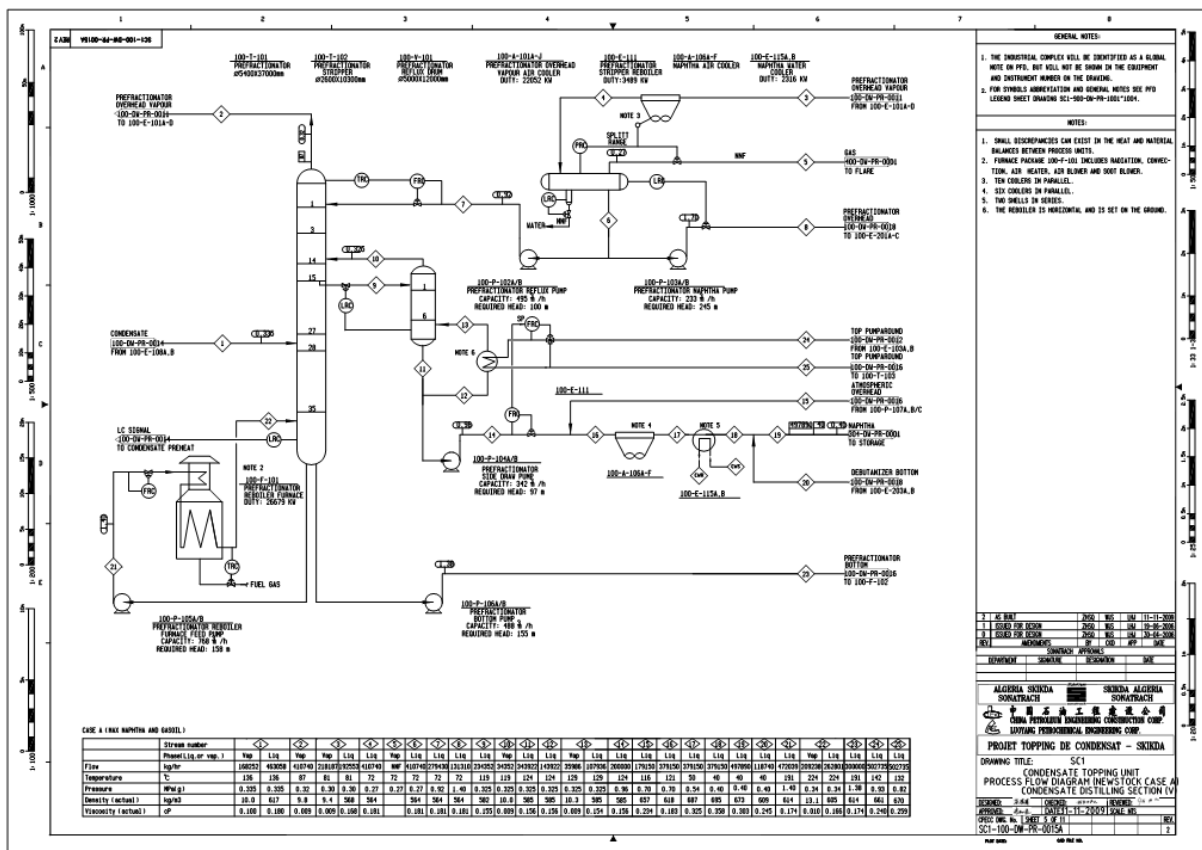


Figure 3.2 : PFD section préfractionnement du complexe RA2K [10]

2.1.2. Contrôle du procédé

La température supérieure de 100-T-101 est commandée par TRCA1004 qui règle le point de consigne du régulateur de débit du reflux supérieur FRC1003, selon la stratégie de régulation en cascade. Le niveau de 100-T-101 est commandé par le LRC1001 qui règle le point de consigne du régulateur de débit de la charge de condensat préchauffé FRC1002, selon la stratégie de régulation en cascade. La pression supérieure de 100-T-101 est contrôlée par le PRC1007 sur 100-V-101. il s'agit d'un régulateur à gamme divisées. Entre 0-50% de gamme d'entrée, il règle la vitesse du VFD de 100-A-101 A-H. Au-delà de 50% la gamme d'entrée le régulateur règle l'ouverture de PV-1007 déchargeant le gaz à la torche, en maintenant la vitesse des aérefroidisseurs à son degré maximal.

Le niveau de 100-V-101 est contrôlé par LRC1003 qui règle le point de consigne du débit de Naphta à la tête du préfractionner FRCA1005 à 100-E-201A-C, selon la stratégie de régulation en cascade. L'écoulement minimal dans la décharge de 100-P-103A/B est maintenu par le FRC1009, qui recycle la décharge de la pompe à 100-V-101 par une ligne d'écoulement minimal, le FT1009 devra capter un écoulement minimal dans la ligne de décharge de la pompe. Le niveau de l'interface au coude à patin d'eau de 100-V-101 est maintenu par LRC1004, qui ajuste l'ouverture de LV1004 [12].

2.1.3. Stripper du préfractionnement

Le naphta est retiré à partir du stripper du préfractionner (100-T-102) comme soutirage latéral de la colonne de distillation sous contrôle de niveau à partir du plateau 15. Le stripper du préfractionner (100-T-102) est équipé de 6 plateaux et un rebouilleur de type thermosiphon 100-E-111 (Rebouilleur de stripper d'Épuisement du préfractionneur).

La chaleur requise pour la désoxydation du naphta dans 100-E-111 est fournie par le dispositif de puisage de tête de la Colonne de distillation T103 (pumparound supérieure de T103), l'entrée est contrôlée par deux vannes de contrôle jumelées en parallèle avec des actions mutuellement opposées (si la vanne de contrôle à la conduite de fourniture de chaleur s'ouvre, la vanne sur la conduite de dérivation se ferme; et vice versa), ces actions sont fixées par l'écoulement du naphta du fond de stripper pour contrôler le débit du dispositif de puisage de la tête (pumparound supérieure) par 100-E-111.

Le naphta rectifié peut être acheminé au stockage directement comme produit finis. Non seulement il réduit l'action du rebouilleur du débutaniseur, mais également il améliore le taux de récupération de LPG. Le naphta rectifié est pompé, sous le contrôle de débit, moyennant 100-P-104A/B (La pompe de stripper du préfractionner) et mélangé avec le naphta de tête de la colonne atmosphérique. Le naphta mélangé est ensuite refroidis à la température de la limite de batterie de 40°C par aérefroidisseur de Naphta 100-A-106A-F, suivi de, B refroidisseur à eau de naphta 100-E-115A. Le naphta refroidis est combiné avec le fond du débutaniseur et envoyé au stockage comme produit de Naphta [12].

2.1.4. Contrôle du procédé

Le rebouillage des fonds 100-T-102 est commandé par la FRCA1004, qui règle le point de consigne de FIC1008, selon la stratégie de régulation en cascade. Le FIC 1008 règle les écoulements de soutirage supérieur 100-E-111 par FV1008A et sa déviation par FV1008B. Les réglages de débit de FV1008A et FV1008B sont opposés l'un à l'autre. Il signifie que si le débit

à travers FV1008A augmente, le débit à travers FV1008B diminue et vice versa. Le niveau de 100-T-102 est contrôlé par LRCA1002 qui règle l'ouverture de LV1002 à la ligne 1 d'évacuation latérale du préfractionneur à partir de T-101 à T102 [12].

2.1.5. Le rebouilleur de la colonne de préfractionnement

Une partie du fond du préfractionneur est pompée, sous contrôle de débit, au rebouilleur du préfractionneur (100-F-101) par la pompe d'alimentation 100-P-105A/B. Le produit rebouilli retourne à la colonne de distillation (100-T-101). Le réchauffeur dispose de six passes avec une passe individuelle équipée d'un régulateur de débit et un tronçon du débit bas. La température dans le four du rebouilleur est augmentée de 191 °C à 244 °C et la vaporisation de 50 % (pds) requise se produit. La partie radiante du four dispose d'un régulateur de température qui contrôle la combustion du combustible.

Les gaz de combustion à partir de trois chaudières passent par le préchauffeur à air et ils sont envoyés à la cheminée par les ventilateurs induits. L'air de combustion fourni par un ventilateur forcé est préchauffé dans le pré-réchauffeur d'air disponible pour la combustion de gaz combustible au niveau des trois fours. Le réchauffeur peut fonctionner avec les deux ventilateurs à tirage induit hors service. Le réchauffeur ne peut pas fonctionner sans air forcé du ventilateur à tirage forcé. Le système de combustion est composé de 10 brûleurs à gaz avec des pilotes à gaz auto aspirant et permanent. Le produit du fond du préfractionneur, sous contrôle de débit, est pompé par la pompe de fond (100-P-106A/B) vers le four atmosphérique à (100-F-102) [12].

2.1.6. Four atmosphérique

Dans le four atmosphérique (100-F-102), le produit de fond de la colonne de distillation est chauffé de 191°C à 216°C environ, comme alimentation (charge) de la colonne de distillation atmosphérique (100-T-103) au plateau 41. La vaporisation au four est d'environ 80%. Le Réchauffeur dispose de quatre passes avec une passe individuelle équipée d'un contrôleur de débit et une coupure pour un débit faible. La sortie radiante du four dispose d'un régulateur de température, qui contrôle la combustion du combustible. Le four est conçu avec des brûleurs à gaz combustible. Un balancier de passe similaire au rebouilleur du préfractionneur est également installé.

La chambre de combustion du four est équipée de systèmes d'instrumentation et de contrôle pour surveiller/contrôler la fourniture d'air de combustion. La température de la chambre de combustion, la poussée de voute du réchauffeur et les températures du métal du tube etc. des systèmes de sécurité appropriés sont disponibles pour éteindre le réchauffeur si les conditions du four dépassent les limites de conception. Le réchauffeur peut fonctionner avec les deux ventilateurs à tirage induit hors service. Le réchauffeur ne peut pas fonctionner sans air forcé du ventilateur à tirage forcé. Le système de combustion est composé de 8 brûleurs à gaz avec des pilotes à gaz auto aspirant et permanent.

3. Choix de l'installation critique

3.1. Choix basé sur l'approche ESIQPL

La démarche a impliqué au départ une décomposition de l'usine en différents sites de production, suivie d'un inventaire exhaustif de l'ensemble des équipements. L'analyse est limitée à l'observation de la criticité qui permet de mesurer les conséquences de chaque équipement sur la condition générale de l'équipement (E), sur la sécurité (S), risque industriel (I), sur la qualité (Q), la maîtrise du process (P), et la logistique de maintenance et maintenabilité (L). La criticité (CR) va se déterminer en multipliant entre elles les valeurs de chaque critère (voir chapitre 1). Ainsi dans notre cas, cinq équipements de l'unité 100 ont été retenus pour l'analyse. Le tableau (3.1) montre les résultats obtenus.

S	Site de production	E	S	I	Q	P	L	CR	Equipement
3	U-100	3	4	4	1	1	1	48	PM-106
2	U-100	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>1</u>	<u>4</u>	1	1	48	PM-105
2	U-100	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>1</u>	<u>3</u>	1	1	36	PM-103
2	U-100	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>1</u>	<u>3</u>	1	1	36	PM-104
2	U-100	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>1</u>	<u>3</u>	1	1	36	PM-102

Tableau 3.1 : Détermination de l'installation critique de l'unité 100

A l'issue de cette analyse plusieurs remarques sont à signaler :

- 1) Dans cette évaluation nous remarquons que les pompes 106 et 105 sont les plus critiques ;
- 2) Cette méthode montre que la pompe 105 est la plus critique d'un point de vue qualité du produit, ce qui entraîne des rebus matière qui seront traités dans la tour de distillation atmosphérique ;
- 3) Les pompes 106 affichent une criticité maximale sur le risque industriel, qui est de 4, ce qui implique un arrêt d'alimentation de la colonne de distillation atmosphérique qui va entraîner un arrêt de tout le site de production ;
- 4) On remarque que les pompes 106 et 105, qui sont dans la même unité de production (colonne de préfractionnement), ont le même degré de criticité. C'est sur ces machines que nous allons entamer une deuxième classification basée sur les graphes de Pareto pour donner un verdict final sur l'installation la plus critique.

3.2. Choix basé sur l'utilisation des graphes de Pareto

Les diagrammes de Pareto par criticité est un moyen de classement des problèmes par ordre d'importance, ils prennent la forme d'histogrammes. Ils permettent de sélectionner des mesures ciblées pour améliorer une situation. En maintenance ils sont au nombre de trois ; le graphe en « n » qui prend en considération le nombre de pannes et donc oriente vers la fiabilité, le graphe en « t » qui prend en considération les temps d'arrêt et oriente vers la maintenabilité, et enfin le diagramme en produit artificiel « n*t » qui oriente vers la disponibilité. Les figures (3.3), (3.4) et (3.5) montrent les résultats obtenus.

