

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Abderahmane Mira de Béjaia

Faculté des Sciences Exactes

Département de Recherche Opérationnelle



Mémoire fin de cycle

Modélisation Mathématique et Evaluation des Performances des
Réseaux



Optimisation de la Maintenance Préventive de Système du Parc de
Stockage : Sonatrach-TRC- RTC Béjaia

Réalisé par :

M^{lle} ARKOUB Thilleli

M^{lle} CHERFAOUI Lila

Devant le jury composé de :

Président :	<i>D^r AIT MOKHTAR El-Hassene</i>
Rapporteur :	<i>D^r ADEL-AISSANOU Karima</i>
Rapporteur :	<i>P^r AISSANI Djamil</i>
Examineur :	<i>M^r CHERFAOUI Bachir</i>
Examineur :	<i>D^r SEDDA Hakmi</i>

Promotion 2020/2021

Remerciement

Louange A Dieu, le miséricordieux, sans lui rien de tout cela n'aurait pu être et de nous avoir donné la force et la puissance pour pouvoir mener ce travail à terme.

Nous tenons d'abord à remercier nos encadreurs, *P^r* AISSANI Djamil Professeur à l'université de Bejaia, *D^r* ADEL-AISSANO Karima docteur à l'université de Bejaia et *P^r* LAGGOUNE Redouane Professeur à l'université de Bejaia, qui nous ont encadré avec patience durant la réalisation de ce travail, leurs consiels nous ont été bien utiles. Nous remercions vivement les membres de jury : *D^r* AIT MOKHTAR El-Hassene pour l'honneur qu'il nous a fait en acceptant de présider le jury, *M^r* CHERFAOUI Bachir et *D^r* SAADI Nora pour avoir accepté d'examiner notre travail.

Un grand merci à toute l'équipe de l'entreprise SONATRACH-TRC-RTC Béjaia, ingénieurs, techniciens et administratifs, pour l'accueil chaleureux et cordial qui nous a été réservé. Nous tenons une place particulière aux personnels de département Exploitation, à savoir *M^r* M.KHIERDDINE chef de département exploitation oléoduc et *M^r* A.HADERBACHE ingénieur exploitation qui nous a été d'une grande aide et d'orientation.

Sans oublier non plus de remercier tous les enseignants de département "Recherche Opérationnelle" qui ont assuré notre formation universitaire.

Un grand merci pour tous les membres de nos familles pour leurs soutiens et leurs encouragements, particulièrement nos parents. On tiens en dernier lieu à exprimer nos reconnaissances et nos gratitudes à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'aboutissement de ce travail.

Dédicace

Je rends grâce à dieu de m'avoir donné le courage et la volonté ainsi que la conscience d'avoir pu terminer mes études.

Je dédie ce modeste travail : A mes très chère mère et père pour toutes leurs tendresses et pour leurs nombreux sacrifices. Que Dieu les garde.

À tout la famille spécialement mon oncle, mes frères, mes soeurs et belle soeur.

À tous les professeurs et enseignants qui ont collaboré à ma formation depuis mon cycle d'étude.

À tous mes amis. À mes cousins et cousine.

À tous ceux qui m'ont aidé de loin ou de près mes études.

À toute la promotion 2021 et en particulières les étudiants de Recherche Opérationnelle.

LLA

Dédicace

Au meilleur des pères

À ma très chère maman

Qu'ils trouvent en moi la source de leur fierté

A qui je dois tout

À mes chères sœurs, Yamina, Kahina et Sabrina pour leurs encouragements permanents, et
leur soutien moral

À mes chers frères, Massinissa et Mohamed, pour leurs appuis et leurs encouragements

À toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire

Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien
infaillible

Merci d'être toujours là pour moi

77711319

Table des matières

Table des Matières	i
Liste des tableaux	iv
Table des figures	v
Acronymes	vi
Introduction Générale	1
1 Transport Par Canalisation de Brut de la RTC Béjaia	5
Introduction	5
1.1 Présentation de l'Entreprise SONATRACH	5
1.1.1 Historique et Missions	5
1.1.2 Organigramme de l'Entreprise	6
1.1.3 Activités de l'Entreprise	6
1.2 La Région Transport Centre Béjaia (RTC)	8
1.3 Patrimoine de la Région Transport Centre (RTC-Béjaia)	9
1.3.1 Oléoduc 24"/22" OB1 " Haoudh El Hamra – Bejaia"	9
1.4 Présentation du Terminal Marin de Béjaia (TBM)	10
1.4.1 Le Terminal Nord (TMN)	10
1.4.2 Le Terminal Sud (TMS)	14
1.4.3 Port Pétrolier (PP)	15
1.4.4 La Bouée (SPM)	16
1.5 Organigramme de la RTC Béjaia	17
1.5.1 Sous-Direction Exploitation Oléoducs et Gazoducs (SOG)	19
1.6 Barémage des Réservoirs de Stockage au TBM :	21
1.7 Position du Problème	22