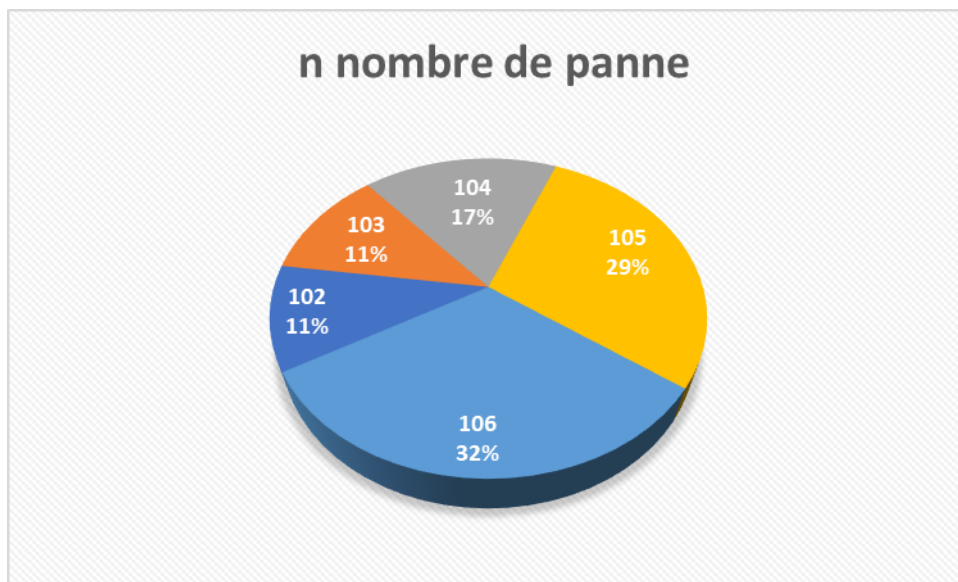
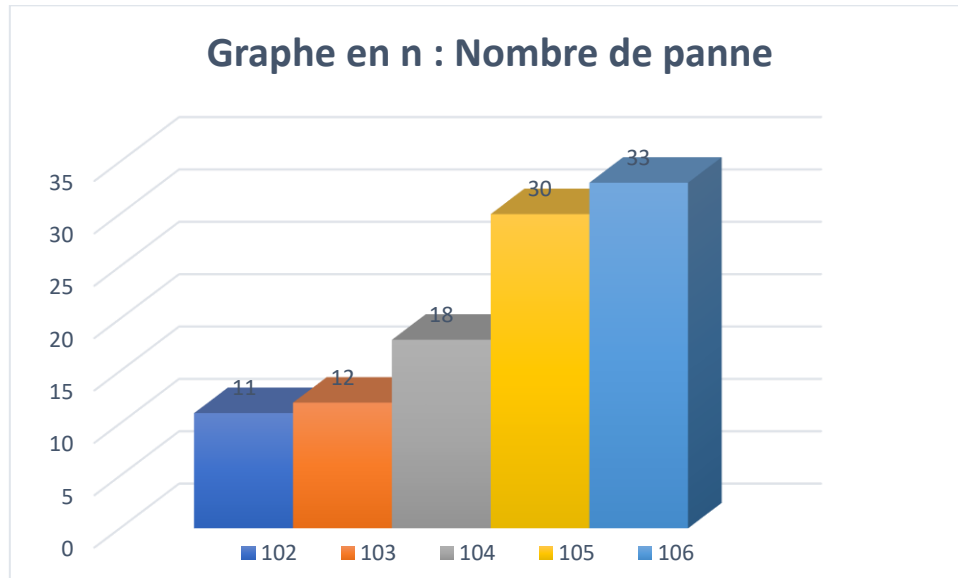


Figure 3.3 : Graphe en nombre de pannes ‘amélioration de la fiabilité’ et pourcentage correspondant

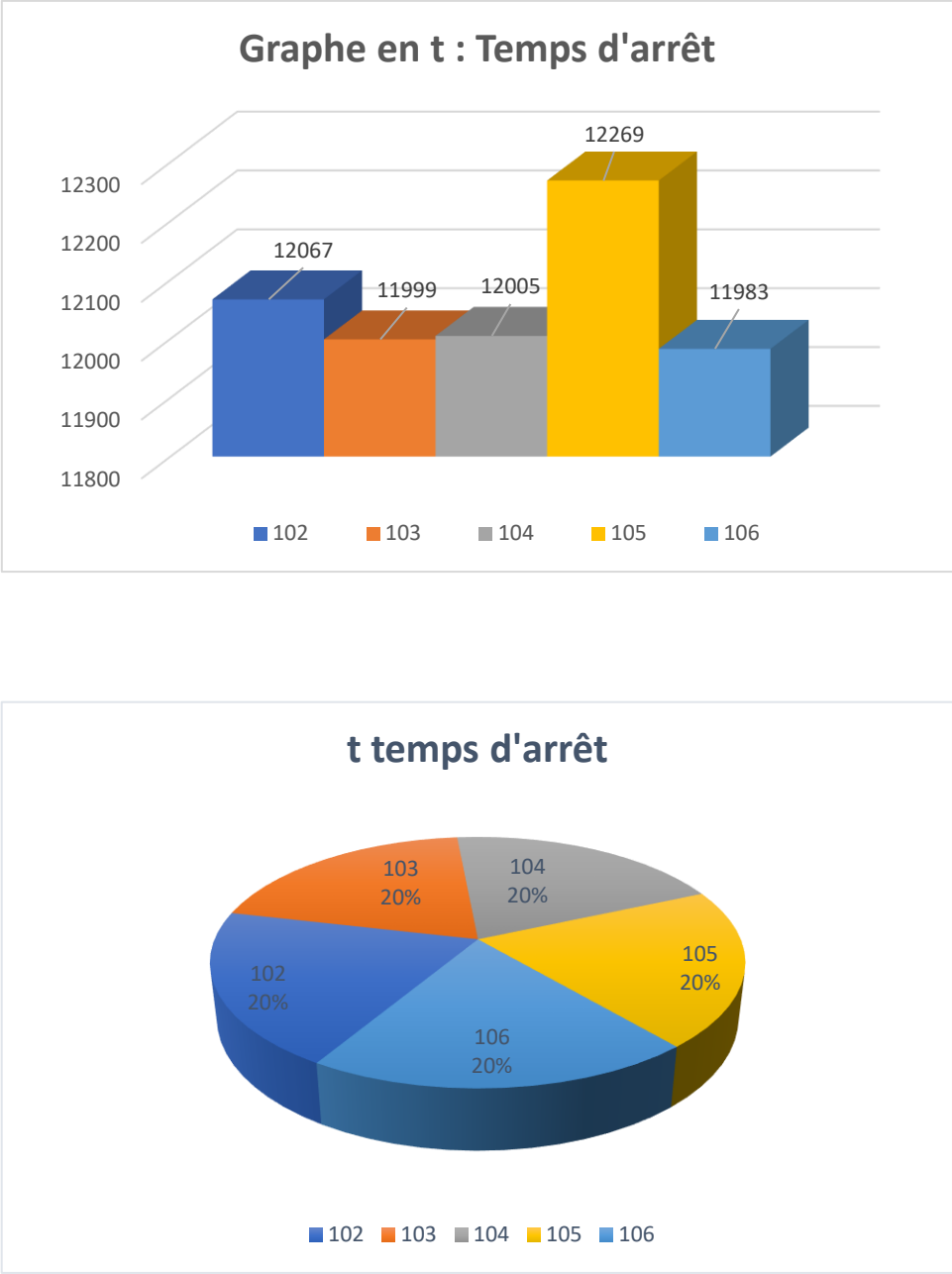


Figure 3.4 : Graphe en temps d’arrêt ‘amélioration de la maintenabilité’ et pourcentage correspondant

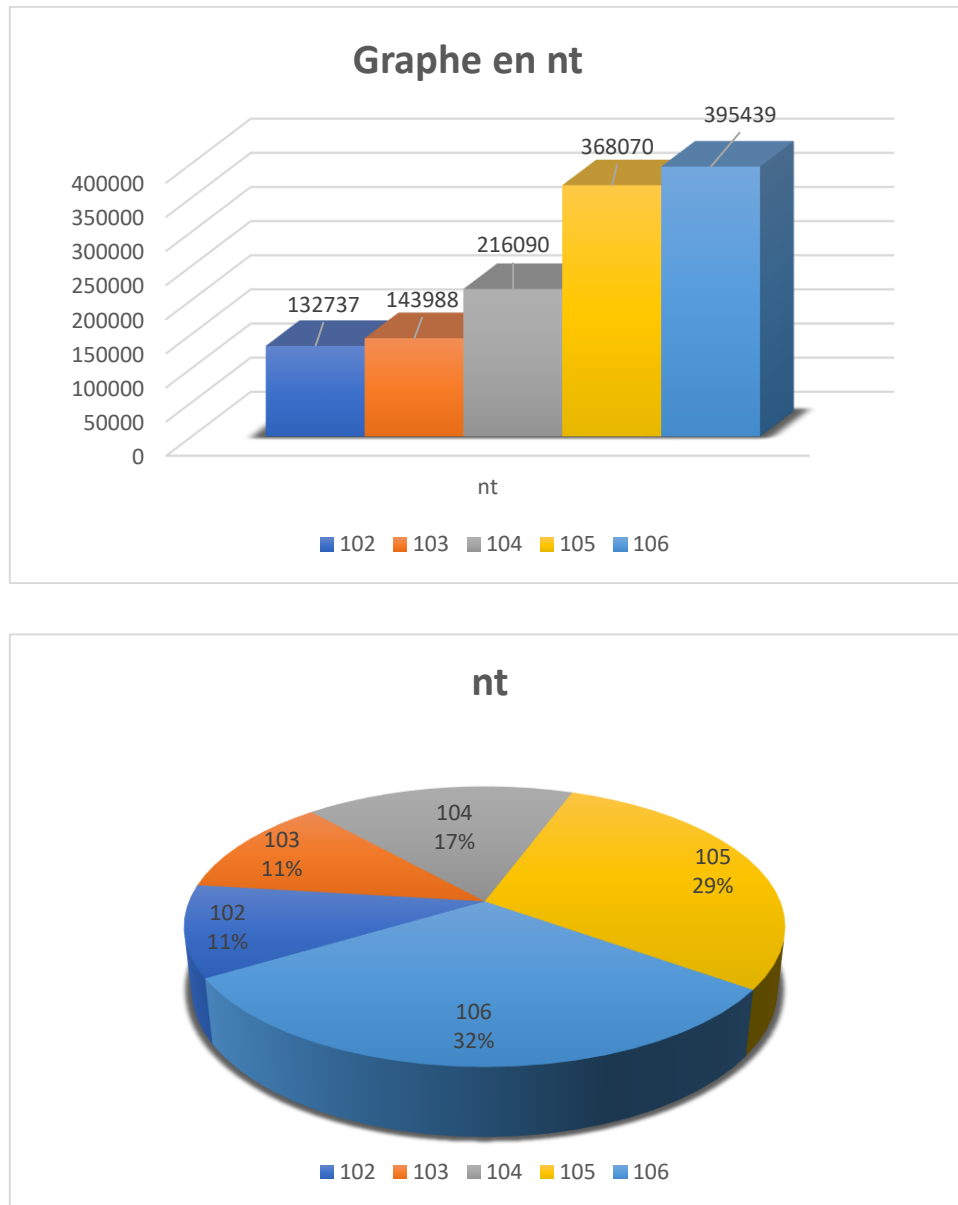


Figure 3.5 : Graphe en n*t ‘amélioration de la disponibilité’ et pourcentage correspondant

- **Interprétation des résultats**

- 1) La pompe 106 est prioritaire pour une amélioration de la fiabilité, elle comptabilise 33 pannes ce qui représente un taux de 32% du nombre total des pannes répertoriées pendant l’analyse ;
- 2) Toutes les pompes étudiées ont pratiquement le même nombre d’heures d’arrêt qui varie entre 11983 heures et 12269 heures ce qui implique un taux égal à 20% pour chacune. En conclusion il n’y a pas de machine prioritaire pour une amélioration de la maintenabilité ;

3) Enfin la pompe 106 est prioritaire pour une amélioration de sa disponibilité, son produit artificiel « n.t » est égal à 395439 soit un taux de 32% ;

Une amélioration de la sûreté de fonctionnement de la pompe 106 (deux pompes A et B travaillant en redondance passive) est donc indispensable. Pour ce faire nous allons appliquer l'approche OMF (Optimisation de la Maintenance par la Fiabilité) déjà discutée au chapitre 1. Cette approche comprend principalement trois phases dont la première est l'exploitation de l'historique (REX : Retour d'EXperiences) par la détermination des indicateurs de fiabilité. Une étude de fiabilité s'avère donc indispensable d'autant plus que la pompe 106 est prioritaire pour une amélioration de la fiabilité.

4. Etude de fiabilité de la pompe 106

4.1. Définition de la fiabilité

D'après la norme AFNOR X 60-010 : « **La fiabilité est l'aptitude d'un dispositif à accomplir une fonction requise dans des condition d'utilisation et pour un intervalle de temps donnés** ».

Le terme de fiabilité est utilisé comme une caractéristique indiquant une probabilité ou une proportion de succès. Autrement dit, est considéré comme fiable un système dont la probabilité de connaître une défaillance est faible. Le nombre de défaillances par unité de temps ou d'usage est donc le critère d'évaluation de la fiabilité [13].

4.2. Expressions mathématiques de la fiabilité

On désigne par T la variable aléatoire qui, à tout dispositif choisi au hasard dans la population, associe son temps de bon fonctionnement ou sa durée de vie avant une défaillance. Pour simplifier, l'origine des temps $t=0$ est choisie lorsque le dispositif est mis en marche pour la première fois. Notre variable t est donc une variable aléatoire continue à valeurs dans $[0 ; +\infty]$. La densité de probabilité de T , notée $f(t)$ est appelée la densité de défaillance.

a) Fonction de défaillance : on appelle fonction de défaillance la fonction F définie pour tout ($t \geq 0$) par :

$$F(t) = Prob(T \leq t) = \int_0^t f(t) . dt$$

$F(t)$ est la probabilité que le système ait une défaillance avant l'instant t .

b) Fonction de fiabilité : $R(t)$ est la probabilité que le système n'ait pas de défaillance avant l'instante t .

$$R(t) = Prob(T > t) = 1 - Prob(T \leq t) = 1 - F(t)$$

Ce qui donne : $F(t) + R(t) = \int_0^1 f(t) . dt + \int_t^\infty f(t) . dt = 1$

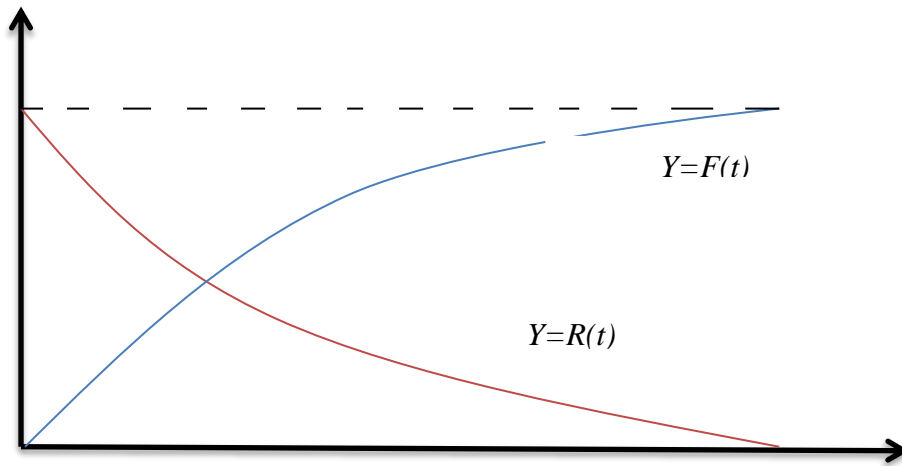


Figure 3.6 : Fonction de fiabilité $R(t)$ et de défaillance $F(t)$

c) **Taux de défaillance** : Par hypothèse, la probabilité conditionnelle de défaillance entre (t) et $(t+dt)$ est de la forme :

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

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

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

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

$$\begin{aligned} R(t) &= e^{-\int_0^t \lambda(t).dt} \\ F(t) &= 1 - R(t) = 1 - e^{-\int_0^t \lambda(t).dt} \\ f(t) &= \lambda(t).R(t) = \lambda(t).e^{-\int_0^t \lambda(t).dt} \end{aligned}$$

Sachant que :

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

d) **Moyenne des temps de bon fonctionnement (MTBF)** : c'est la moyenne de la variable aléatoire T définie départ

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

Elle représente l'espérance de vie du dispositif.

4.3. Modèles de fiabilité : Modèle de Weibull

Les expressions des lois de fiabilité précédentes sont difficiles à résoudre. Pour évaluer la fiabilité, il est donc nécessaire de recourir à certains outils mathématiques de calcul de probabilité. Plusieurs modèles de fiabilité sont disponibles dans la littérature : Modèle exponentiel, Weibull, normal, log normal, etc. Dans notre cas, on se limitera à l'utilisation du modèle de Weibull désigné comme étant le plus souple des modèles.

4.3.1. Principe

Ce mathématicien et ingénieurs Suédois a choisi une loi sous forme de puissance (calcul facile d'intégrales) avec 3 paramètres (β , γ , η) qui permettent d'ajuster toutes sortes de résultats expérimentaux et opérationnels. Contrairement à la loi exponentielle, la loi de Weibull convient quel que soit le taux de défaillance. Grâce à sa souplesse elle s'adapte à toutes les valeurs de $\lambda(t)$ mais permet en plus de déterminer dans quelle période de sa vie (jeunesse, maturité, obsolescence) se trouve le système étudié. Outre son adaptabilité à toute situation, le modèle de Weibull livre d'autres informations en plus du niveau de fiabilité d'un dispositif à un instant t . Les trois paramètres (β , γ , η) de son expression, permettent une analyse plus fine et donc une image plus précise de l'état du système [14].

Le paramètre de forme β (avec : $\beta > 0$) fournit des indications à la fois qualitatives et quantitatives du taux de défaillance instantané (figure 3.7) :

- Si : $\beta < 1 \Rightarrow \lambda(t)$ est décroissant, indication qui précise que le système est en période de jeunesse ;
- Si : $\beta \approx 1 \Rightarrow \lambda(t)$ est constant (signe d'un comportement régulier du système). C'est donc la période de maturité, la plus longue dans le cycle de vie d'un matériel ;
- Si : $\beta > 1 \Rightarrow \lambda(t)$ est croissant, indication qui précise que le système est en période d'obsolescence (vieillesse). Dans ce cas, une analyse plus fine donne :
 - Si : $1.5 < \beta < 2.5 \Rightarrow$ phénomène de fatigue ;
 - Si : $\beta > 3.5 \Rightarrow$ obsolescence avancée du dispositif.

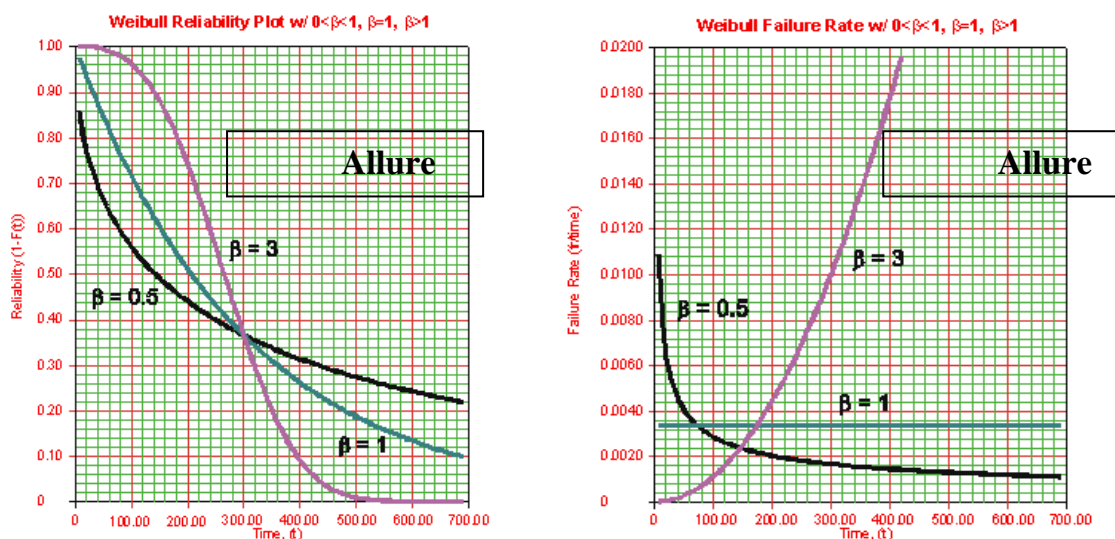


Figure 3.7 : Allures de $R(t)$ et de $\lambda(t)$ pour différentes valeurs de β

Le paramètre de position γ (avec : $-\infty < \gamma < +\infty$) indique la date de début des défaillances :

- Si : $\gamma < 0 \Rightarrow$ les défaillances ont débuté avant l'origine des temps de l'échantillon ;
- Si : $\gamma = 0 \Rightarrow$ les défaillances ont débuté à l'origine des temps ;
- Si : $\gamma > 0 \Rightarrow$ aucune défaillance entre $(t = 0)$ et $(t = \gamma)$.

Le paramètre d'échelle η (avec : $\eta > 0$) permet la détermination de la MTBF et de l'écart type de la distribution à l'aide de la table de la loi de Weibull.

4.3.2. Expressions des lois de fiabilité selon le modèle de Weibull

a. Densité de probabilité $f(t)$

La densité de probabilité $f(t)$ est donnée par l'expression suivante :

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^\beta} \quad \text{Avec : } (t \geq \gamma).$$

b. Fonction de défaillance $F(t)$ et fonction de fiabilité $R(t)$

La fonction de défaillance $F(t)$ est donnée par l'expression suivante :

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

c. La fiabilité correspondante est donc $R(t) = 1 - F(t)$:

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

c. Taux instantané de défaillance $\lambda(t)$

Le taux de défaillance instantané est donné par l'expression :

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

d. Espérance mathématique (MTBF) e

L'espérance mathématique (MTBF) est donnée par l'expression suivante :

$$MTBF = A\eta + \gamma \quad (A \text{ est un paramètre déterminé en fonction de } \beta)$$

4.3.2. Détermination des paramètres de Weibull

Le travail principal consiste à déterminer les trois paramètres de Weibull qui permettent d'ajuster le modèle. Pour cela nous disposons de deux méthodes : l'une graphique faisant intervenir un papier dit papier de Weibull ou d'Allen-Plait. La deuxième est relativement récente, elle est basée sur l'utilisation de logiciels de calcul, de ce fait elle est plus rapide et plus précise. Parmi les logiciels de fiabilité nous pouvons citer Weibull++ et Fiaboptim, ce dernier

que nous allons utiliser dans la section suivante.

4.4. Etude de la fiabilité de la motopompe 106

4.4.1. Présentation du logiciel FAIBOPTIM

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

FIABOPTIM a également été développé dans le souci d'une grande simplicité d'utilisation pour convenir aussi bien au spécialiste qu'au néophyte. Un grand soin a donc été apporté à la logique de l'enchaînement des opérations du logiciel ainsi qu'à sa présentation pour aboutir à une simplicité et une convivialité 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 [15].

4.4.2. Présentations des données et des résultats obtenus

Nous allons dans la partie qui suit présenter l'étude de la fiabilité du système de pompage qui est constitué de deux pompes PM-106A et PM-106B qui travaillent en redondance passive (une pompe travaille, l'autre est en attente). Notons que les données de base pour entamer une étude de la fiabilité sont les Temps de Bon Fonctionnement (TBF). Ceux-ci ont été calculés à partir de l'historique des pannes de chaque pompe disponible dans le logiciel de GMAO (Gestion de la Maintenance Assistée par Ordinateur) de l'entreprise. Le modèle de fiabilité utilisé est celui de Weibull étant le modèle le plus souple et le plus utilisé en pratique. Il est important à noter que la pompe travaille 24h/24h.

4.4.2.1. Pompe PM-106 A

- TBF calculés à partir de la GMAO

<i>Panne</i>	<i>TBF (heures)</i>
01	2712
02	3000
03	3648
04	2976
05	9840
06	1320
07	3936
08	3624

- **Paramètres du modèle**

La figure (3.8) montre les points tracés et l'ajustement proposé par le logiciel. Après application du modèle de Weibull via le logiciel, nous avons obtenu les paramètres suivants :

Beta = 1.24

Eta = 3519.75 h

Gamma = 848.23

MTBF = 4128 h

Plusieurs remarques sont à signaler :

1. Le fait que le paramètre β est supérieur à 1 indique que la pompe 106-A est en période de vieillesse, la politique de maintenance à appliquer doit se faire sur cette base ;
2. Le paramètre Gamma indique qu'aucune défaillance ne se produit avant 848 heures de fonctionnement ;
3. La pompe travaille en moyenne 4128 heures avant de subir une panne. La détermination de la MTBF est très indispensable pour la mise à jour du plan de maintenance préventive de la pompe.

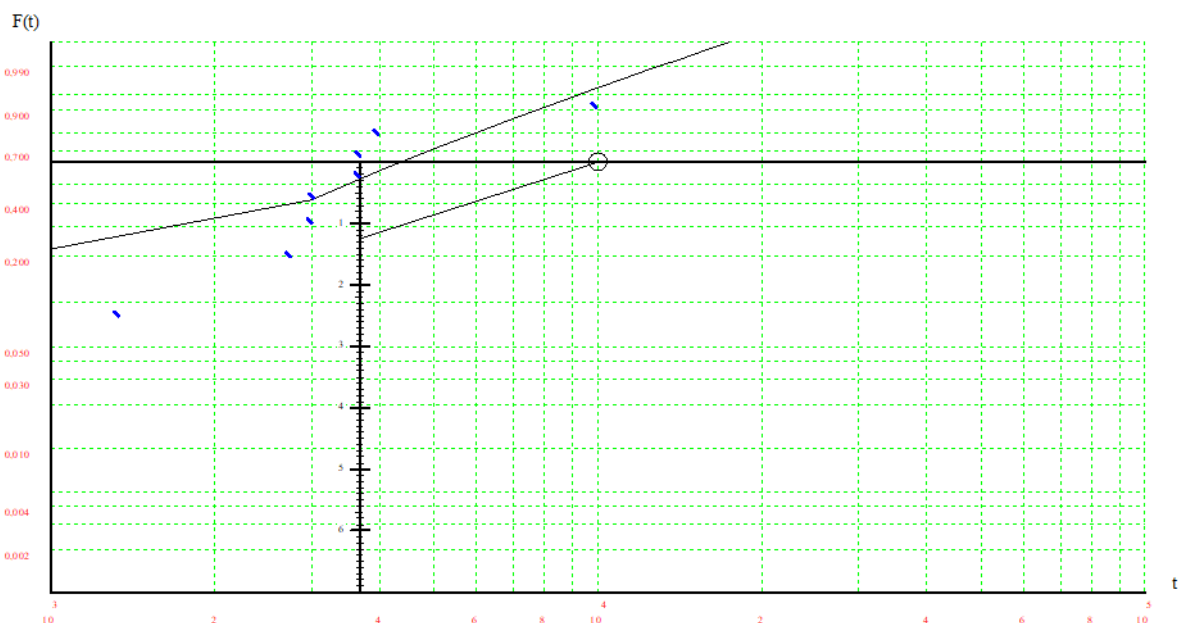


Figure 3.8 : Représentation des TBF sur le papier de Weibull

- **Lois de fiabilité**

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

$$F(t) = 1 - R(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} = 1 - e^{-\left(\frac{t-848.23}{3519.75}\right)^{1.24}}$$

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

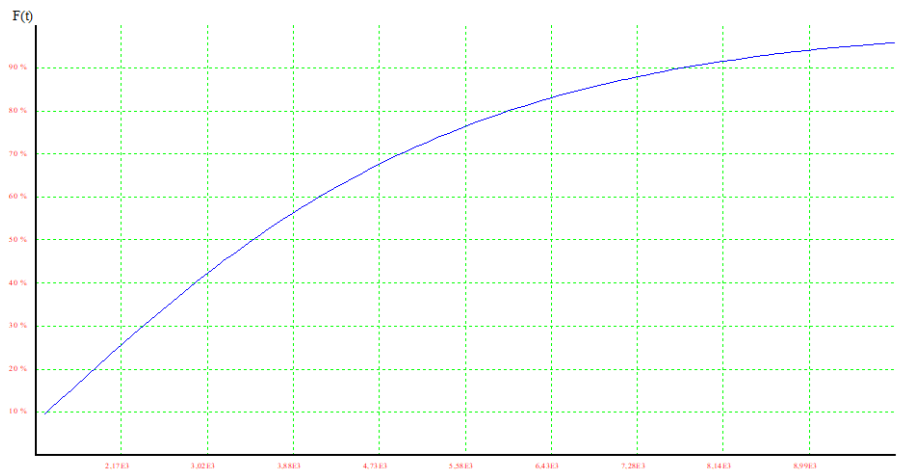


Figure 3.9 : Fonction de défaillance F(t)

La fonction de fiabilité est donnée par l'équation de R(t), elle permet d'estimer la fiabilité de la pompe à n'importe quel instant :

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} = e^{-\left(\frac{t-848.23}{3519.75}\right)^{1.24}}$$

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 40%, ce qui implique que la pompe a 40 % de chances d'atteindre la MTBF, ceci confirme parfaitement la conclusion qu'elle n'est plus fiable.

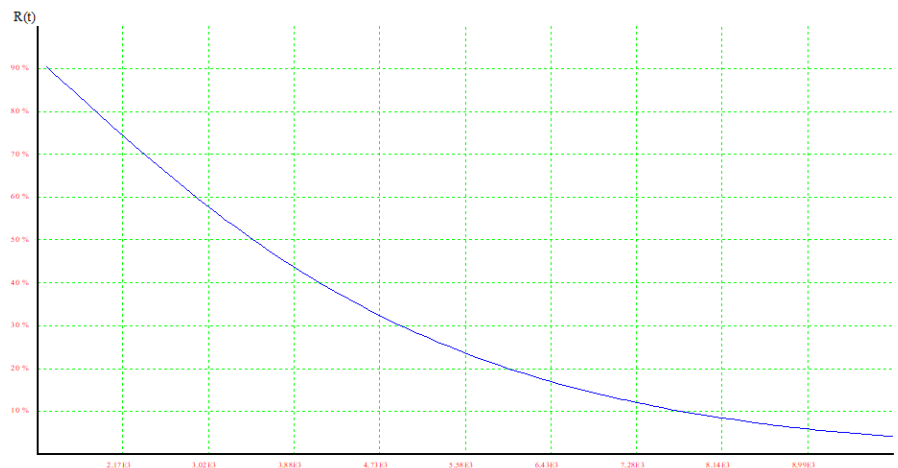


Figure 3.10 : Fonction de fiabilité R(t)

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

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} = \frac{1.24}{3519.75} \left(\frac{t-848.23}{3519.75}\right)^{0.24} \cdot e^{-\left(\frac{t-848.23}{3519.75}\right)^{1.24}}$$

La figure (3.11) montre que cette fonction est décroissante avec le temps. Elle montre également qu'il y a des pannes qui se manifestent bien avant la MTBF.

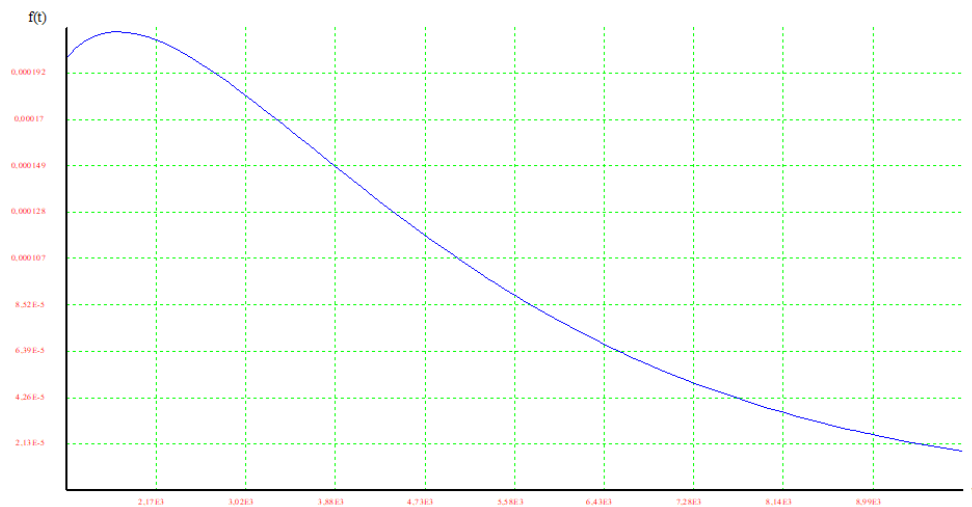


Figure 3.11. Densité de probabilité de défaillance $f(t)$

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

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} = \frac{1.24}{3517.75} \left(\frac{t + 84.23}{3519.75} \right)^{0.24}$$

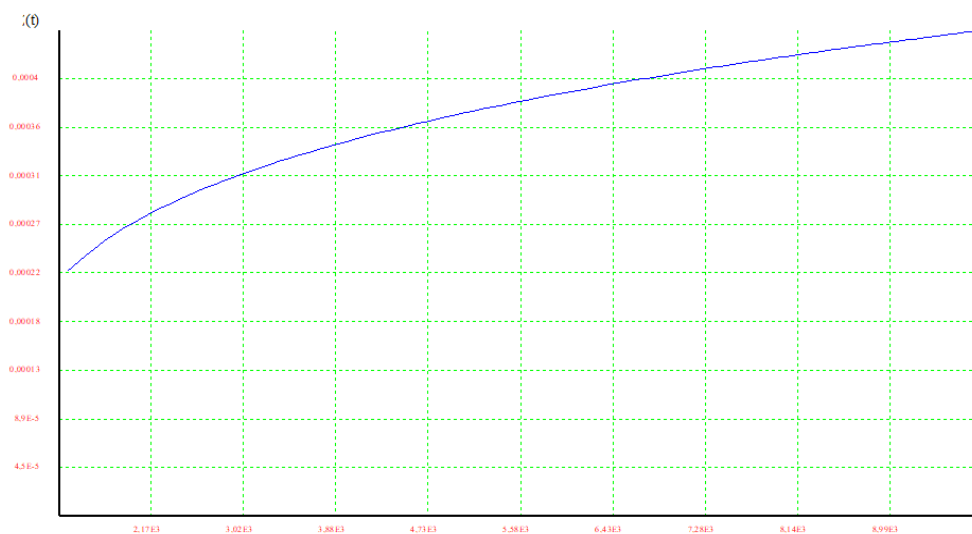


Figure 3.12 : Taux de défaillance $\lambda(t)$

Le taux de défaillance affiche une allure croissante, ceci est expliqué par le fait que le paramètre Beta de la loi de Weibull est supérieur à 1. **En conclusion cette pompe est en phase de vieillesse, il faut appliquer une politique de maintenance basée sur du préventif et du correctif accrue. Vu l'importance de cette pompe, des visites préventives sont également à programmer dont les périodes seront définies en fonction de la MTBF calculée par le logiciel et le planning de maintenance de l'entreprise.**

4.4.2.2. Pompe PM-106 B

- **TBF calculés à partir de la GMAO**

<i>Panne</i>	<i>TBF (heures)</i>
01	2832
02	5542
03	8710
04	5878
05	5446
06	7870
07	5014
08	286
09	13774
10	8662
11	958
12	1006
13	4414
14	10390

- **Paramètres du modèle**

La figure (3.13) montre les points tracés et l'ajustement proposé par le logiciel. Après application du modèle de Weibull via le logiciel, nous avons obtenu les paramètres suivants :

Beta = 1.65

Eta = 7694 h

Gamma = -1262

MTBF = 5616 h

Plusieurs remarques sont à signaler :

1. Le fait que le paramètre β est supérieur à 1 indique que la pompe 106-B est en période de vieillesse, la politique de maintenance à appliquer doit se faire sur cette base ;
2. Le paramètre Gamma étant négatif indique que les défaillances ont débuté avant l'origine des temps ;
3. La pompe travaille en moyenne 5616 heures avant de subir une panne. La détermination de la MTBF est très indispensable pour la mise à jour du plan de maintenance préventive de la pompe.

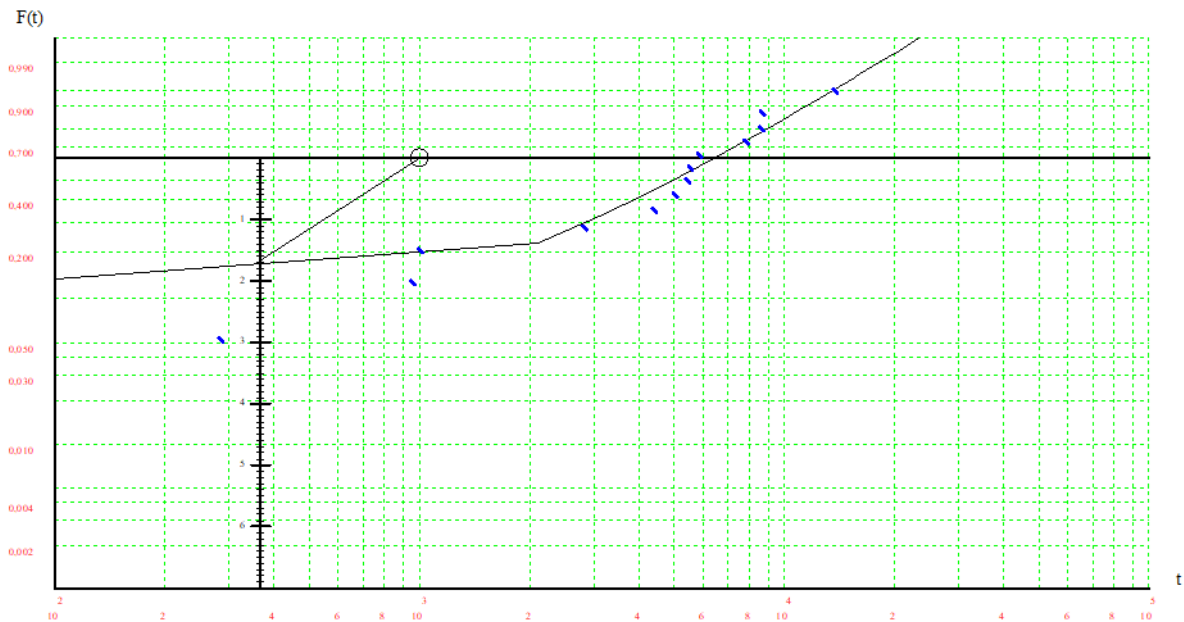


Figure 3.13 : Représentation des TBF sur le papier de Weibull

• **Lois de fiabilité**

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

$$F(t) = 1 - R(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} = 1 - e^{-\left(\frac{t+1262}{7694}\right)^{1.65}}$$

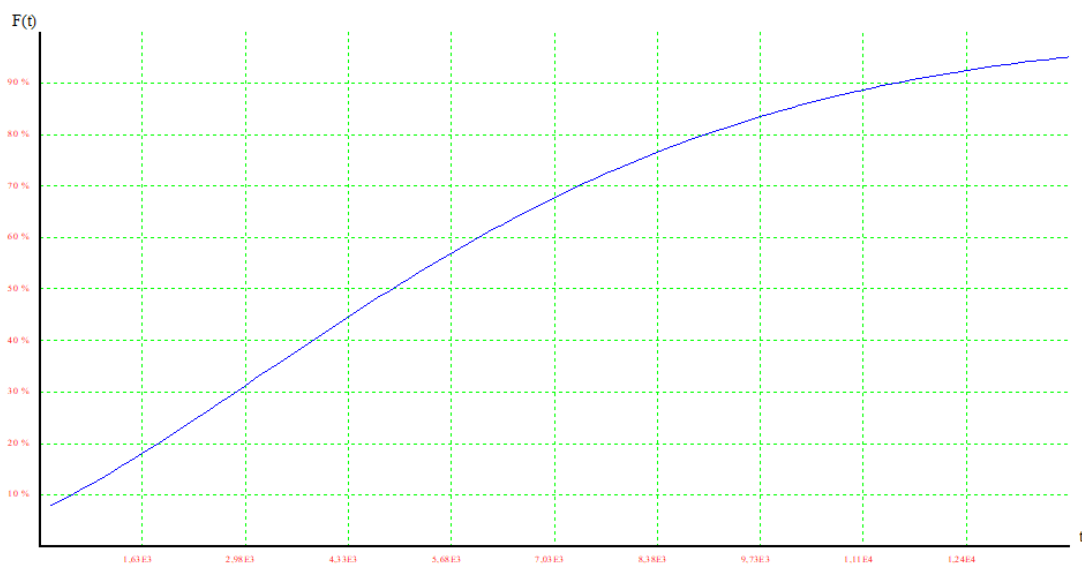


Figure 3.14 : Fonction de défaillance $F(t)$

Cette fonction est croissante avec le temps, ce qui est parfaitement logique car la probabilité d’avoir une panne augmente avec le temps. La valeur de cette fonction pour $t=MTBF$ est égale à 56%, ce qui implique que la pompe a 56 % de chances d’avoir une panne avant d’atteindre la MTBF, ceci confirme qu’elle n’est pas fiable.

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

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} = e^{-\left(\frac{t+1262}{7694}\right)^{1.65}}$$

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%, ce qui implique que la pompe à 43 % de chances d'atteindre la MTBF, ceci confirme parfaitement la conclusion qu'elle n'est pas fiable.

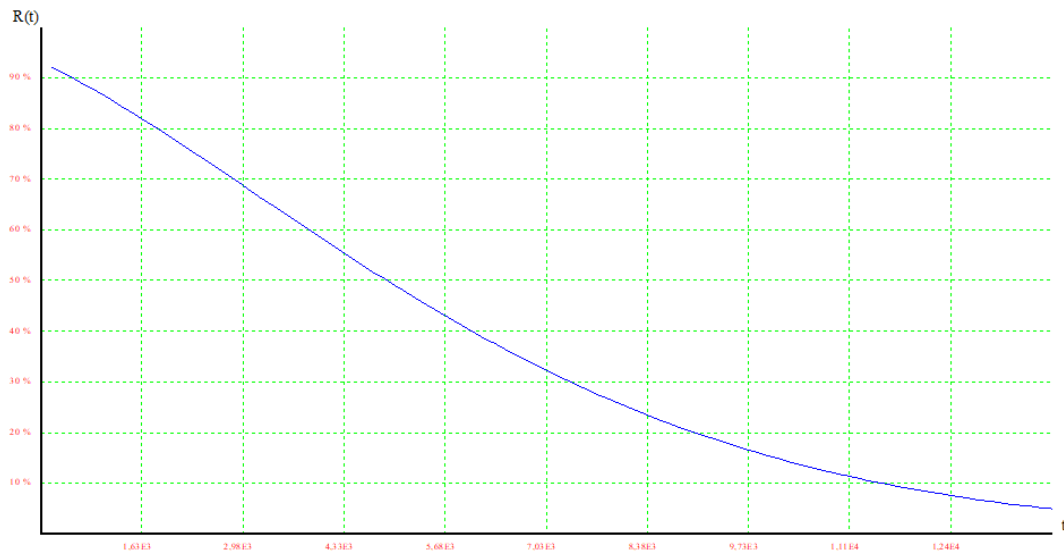


Figure 3.15 : Fonction de fiabilité R(t)

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

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} = \frac{1.65}{7694} \left(\frac{t+1262}{7694}\right)^{0.65} \cdot e^{-\left(\frac{t+1262}{7694}\right)^{1.65}}$$

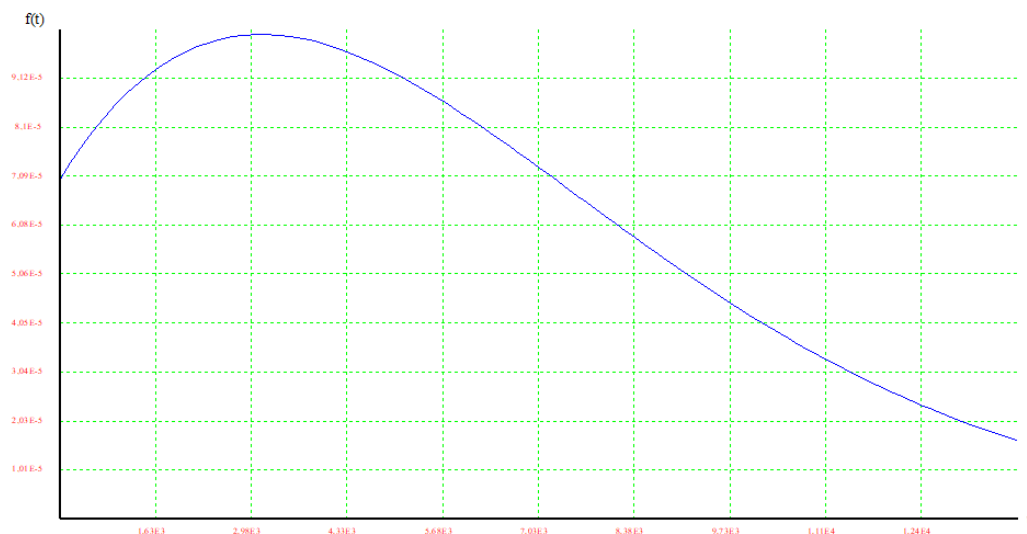


Figure 3.16 : Densité de probabilité de défaillance f(t)

La figure (3.16) montre que cette fonction est décroissante avec le temps. Elle montre également qu'il y a des pannes qui se manifestent bien avant la MTBF.

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

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} = \frac{1.65}{7694} \left(\frac{t + 1262}{7694} \right)^{0.65}$$

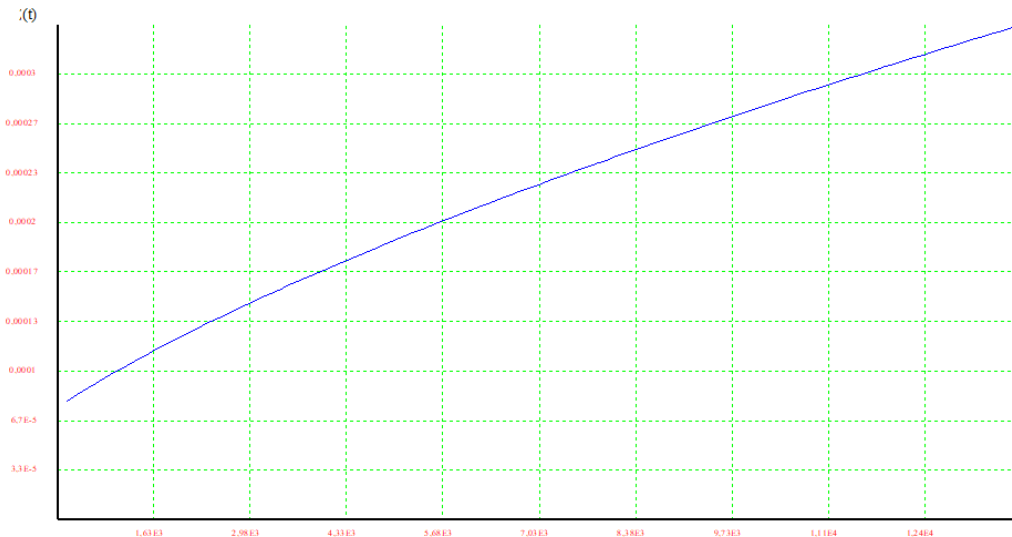


Figure 3.17 : Taux de défaillance

Il affiche une allure quasiment croissante avec le temps, ceci est expliqué par la valeur du paramètre Beta du modèle qui est supérieur à 1.5 (1,65). **Donc cette pompe est en pleine période de vieillesse (Fatigue), il faut appliquer une maintenance corrective et préventive conditionnelle, une surveillance accrue. Vu l'importance de cette pompe, des visites préventives sont également à programmer dont les périodes seront définies en fonction de la MTBF calculée par le logiciel et le planning de maintenance de l'entreprise.**

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

Le problème que se pose le technicien de maintenance lorsqu'il fait une étude de fiabilité est : comment peut-il l'améliorer ? Pour cela, il peut intervenir sur la technologie du composant, ou agencer les composants ou sous-systèmes de manière à les rendre plus fiables par l'utilisation de redondances. Il existe plusieurs types de redondances, nous aborderons les plus utilisées, à savoir : Redondances actives et redondances passives [16].

4.4.3.1. 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.

• **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 (3.18) montre le schéma bloc d'un système série.

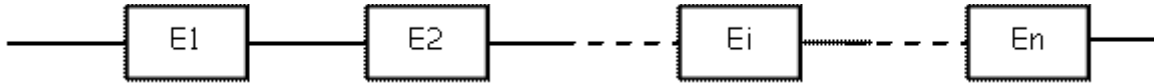


Figure 3.18 : Schéma bloc d'un système série

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

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

• **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 (3.19) montre les schémas bloc d'un système parallèle à deux et n éléments.

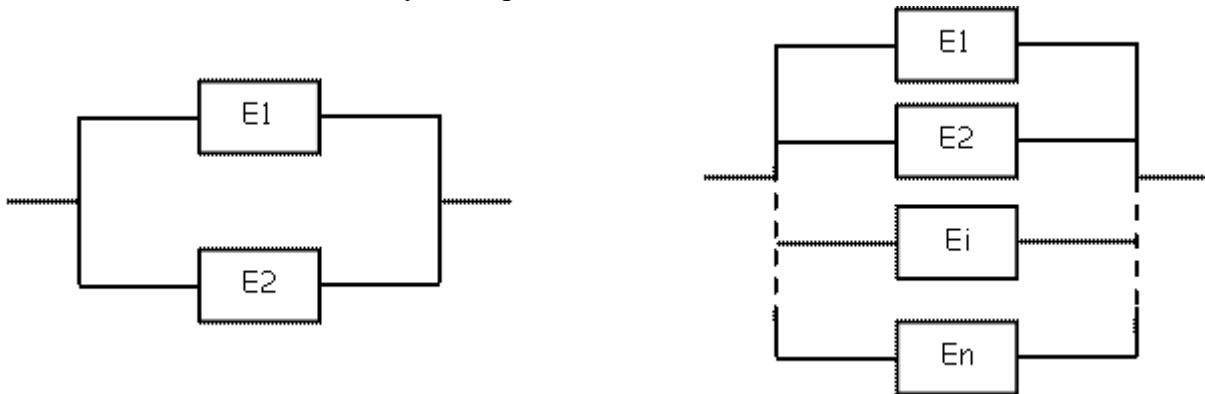


Figure 3.19 : Système parallèle à 2 et n éléments

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

$$R_s = R1 + R2 - R1.R2$$

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

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

4.4.3.2. 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 (3.20) montre l'exemple d'une redondance passive à 2 et n éléments.

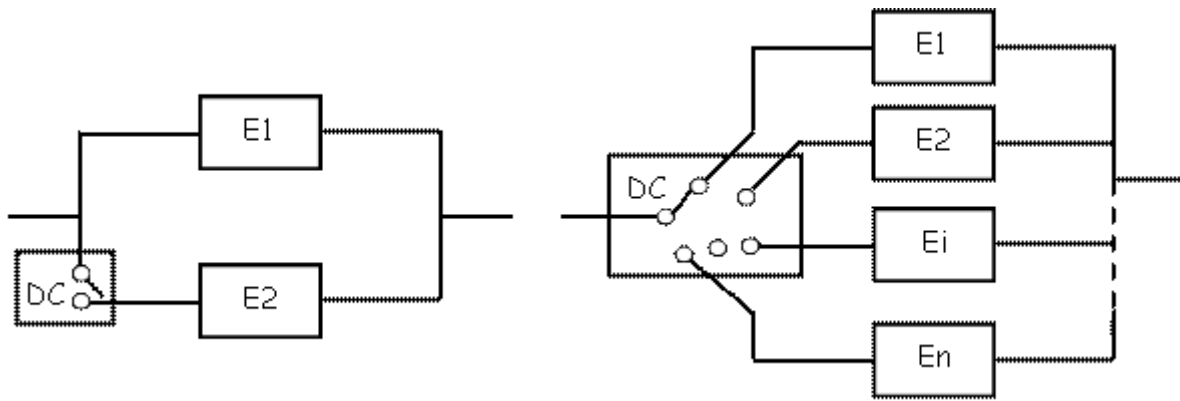


Figure 3.20 : Schéma bloc d'un système à redondance passive à 2 et n éléments

Pour le cas de deux éléments et en mettant en hypothèse que le taux de défaillance des éléments E1 et E2 est constant et égal respectivement à λ_1 et λ_2 avec : $R1 = e^{-\lambda_1 t}$ et $R2 = e^{-\lambda_2 t}$, la fiabilité du système revient, tout calcul fait, à :

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

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

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

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

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

4.4.3.3. Application au système étudié : ensemble pompe 106A et 106B

Le système en question est composé de deux pompes qui travaillent en redondance passive (une pompe travaille, l'autre est en attente). Les données relatives à l'élément DC ne sont pas disponibles donc :

- **Fiabilité du système entier**

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

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

Pour la pompe A

$$\lambda_{(A)} = \frac{1}{MTBF}$$

$$\lambda_{(A)} = \frac{1}{4128}$$

$$\lambda_{(A)} = 0.0002 \text{ pannes/heure}$$

Pour la pompe B

$$\lambda_{(B)} = \frac{1}{MTBF}$$

$$\lambda_{(B)} = \frac{1}{5616}$$

$$\lambda_{(B)} = 0.00018 \text{ pannes/heures}$$

Donc la fiabilité de tout le système est égale à :

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

$$RS = \frac{0.0002 \cdot e^{-0.00018t} - 0.00018 \cdot e^{-0.0002t}}{0.0002 - 0.00018} \Leftrightarrow RS = \frac{0.0002 \cdot e^{-0.00018t} - 0.00018 \cdot e^{-0.0002t}}{0.00002}$$

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

5. Conclusion du chapitre

Ce chapitre avait pour objectif l'optimisation de la sûreté de fonctionnement des installations industrielles du complexe RA2K par application de l'approche OMF : Optimisation de la Maintenance par la Fiabilité.

En premier lieu nous avons tout d'abord présenté l'unité 100 qui est l'unité la plus importante du complexe, là où se fait le raffinage, puis ciblé les installations importantes dans de ce processus. Nous avons procédé à une première classification basée sur la criticité, pour ne retenir que deux pompes parmi les cinq présentes. Une deuxième classification sur la base des graphes de Pareto a été entamée. Les résultats montrent que le système de pompage PM-106A/B est un choix judicieux et prioritaire pour une amélioration de la fiabilité, de la maintenabilité et de la disponibilité.

L'étude de fiabilité que nous avons menée a porté donc sur chacune des deux pompes du système de pompage PM106-A/B en utilisant le logiciel FIABOPTIM. Les résultats ont permis de déterminer les lois de fiabilité, la moyenne des temps de bon fonctionnement, ainsi que la période de vie de chaque machine du système. Sur la base des résultats relatifs à chaque machine, nous avons entamé une étude fiabiliste de tout le système en utilisant la technique de redondance.

Les résultats obtenus à partir de cette étude fiabiliste basée sur des données réelles peuvent être exploités pour une mise à jour du plan de maintenance préventive de ces deux pompes, voire d'en optimiser la politique de maintenance actuelle, car les deux pompes ne sont pratiquement pas fiables et nécessitent donc plus d'investigations pour déterminer les causes et donc améliorer leur fiabilité.

CHAPITRE IV

Optimisation de la sûreté de fonctionnement des installations industrielles de l'unité 100 du complexe RA2K Skikda Partie 2 : Evaluation des risques

1. Introduction

Dans ce chapitre nous mettons en évidence la problématique du contrôle et de la sûreté de fonctionnement d'un train de préchauffage d'échangeurs de chaleur pour une usine industrielle pétrochimique unité 100 Topping de condensats RA2K (Skikda, Raffinerie Algérie). Notre travail comprend à la fois l'analyse des risques pour l'unité et pour deux pompes centrifuges utilisées pour le pompage des condensats. Deux méthodes d'analyse de sécurité sont utilisées, à savoir AMDEC (Effet du mode de défaillance et criticité) et HAZOP (étude de danger et d'opérabilité) ainsi qu'une étude préliminaire d'analyse des risques (APR). Notre objectif à partir de l'étude est de modéliser le fonctionnement du système pour identifier les risques majeurs, déterminer les conséquences en cas de défaillance du système global (système de sécurité pour l'unité 100) ou des pompes centrifuges, et fournir les recommandations nécessaires pour assurer la performance et la sécurité du système. Pour atteindre ces objectifs, nous commençons par introduire la structure détaillée du système étudié suivie d'une description détaillée et du principe des méthodes utilisées, et enfin l'analyse et la comparaison entre les résultats générés à partir de différentes méthodes, les recommandations déduites et les lignes directrices pour les travaux futurs sont présentées. [17]

2. La méthode AMDEC

2.1. Présentation

L'AMDEC, en ce qui concerne la maintenance, est un outil d'analyse de tous types de systèmes quels qu'ils soient, complexes ou non, et qui s'intéresse à la manière dont un constituant peut être le siège d'une dérive (le mode de défaillance), de la conséquence de celle-ci (les effets) et de son importance qualitativement chiffrée (la criticité) [18].

2.2. Définition

L'AMDEC est une analyse impliquant une réflexion menant au constat d'avarie(s) dont chaque composant peut être le siège. Ensuite, chacune de ces dérives est évaluée par des critères dont le produit exprime la criticité. Chaque réflexion, allant du composant à l'indice de criticité de la défaillance dont il peut être la cause, progresse par étapes : fonction(s), mode(s), cause(s), effet(s) et détection(s) [19].

2.2.1. La matrice

Ainsi que le présent tableau (4.1), l'en-tête de la matrice contient toutes les informations relatives à l'analyse. Au-dessous, les colonnes constituent, de la gauche vers la droite, les étapes

de progression des réflexions depuis chaque composant jusqu'aux indices de criticité C. La matrice présente quatre sections principales correspondant aux éléments essentiels d'une telle analyse : le composant, sa fonction, les éventuelles défaillances dont il peut être le siège et, enfin, la criticité de celles-ci [19].

AMDEC - Analyse des Modes de Défaillance, de leur Effets et de leur Criticité										
Système : CMI02		Sous-système : POMPE			Date :			Critères		
Composants	Fonction(s)	Défaillances					Valeur max		10	
		Mode(s)	Cause(s)	Effet(s)		Détection	D	O	S	C
/ système	/autres compos.									
Joint	Etanchéité	Détérioration	Usure	Écoulement	Salissures	Fuite				
			Montage	Écoulement	Salissures	Fuite				

Tableau 4.1 : En-tête de la matrice AMDEC

2.2.2. Les composants

Dans la première colonne figurent tous les organes composant le système. Un composant est, pour un système simple, un élément intègre non dissociable (joint dans le cas d'une pompe). Dans le cas de systèmes complexes, des ensembles d'éléments peuvent être assimilés à des composants (pompe de lubrification dans le cas d'une analyse portant sur une machine-outil complète) [18].

2.2.3. Les fonctions

Les fonctions d'un composant sont des actions souvent discrètes par rapport au système complet mais elles permettent la réalisation de la fonction globale. Un composant peut avoir plusieurs fonctions (roulement : guider un arbre en rotation, diminuer les frottements...). Lors de cette étape, l'emploi de verbes à l'infinitif est recommandé car il est plus précis de désigner une fonction par son action : guider, diminuer, pour reprendre l'exemple précédent [18].

2.2.4. Les défaillances

L'AMDEC a pour but premier de déceler les défaillances probables ou les points faibles. Il est donc naturel que les événements soient davantage précisés. Ainsi considérerons-nous qu'une défaillance se caractérise par son mode d'apparition, sa cause et ses effets sur le système ainsi que sur les autres composants. La quantification de la défaillance étant précisée, l'évaluation de sa criticité s'obtient par le produit de trois critères chiffrés : **détection**, **occurrence** et **sévérité** [18].

a) Les modes de défaillance

Un mode de défaillance est la manière dont un composant peut subir une anomalie au point de ne pouvoir assurer sa part de la fonction globale (absence de la fonction, perte, dégradation, déclenchement intempestif).

b) Les causes de défaillance

Les causes de défaillance sont des événements générateurs et/ou favorisant l'apparition d'une dérive. A l'image de chaque fonction pouvant subir plusieurs modes de défaillance, chaque mode de défaillance peut connaître plusieurs causes.

La recherche des causes de défaillance peut être facilitée par l'emploi de la méthode connue dite des 5M (Méthodes, Moyens (ou machines), Matériels (ou matières), Milieu et Main-d'œuvre) dite également diagramme Ishikawa (Figure 4.1), en arête de poisson ou causes-effets. Cette méthode, entre autres, montre qu'une cause d'anomalie peut être très éloignée de l'organe dans le temps et dans l'espace et avoir des origines sans lien apparemment direct. Les « 5M » peuvent être remplacés par d'autres typologies.

La cause s'exprime généralement sous forme de faits [19].

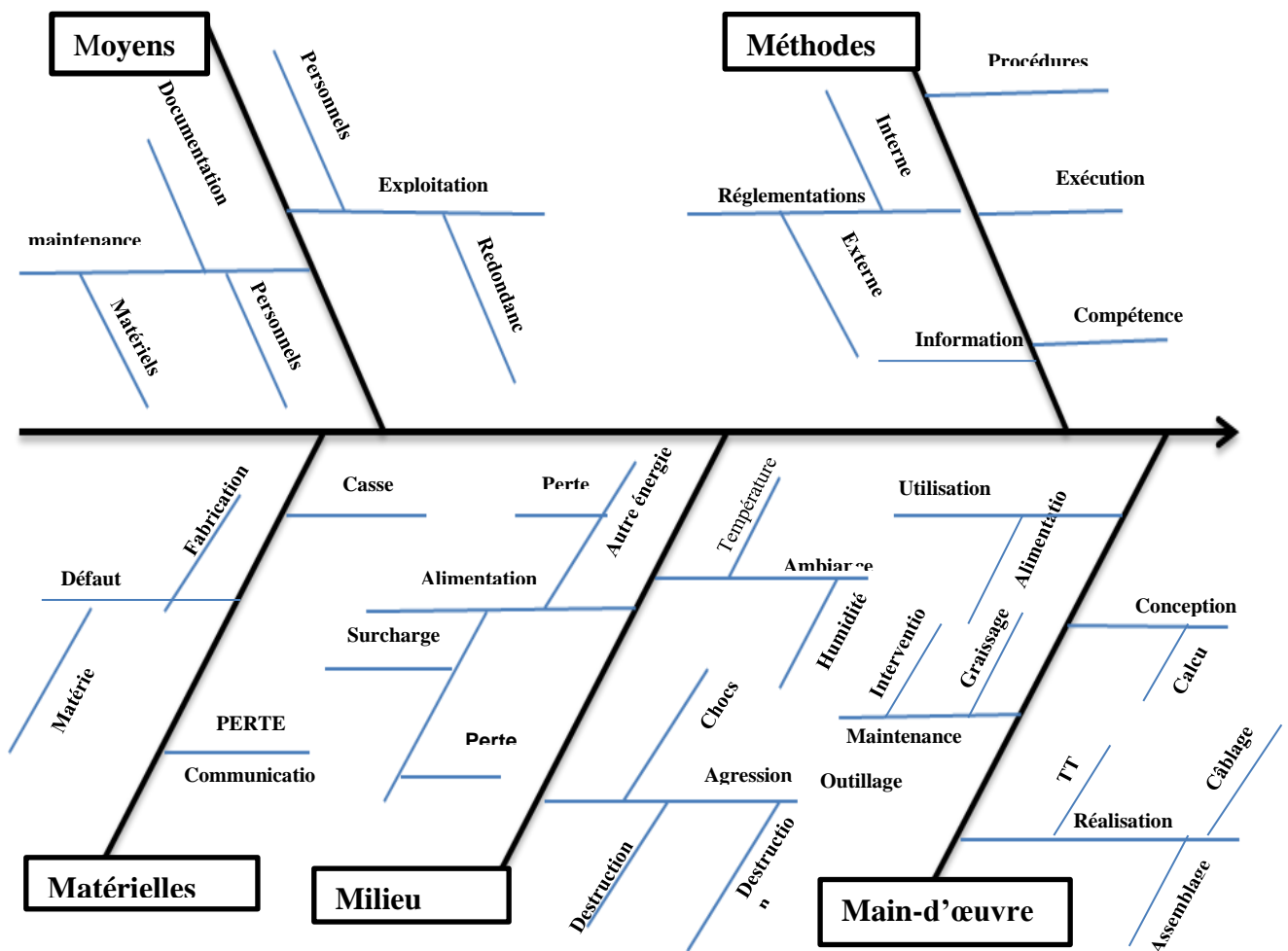


Figure 4.1 : Diagramme D'Ishikawa (exemple simplifié)

c) Les effets

Il est important pour la précision de l'AMDEC de répartir les effets d'une défaillance selon deux catégories :

- Les effets sur le système. Ils sont les conséquences directes du dysfonctionnement sur l'ensemble du dispositif ;
- Les effets sur d'autres composants. Logiquement, ces autres composants sont fonctionnellement proches de l'organe en question [18].

d) La détection

La détection, indiquée dans la dernière colonne de l'analyse qualitative est le moyen par lequel un dysfonctionnement est constaté. Cette constatation peut être faite par le technicien comme par l'opérateur lui-même.

Dans cette colonne « détection » ne figurent que des faits constatables : disjonction, blocage, rupture, élévation de température, bruit, fuite, dégagement de fumée, perte de la fonction...

2.2.5. Les critères

La définition de ces critères doit être absolument rigoureuse pour ne laisser aucune place à l'interprétation afin que quiconque les utilise de manière identique. Généralement, chaque critère reçoit un indice sur une échelle de 1 à 4 en fonction de son importance. Cependant, il est tout à fait logique de se détourner de cet ordinaire et augmenter ou diminuer le découpage selon ses propres besoins ou objectifs. Ainsi, une entreprise qui privilégierait la fiabilité pourrait découper plus finement le critère « occurrence » en 5, 6, 7 niveaux ou plus. L'indispensable étant que leur définition soit, dans tous les cas, exempte d'approximation [18].

a) Le Critère D (aptitude à la détection) ou N (aptitude de Non détection)

Le critère de détection permet de quantifier la capacité d'un symptôme, d'une anomalie ou d'une défaillance à être repéré. La difficulté de détecter une défaillance étant bien entendu un handicap, l'indice est proportionnel à la difficulté. Le critère D est donc découpé en niveaux de difficulté croissante de 1 vers 4 (ou davantage) et qu'il est important de préciser parfaitement.

Niveau	Définition
1	Elémentaire. Signal avant-coureur aisément détectable par l'opérateur. Défaillance possible à éviter.
2	Aisée. Apparition d'une défaillance mais recherche et action corrective évidente
3	Moyenne. Apparition d'une défaillance. Recherche et action corrective menées par un technicien de maintenance.
4	Délicate. Défaillance difficilement détectable et nécessitant démontage et techniciens spécialisés.

b) Le critère O (occurrences) ou F(Fréquence)

Le critère d'occurrence indique le niveau de probabilité d'apparition d'une défaillance, la fiabilité en quelque sorte.

Niveau	Définition
1	Faible. Moins de 1 fois par semestre
2	Possible. En moyenne 1 fois par mois
3	Certaine. En moyenne 1 fois par semaine
4	Forte. Possible 1 fois par jour

c) Le critère S (sévérité) ou G (gravité)

Le critère de sévérité évalue le risque pour l'utilisateur ainsi que pour le système et le service rendu. A chacun des effets d'une défaillance correspond un indice de sévérité. Le critère de sévérité, comme celui de l'occurrence, doit être très précis dans ses définitions, la sévérité et la gravité étant des notions subjectives.

Niveau	Définition
1	Mineure. Défaillance ne provoquant pas d'arrêt de production supérieur à 5 minutes. Aucune dégradation ni production défectueuse.
2	Moyenne. Défaillance provoquant un arrêt de 5 à 30 minutes et nécessitant une réparation sur site.
3	Importante. Défaillance provoquant un arrêt de 30 à 60 minutes et/ou nécessitant le remplacement d'un matériel défectueux.
4	Grave. Défaillance provoquant un arrêt supérieur à 1 heure et/ou impliquant des risques potentiels pour la sécurité des personnes et des biens.

d) Le critère C (criticité)

La criticité s'obtient en faisant le produit des indices des critères précédents. Cette valeur de criticité, établie souvent sur une échelle de 1 à 64 (4 fois 4 fois 4) permet de connaître, à partir de ses propres critères d'évaluation, le caractère critique de chacune des causes de défaillance potentielle pour chacun des composants d'un système. Il est possible, et même souhaitable, de ne pas s'en tenir qu'aux valeurs importantes de l'indice C pour engager une action. Un indice isolément très élevé - généralement un indice de 4 pour le critère S - peut à lui seul conduire à une décision, alors que C n'est pas particulièrement important.

Niveau	Définition
$C < 9$	Faible. Aucun problème particulier. Surveillance habituelle.
$9 < C < 25$	Acceptable. Nécessite une surveillance particulière et/ou une révision de la politique de maintenance
$C > 25$	Forte. Surveillance accrue. Remise en cause de la maintenance. Eventuellement, arrêt pour améliorations.
$S = 4$	Dangereuse. Révision de la politique de maintenance et/ou modifications du système. Arrêt si sécurité menacée.

3. Analyse fonctionnelle

3.1. Définition

L'AFNOR définit l'analyse fonctionnelle comme « une démarche qui consiste à rechercher, ordonner, caractériser, hiérarchiser les fonctions du produit attendu par l'utilisateur ». L'analyse fonctionnelle s'applique à la création ou à l'amélioration d'un produit, elle est dans ce cas l'étape fondamentale de l'analyse de la valeur. Appliquée au seul besoin, elle est la base de l'établissement du cahier Des Charges Fonctionnel (CdCF).

Pour mener une analyse fonctionnelle il convient au préalable et dans un premier temps de rechercher l'information nécessaire pour identifier les différentes phases du cycle de vie du produit depuis son stockage jusqu'à son retrait de service, en passant par son utilisation "pure". Pour chaque situation, il est recommandé de lister les éléments, personnes, matériels, matières qui constituent l'environnement du produit. L'analyse fonctionnelle s'effectue en plusieurs étapes réalisées pour chacune des phases du cycle de vie du produit au sein d'un groupe de travail [20] :

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

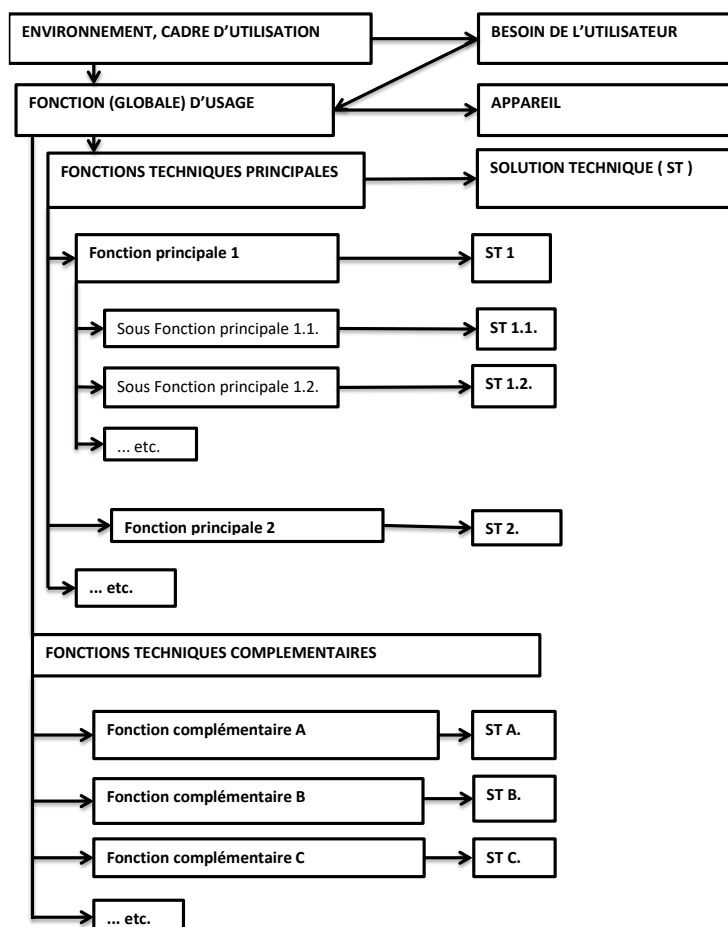


Figure 4.2 : La démarche de l'analyse fonctionnelle

4. Application de la méthode AMDEC aux P-106A/B

4.1. Descriptif du système de la P-106A/B

Les pompes centrifuges (ex.100-P-106A/B) sont les pompes couramment utilisées dans les raffineries et les usines pétrochimiques, elles servent à faire circuler le débit demandé de liquides dans des conditions de pressions qui sont imposées par le procédé, les contraintes particulières de l'usine, la fiabilité, et la sécurité. Le type très simple de pompes centrifuges est le type monocellulaire composé de composants statiques tels que le corps de la pompe, le joint et le bloc de roulements et les composants rotatifs -rotor- où sont montés les roulements, la roue, le boîtier d'accouplement et les composants rotatifs du joint. Parmi ces composants nous mentionnons la roue et la volute qui sont directement considérées dans la fonction de pompage puisqu'à leur niveau la variation de vitesse et la pression du liquide sont générées [21].

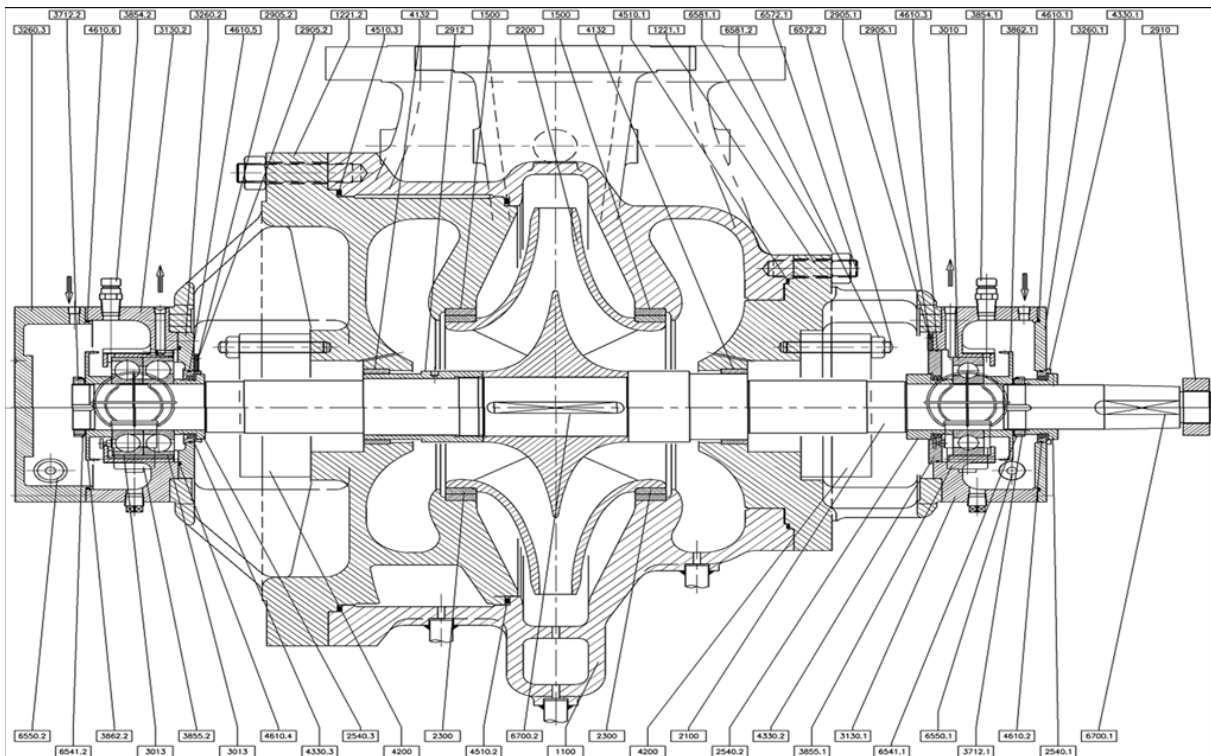


Figure 4.3 : Plan en coupe des pompes 100-P-106A/B

N° réf	Description	N° réf	Description
3260.1	COUVERCLE DE PALIER	4132	BOURRAGE DE LA DOUILLE DE BOITE
3130.2	CROCHET DE ROULEMENT	3862.2	LUBRIFIER LE LANCEUR DE DISQUE
3130.1	CROCHET DE ROULEMENT	3862.1	LUBRIFIER LE LANCEUR DE DISQUE
3013	ROULEMENT DE BUTEE	3855.2	GRAISSEUR DE NIVEAU CONSTANT
3010	ROULEMENT RADIALE	3855.1	GRAISSEUR DE NIVEAU CONSTANT

2912	ECROU DE L'IMPULSEUR	3854.2	PRISE DE FILTRE D'HUILE
2910	ECROU D'ARBRE	3854.1	PRISE DE FILTRE D'HUILE
2905.2	RONDELLE	3712.2	ÉCROU DE ROULEMENT
2905.1	RONDELLE	3712.1	ÉCROU DE ROULEMENT
2540.3	DEFLECTEUR	3260.3	COUVERCLE DE PALIER
2540.2	DEFLECTEUR	3260.2	COUVERCLE DE PALIER
2540.1	DEFLECTEUR	6700.2	CLEF
2300	BAGUES D'USURE DE LA ROUE	6700.1	CLEF
2200	IMPULSEUR	6581.2	ÉCROU SIX-PANS
2100	ARBRE	6581.1	ÉCROU SIX-PANS
1500	BAGUES D'USURE DU CORPS	6572.2	GOUJON
1221.2	COUVERTURE ENFERMANTE	6572.1	GOUJON
1221.1	COUVERTURE ENFERMANTE	6550.2	DISPOSITIF DE REFROIDISSEMENT
1100	ENVELOPPE	6550.1	DISPOSITIF DE REFROIDISSEMENT
4610.1	0 ANNEAU	6541.2	FREIN D'ÉCROU
4510.3	ETANCHEITE	6541.1	FREIN D'ÉCROU
4510.2	ETANCHEITE	4610.6	0 ANNEAUX
4510.1	ETANCHEITE	4610.5	0 ANNEAUX
4330.3	ANNEAU DE LABYRINTHE	4610.4	0 ANNEAUX
4330.2	ANNEAU DE LABYRINTHE	4610.3	0 ANNEAUX
4330.1	ANNEAU DE LABYRINTHE	4610.2	0 ANNEAUX
4200	GARNITURE MECANIQUE		

Tableau 4.2. Déchiffre de schéma technique de la pompe centrifuge 100-PM106

4.2. Décomposition du système

La figure (4.4) montre un schéma fonctionnel de la pompe 106.

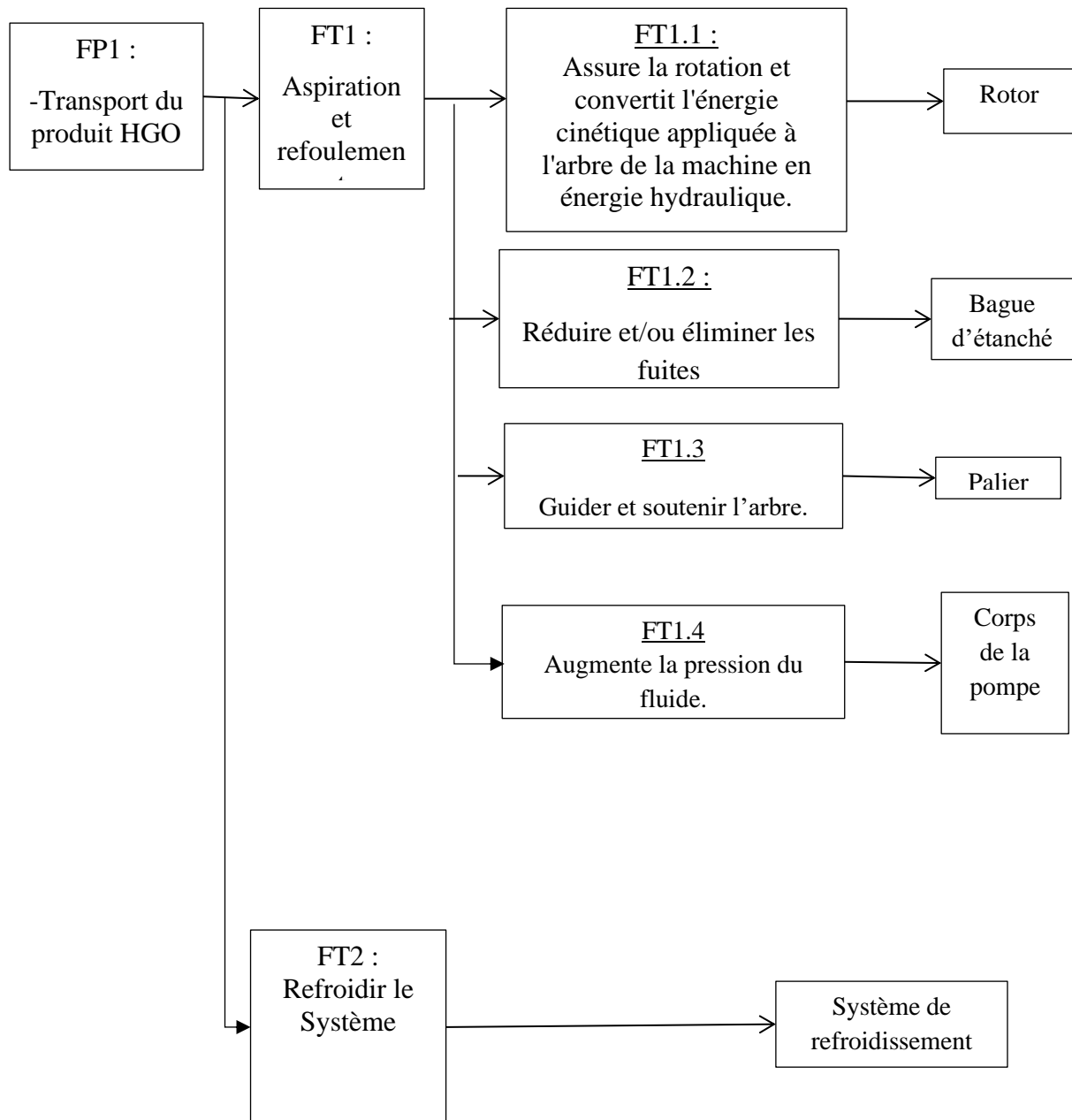


Figure 4.4 : Décomposition fonctionnelle du système

4.3. L'analyse du système

La méthode d'Analyse Préliminaire des Risques (APR) vise à identifier les dangers du système et à définir ses causes et évaluer la gravité des conséquences des situations dangereuses et des accidents potentiels. En déduire tous les moyens et actions correctives nécessaires pour éliminer ou contrôler les conditions dangereuses et les accidents potentiels. Il est également utile pour mettre en évidence les événements critiques qui seront analysés en détail dans l'étude de la sûreté de fonctionnement [22].

L'Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et Criticité (AMDEC) est une extension naturelle de l'Analyse des risques.

Systeme	Sous-système	Défaillance	Cause	Conséquence
Pompe	Rotor	Rupture d'arbre	-Surcharge de travail ; -Corrosion ; -Pièce tournante frottant contre une pièce fixe -Moteur surchargé ; -Désalignement ; -La pompe n'est pas immergée.	-Vibration de la pompe ; -La pompe ne fonctionne pas -Cavitation ; -Vibration -La pompe fonctionne mais ne fournit pas de débit.
		Courbure arbre	-Puissance absorbée par pompe excessive -Fuite excessive de la garniture mécanique -La pompe vibre ou est bruyante	-La pompe vibre ou est bruyante. -La pompe ne fonctionne pas -Surchauffe et grippage de la pompe
		Détérioration des roulements Roulements endommagés	-Manque lubrification ; -Montage incorrect. -Charge anormale sur le rotor. -Moteur surchargé ; -Colmatage ; -Roulement inadéquat.	-La pompe fonctionne en manuel mais ne fournit aucun liquide. -Débit insuffisant. -La pompe vibre ou est bruyante.
		Destruction de la roue Roue déséquilibrée	-Cavitation -Pièce en rotation frottant contre une pièce fixe ; -Mauvaise lubrification des roulements ; -La pompe n'est pas amorcée.	-Débit insuffisant -Pression de refoulement insuffisante. -Vibration de la pompe
		Diffuseur endommagé	-Cavitation ; -Surchauffe ; -Erosion.	-Débit insuffisant ; -Vibrations ; -Fuite.
		Corrosion	-Caractéristique du milieu externe (produit pompé)	Mauvais fonctionnement de la pompe ; -Pompe bruyante.
	Corps de la pompe	Volute endommagée Érosion des volutes	-Cavitation ; -Haut débit -Erosion ; -Corrosion ; -Vibration.	-Fuite excessive -Mauvais fonctionnement de la pompe ; -Fuite dans le corps de pompe.
	Roulement	Rupture des roulements	Surcharge de travail ; -Fléchissement de l'arbre ; -Fatigue.	-Bruit et vibration
	Bague d'étanchéité	Fuite bague d'étanchéité	-Courte durée de vie de la garniture mécanique ; -Garniture mécanique mal installée.	-Débit faible ; -Echauffement ; -Fuite.

Tableau 4.3. Application méthode APR aux pompes 116

Tableau 4.4 : Application méthode AMDEC

Analyse des Modes de défaillance, de leurs Effets et leur Criticité									
Sous-système	Fonction	Défaillances			CRITICITE				Détection
		Modes	Causes	Effets	F	D	G	C	
Rotor	Assure la rotation et convertit l'énergie mécanique appliquée à l'arbre de la machine en énergie hydraulique.	-Rupture arbre	- Surcharge - Corrosion. - Mauvais alignement. - Défaut de lubrification.	-Vibration de la pompe - La pompe fonctionne mais pas de débit. - Cavitation.	1	1	3	3	-Visuel -Faible débit -Bruit
		-Déformation de l'arbre	-Travail en surcharge. -Désalignement. -Puissance absorbée par la pompe	-Surchauffe et grippage de la pompe -La pompe est bruyante ou vibre. -La pompe ne fonctionne pas	1	1	3	3	-Visuel -Faible débit -Bruit
		-Verrouillage des roulements -Déformation des roulements -Libération des roulements -Les roulements sont cassés	-Défaut de lubrification. -Mauvaise installation. -Charge anormale sur le rotor. -Type de roulement incorrect.	-La pompe fonctionne à main mais ne fournit pas de liquide. -Débit insuffisant. -La pompe vibre ou est bruyante.	1	1	2	2	-Visuel -Faible débit -Bruit
		-Blocage de roue -La roue est cassée	-Cavitation -Frottement des composants rotatifs avec un composant fixe.	-Débit insuffisant -Pression de refoulement insuffisante. -Vibration de la pompe	1	1	2	2	-Visuel -Faible débit -Bruit

		-Blocage du diffuseur -Déformation du diffuseur	-Manque de lubrification des roulements. -Cavitation -Surchauffe -Erosion	-Débit insuffisant -Vibration -Fuite	1	1	2	2	-Fuite -Visuel -Faible débit
		-Corrosion -Érosion	- La caractéristique du produit pompé -Fuite de fluide externe	-Mauvais fonctionnement de la pompe -La pompe est bruyante.	1	1	2	2	-Visuel -Faible débit -Bruit
Corps de la pompe		-Rupture de la volute -Usure volute	-Cavitation -Haut débit -Érosion -Corrosion -Vibration	-Fuite excessive -Mauvais fonctionnement de la pompe -Fuite du corps de pompe.	1	1	3	3	-Fuite -Visuel -Faible débit -Bruit
Palier	Guider et soutenir le rotor	-Usure roulement -Rupture roulement -Échauffement	-Surcharge de travail -Arbre incurvé ; -Fatigue	-Bruit de vibration	1	1	3	3	-Visuel ; -Bruit -Capteur de température
Bague d'étanchéité	Réduire ou éliminer les fuites	-Usure de la doublure	-Courte durée de vie de la doublure. -Garniture mécanique mal installée -Fatigue	- Fuite du produit	2	1	4	8	-Fuite d'huile
Système de refroidissement	Refroidir le système	-Colmatage de la fuite de liquide de refroidissement	-Augmentation de température -Vieillessement -Érosion -Corrosion	-Échauffement -Vaporisation du pompage -Cavitation -Augmentation de la pression -Vibration	2	1	4	8	-Visuel -Transducteur de pression -Capteur de température -Bruit

Le rôle des HAZOP (Hazard and operability studies) est de décomposer un système donné en sous-ensembles appelés "nœuds" puis, à l'aide de mots clés ou de guides spécifiques et de paramètres système variables étudiés en relation avec ses points de consigne appelés "intentions du processus ». [23]. Les écarts obtenus ont été examinés par une équipe pluridisciplinaire dédiée à en déduire les conséquences potentielles pour l'ensemble du système et à déterminer celles entraînant des risques potentiels pour la sécurité des personnes, des biens et de l'environnement. Le groupe de travail considère puis définit les actions préconisées pour éliminer en priorité la cause, atténuer ou supprimer les conséquences. L'analyse des écarts fait l'objet d'un enregistrement dans des tableaux, base indispensable pour la mise en œuvre ultérieure des actions préconisées par le groupe de travail. L'application de cette méthode dans notre système est illustrée dans le tableau suivant :

Tableau 4.5 Application méthode HAZOP

Système	Paramètre	Mots clés	Cause	Conséquence	Les mesures à prendre
Moto-pompe	Température	Haute	<ul style="list-style-type: none"> -Défaillance du système de refroidissement -Fuite dans le système de refroidissement -Défaut de fonctionnement -Frottement de composants tournants avec un composant fixe. -Type de fluide -La pompe n'est pas amorcée. -Fonctionnement à très faible débit. -Moteur mal connecté -Déséquilibre des roues -Augmentation de la pression dans la pompe 	<ul style="list-style-type: none"> -Risque d'explosion dans la pompe -Le joint peut endommager les roulements -Les vibrations de cavitation entraînaient un déséquilibre de l'accouplement -Vaporisation du liquide pompé -La pression provoque une explosion qui peut provoquer un incendie -Vibration qui provoque la destruction de l'intérieur de la pompe (roulement de roue, volute...) 	<ul style="list-style-type: none"> -Nécessité de refroidir les différentes parties de la pompe généralement avec de l'eau. -Vérifier le niveau de liquide requis -Purger et/ou démarrer. -Vérifier le nombre de tours du moteur -Vérifier la pression dans la pompe -Vérifier le système de refroidissement -Ouvrir et nettoyer la pompe.

		Basse	<ul style="list-style-type: none"> -Panne dans le système de refroidissement (ouvrir plus) -Défaut de fonctionnement -Faibles débits 	<ul style="list-style-type: none"> -Modification de la caractéristique du lubrifiant -La graisse perd sa viscosité -Le frottement du composant rotatif avec la partie fixe peut provoquer -Endommagement des roulements -Détérioration des roulements 	<ul style="list-style-type: none"> -Vérifier le système de refroidissement -Vérifier le nombre de tours du moteur.
Pression		Haute	<ul style="list-style-type: none"> -Blocage dans la sortie de la vanne -Défaut de fonctionnement -Capteur de pression défectueux -Vaporisation du liquide pompé 	<ul style="list-style-type: none"> -Explosion -Arrêter la production -Détérioration des roulements -Augmentation des fuites 	<ul style="list-style-type: none"> -Vérifier et vidanger les tuyaux et le système de vidange -Remplacez le joint et vérifiez les dommages.
		Basse	<ul style="list-style-type: none"> -Fermeture de la vanne d'aspiration -Fuite d'air dans la conduite d'aspiration. -Fausse déclaration (capteur défectueux. Ancien) -Vieillesse moteur -Des fuites de vies. -Défaut de fonctionnement -Capteur de pression défectueux 	<ul style="list-style-type: none"> -Cavitation -Vibration qui provoque la destruction de la pompe interne (roulement de roue, volute...) -Faible débit 	<ul style="list-style-type: none"> -Vérifiez NPSHA> NPSHR, -Amorcer la pompe -Corriger les pertes dans les filtres / raccords. -Vérifier et vidanger les tuyaux et le système.
		Pas de pression	<ul style="list-style-type: none"> -Fermeture de la vanne d'aspiration -Défaillance de la pompe -Panne de courant -Panne de moteur -Capteur de pression défectueux 	<ul style="list-style-type: none"> -Arrêter la production -Arrêter la pompe -Vibration 	<ul style="list-style-type: none"> -Vérifier les types de liquides qui peuvent être utilisés -Vérifier les types de liquides pouvant être utilisés avec la pompe. -Vérifier NPSHA> NPSHR, -Amorcer la pompe -Corriger les pertes dans les filtres/raccords.
Flux		Elevé	<ul style="list-style-type: none"> -Puissance moteur trop élevée -Blocage dans la sortie de la vanne -Défaut de fonctionnement 	<ul style="list-style-type: none"> -Surchauffe de la pompe 	<ul style="list-style-type: none"> -Vérifier et diminuer la vitesse de rotation du moteur vérifier la

			-Puissance absorbée par pompe excessive	-Vibration qui provoque la destruction de la pompe interne (roulement de roue, volute) -Cavitation.	densité du liquide qui diffère de la densité nominale.
		Faible	-Panne au niveau de la vanne de sortie pompe / tuyaux pas complètement purgés -Formation de poches dans le pipeline -Défaut de fonctionnement -Faible vitesse de rotation -Défaut de fonctionnement	-Augmentation de la température qui provoque une vibration -Vibration qui provoque destruction de la pompe interne (roulement de roue...)	-Vérifier et augmenter la vitesse de rotation du moteur -Vérifier et vidanger les tuyaux et le système -Vérifiez les types de liquides pouvant être utilisés avec la pompe. -Vérifier la densité du liquide qui diffère de la densité nominale.
		Pas de flux	-Soupape de décharge fermée -Panne de moteur -Panne de courant -Défaillance de la pompe -Roue desserrée ou mal réglée sur l'arbre.	-Arrêt de la production -Surchauffe de la pompe si la pompe est amorcée -Danger d'explosion	-Vérifier le niveau de liquide requis. -Purger et/ou redémarrer. -Vérifiez $NPSHA > NPSHR$. -Amorcer la pompe et/ou corrigez la perte dans les filtres / raccords. -Vérifier et vidanger les tuyaux et le système.

4.4. Conclusions et recommandations

Suite à l'identification des risques et problèmes potentiels, une évaluation des risques doit être effectuée en identifiant la fréquence et la gravité des conséquences. Ces éléments doivent agir principalement en engageant des actions correctives appropriées.

Elément	C	Action corrective
Bague d'étanchéité	8	-Contrôle permanent de l'augmentation de la pression. -Contrôle permanent de l'augmentation la température.
Système de refroidissement	8	-Nettoyage du système de refroidissement de la pompe. -Contrôle du niveau du liquide refroidissement.

Recommandation

Les résultats illustrés par les courbes de fiabilités (Chapitre 3) et tableaux d'application des méthodes APR, AMDEC et HAZOP, montrent que :

1. Chaque élément du sous-système peut avoir plusieurs modes de défaillance ;
2. Chaque mode de défaillance résultant d'une ou plusieurs causes ;
3. Les causes des défaillances proviennent de l'intérieur ou de l'extérieur du système ;
4. Chaque panne peut provoquer des déviations des paramètres physiques du système ;

Au niveau de la fiabilité du système, nous avons identifié les composants sur lesquels une attention particulière doit être portée (la fiabilité de la pompe 106 A). Sur la base de ces résultats et constatations, les recommandations nécessaires pour assurer le fonctionnement sécuritaire du système selon les différents services sont :

Service	Recommandation
Technique	1. Revérifier la conception des systèmes de refroidissement.
Maintenance	1. Définir avec précision les exigences de fiabilité. 2. Définir la politique de maintenance du système et des composants. 3. Identifier les risques critiques pour le système. 4. Respecter le calendrier de maintenance préventive. 5. Vérifiez le système de refroidissement. 6. Vérifiez le système d'étanchéité. 7. Vérifiez le problème illustré par le diagramme de fiabilité des deux pompes dans l'étude FMD.
Instrumentation	1.Étalonnage des capteurs (température, pression, niveau d'huile de lubrification) en fonction des spécifications. 2.Installation de détecteurs de fuite.
Production	1. Respectez le temps de by-pass.

5. Conclusion du chapitre

Dans ce chapitre nous avons présenté des études pour améliorer la sécurité d'un système complexe industriel. Nous avons axé notre étude sur l'amélioration de la sécurité de deux pompes centrifuges à l'unité 100 dans le complexe industriel RA2K. Parmi les méthodes d'analyse des risques existant, nous avons retenu deux méthodes différentes.

La première c'est l'AMDEC et la deuxième méthode c'est le HAZOP. Avant l'application de ces deux méthodes nous avons détaillé la structure et les différents modes de fonctionnements de notre système, puis nous avons appliqué la méthode d'analyse préliminaires au système complet (APR). Ensuite, nous avons appliqué les deux méthodes d'analyse (AMDEC et HAZOP). La méthode APR permet de décomposer le système avec les défauts, leurs causes et leurs conséquences. La méthode AMDEC nous permet de voir des modes de défaillances, les causes et leurs conséquences, ainsi que la criticité de chaque mode sur le fonctionnement du système.

Enfin, la méthode HAZOP permet de définir les causes des déviations des paramètres physiques et l'impact sur le système. Nous avons ensuite étudié les conséquences résultant des différentes méthodes et finalement nous avons proposé une liste de recommandations nécessaires pour avoir un système plus sûr.

Enfin les responsables de l'entreprise ont le choix d'utiliser un autre type de pompes comme double garniture car ce type est plus robuste à haute température.

Conclusion

Le travail que nous avons effectué au niveau de la raffinerie Topping du condensat RA2K, et qui rentre dans le cadre du projet de mise en situation professionnelle consiste à évaluer la possibilité d'optimiser la politique de maintenance et la sûreté de fonctionnement de la colonne de préfractionnement en vue d'augmenter la disponibilité du système de pompage tout en respectant les spécifications exigées. Pour aboutir à une solution pratique qui répond à nos attentes, il a été nécessaire d'avoir une bonne connaissance de l'organisation de l'entreprise, des paramètres de fonctionnement de la section de distillation atmosphérique, ainsi que les méthodes utilisées.

Nous avons entrepris d'abord un audit au sein du département maintenance par approche évaluative en utilisant comme outil un questionnaire spécifique. Ceci nous a permis de conclure ce qui suit :

- Définir les objectifs et les missions du personnel ainsi qu'un tableau de bord et des objectifs ;
- Former le personnel aux méthodes récentes d'analyse et de diagnostic ;
- Rattacher la maintenance à la qualité ;
- Mettre en place un système des rotations du personnel pour plus de polyvalence ;
- Mise en place de logiciels de simulation récents.

En second lieux, nous avons ciblé une installation importante dans de le processus de raffinage pour une étude fiabiliste. Les résultats ont permis de déterminer les lois de fiabilité, la moyenne des temps de bon fonctionnement, ainsi que la période de vie de chaque machine du système. Sur la base des résultats relatifs à chaque machine, nous avons entamé une étude fiabiliste de tout le système en utilisant la technique de redondance pour une étude plus complète. Les résultats obtenus à partir de cette étude fiabiliste basée sur des données réelles peuvent être exploités pour une mise à jour du plan de maintenance préventive de ces deux pompes, voire d'en optimiser la politique de maintenance actuelle, car les deux pompes ne sont pratiquement pas fiables et nécessitent donc plus d'investigations pour déterminer les causes et donc améliorer leur fiabilité.

Pour finir sur l'amélioration de la sûreté des deux pompes centrifuges à l'unité 100 dans le complexe industriel RA2K, nous avons utilisé deux méthodes distinctes, à savoir l'AMDEC qui considère la probabilité d'occurrence de chaque mode de défaillance et classe de gravité pour ces défaillances, puis la méthode HAZOP appliquée pour faire une analyse globale du système. Tout ceci reviendrait à mettre en évidence les faiblesses des équipements et permet de générer des actions correctives afin de déduire tous les moyens et actions correctives nécessaires pour éliminer ou contrôler les conditions dangereuses et les accidents potentiels.

Pour conclure, la maintenance se doit d'apporter une vision à l'entreprise, qui à court terme, assure la disponibilité opérationnelle des équipements, à moyen terme, pérennise la disponibilité des équipements à effectuer leurs tâches et à long terme, assure une fin de vie et un renouvellement des équipements en tenant compte de rentabilité de l'équipement et des gains générés par l'entreprise.

Bibliographie

- [1] Jean-Paul SOURIS. (2010). Le guide du parfait responsable maintenance. Lexitis.
- [2] Francois Manchy et Jean Pierre Vernier. (20120). Maintenance méthodes et organisation (3^{ème} édition). Dunods
- [3] Antoine Despujols, Maintenance, sûreté de fonctionnement et management des actifs de production. Techniques de l'ingénieur MT 9202.
- [4] La Sûreté de Fonctionnement (SdF). Le magazine Schneider Electric de l'enseignement technologique et professionnel. Novembre 2004.
- [5] Alin Gabriel Mihalache. (2017). Modélisation et évaluation de la fiabilité des systèmes mécatroniques : application sur système embarqué. Thèse doctorat à l'école doctorale d'Angers.
- [6] N. Cotaina, M. Gabriel, D. Richet, K. O'reilly, Utilisation de la Maintenance Basée sur la Fiabilité (MBF) pour développer et optimiser les politiques de maintenance dans les scieries. 2^{ème} Congrès International Franco-québécois. Le Génie Industriel dans un monde sans frontières 3 au 5 septembre 1997 Albi – France.
- [7] Hubert Drouvot et Gérard Verna. (1994). Les politiques de développement technologique. Éditions de l'IHEAL
- [8] Antoine DESPUJOLS. (2005). Méthodes d'optimisation des stratégies de maintenance. Technique de l'ingénieur. <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/genie-industriel-th6/methodes-et-management-de-la-maintenance-42647210/methodes-d-optimisation-des-strategies-de-maintenance-mt9050/methodes-centrees-sur-la-fiabilite-des-equipements-mt9050niv10001.html#biblio-sl4261286>
- [9] Gilles ZWINGELSTEIN. (2017). Introduction aux méthodes de maintenance basées sur la fiabilité. Techniques de l'ingénieur. <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/environnement-securite-th5/securite-des-systemes-industriels-42830210/introduction-aux-methodes-de-maintenance-basees-sur-la-fiabilite-se1649/>
- [10] Manuel d'opération Unité 100 du TOPC.
- [11] MANUEL DE GESTION maintenance Topping
- [12] Amiri Rachid. Lekcir Imen. Optimisation des parametres de fonctionnement de la colonne Atmosphérique T103 de la raffinerie topping du condensat de Skikda RA2K pour améliorer le rendement en kérosène. Mars 2019
- [13] Oumedour Saad et Benjamaa Djamel-Eddine, Optimisation de la sûreté de fonctionnement et amélioration de la fiabilité des pompes centrifuges verticales Sulzer de l'entreprise SONATRASH BHP BILLITON, Ohanet, InAmenas. Mémoire de Master, Université de Guelma, 2009.
- [14] Kharoubi samir. Maintenance basée sur la fiabilité (MBF) : Application à l'étude d'une installation d'hydrocarbures. Juin 2008.
- [15] Fiche technique du logiciel FAIBOPTIM.

- [16] LFM. Cours La maîtrise du comportement du matériel passe par la connaissance de la F. M. D. S. <https://l.21-bal.com/pravo/8586/index.html>
- [17] R. McDermott, R. Mikulak, M. Beauregard, "The basics of FMEA". Second edition, CRS press, 10 December 2008.
- [18] Jean-Marie Auberville, Maintenance industrielle de l'entretien de base à l'optimisation de la sûreté. Ellipses édition Marketing S.A. Paris, 2004.
- [19] Abderrazek Djebala, Cours de maintenance et sûreté de fonctionnement, Master 2 maintenance industrielle. Université de Guelma.
- [20] Antoine Despujols, Maintenance, sûreté de fonctionnement et management des actifs de production. Techniques de l'ingénieur MT 9202.
- [21] V. Fernando. (2005). "L'analyse de la fiabilité du système de pompes centrifuges justifie des améliorations dans l'usine à gaz". Ingénieur Maintenance et Fiabilité Intégrité, ABB Service.
- [22] A. Eugène. (1999). "Avallone, Marks Standard Handbook for Mechanical Engineers, 10e éd. McGraw Hill.
- [23] Dennis P. Nolan, P.E. (1994). Application de l'HAZOP et de l'examen de sécurité aux industries pétrolières, pétrochimique et chimique. Noyes Publ.