Conclusion	22
2 Théorie de la Fiabilité et Analyse des Données Statistiques	23
Introduction	23
2.1 La Fiabilité	23
2.2 Défaillance	24
2.3 Mécanismes de Défaillance	24
2.3.1 Le Taux de Défaillance	25
2.4 Les Différentes Phases du Cycle de Vie d'un Equipement	26
2.5 Objectifs et Intérêts de la Fiabilité	27
2.6 Différents Temps Caractéristiques	28
2.7 Fiabilité des Systèmes	29
2.8 Principales Lois de Probabilité Utilisées en Fiabilité	31
2.8.1 La Loi Exponentielle	31
2.8.2 La Loi Normale (Laplace-Gauss)	33
2.8.3 La Loi de Weibull à Trois Paramètres	34
2.8.4 La Loi de Weibull à Deux Paramètres	35
2.8.5 La Loi Gamma	35
2.9 Estimation des Paramètres des Lois de Probabilité	36
2.9.1 La Méthode des Moments	36
2.9.2 La Méthode Maximum de Vraisemblance	37
2.10 Validation des Modèles : Tests d'Ajustement	38
2.10.1 Test de Kolmogorov-Smirnov	38
2.10.2 Test de Khi-Deux	39
Conclusion	40
3 Concepts et Politique de la Maintenance Pour Systèmes Élémentaires	41
Introduction	41
3.1 La Maintenabilité	41
3.2 La Disponibilité	42
3.3 Définition de la Maintenance	42
3.4 Types et stratégies de la Maintenance	43
3.4.1 La Maintenance Corrective	43
3.4.2 La Maintenance Préventive	44
3.5 Relation Entre Fiabilité, Maintenabilité et Disponibilité	48
3.6 Caractéristiques des Activités de Maintenance	49
3.7 Effets de la Maintenance Sur les Systèmes	49

3.7.1	Réparation (Maintenance) Parfaite	49
3.7.2	Réparation (Maintenance) Minimale	49
3.7.3	Réparation (Maintenance) Imparfaite	49
3.8	Politique de la Maintenance Pour Systèmes Elémentaires	50
3.8.1	Politique de la Maintenance Préventive Dépendant de l'Age	50
3.8.2	Politique de Maintenance Préventive Périodique	50
3.8.3	Politique de Remplacement Périodique et Réparation Minimale	51
3.8.4	Politique de Maintenance Périodique Imparfaite et Réparation Minimale	51
	Conclusion	52
4	Analyse de la Fiabilité du Système de Parc de Stockage de la RTC-Béjaia	53
	Introduction	53
4.1	Mise en Oeuvre du Plan de Maintenance	53
4.1.1	Maintenance Niveau 1	53
4.1.2	Maintenance Niveau 2 "Révision partielle"	54
4.1.3	Maintenance Niveau 3 (Réhabilitation du bac) "Révision générale" . . .	55
4.2	Collecte des Données	56
4.3	Modélisation Paramétrique des Lois de Fiabilité du Système de Parc de Stockage	58
4.4	Interprétation des Résultats	60
	Conclusion	61
5	Optimisation de la Maintenance du Système du Parc de Stockage de la RTC-Sonatrach	62
	Introduction	62
5.1	Modèle d'Optimisation Proposé	62
5.1.1	Remplacement Périodique (de Bloc) - Critère de Coût	63
5.2	Politique de Maintenance Périodique Imparfaite et Réparation Minimale	63
5.3	Estimation des Coûts pour les Réservoirs	64
5.4	Résultats de l'Optimisation	65
5.5	Interprétation des Résultats	66
5.6	Conclusion	66
	Conclusion Générale	67
	Bibliographie	69

Liste des tableaux

4.1	Données collectées de durée de bon fonctionnement des réservoirs . . .	57
4.2	Les types de défaillance	57
4.3	Identification des paramètres de Weibull	58
4.4	Résultats d'ajustement	59
5.1	Temps optimums de réparations minimales du système en fonction du nombre de cycle et du facteur de l'efficacité	65
5.2	Coûts optimums de réparations minimales du système en fonction du nombre de cycle et du facteur de l'efficacité	65

Table des figures

1.1	Organigramme de l'entreprise Sonatrach	6
1.2	Description des ouvrages de RTC	9
1.3	Parc de Stockage	10
1.4	Bac à toit flottant	11
1.5	Manifold	13
1.6	La Bouée	16
1.7	Structure du département maintenance	18
1.8	Structure du département exploitation liquide	20
2.1	Courbe en baignoire	26
2.2	Courbe du taux de défaillance en mécanique	27
2.3	Temps caractéristiques	29
2.4	Configuration série	30
2.5	Configuration parallèle	31
2.6	Propriété sans mémoire de la loi exponentielle	32
2.7	Taux de défaillance de la loi de Weibull	35
3.1	Contenu de la fonction maintenance	43
4.1	Le taux de défaillance du parc de stockage	60

Acronymes

SOPEG : Société Pétrolière de Gérance.

SONATRACH : Société Nationale de Transport et de Commercialisation des Hydrocarbures.

LQS : Liquéfaction et Séparation.

EP : Exploration-Production.

RPC : Raffinage et Pétrochimie.

COM : Commercialisation.

TRC : Transport par Canalisation.

RTO : Région Transport Ouest-Arzew .

RTH : Région Transport de Haoud-El-Hamra.

RTE : Région Transport Est-Skikda.

RTI : Région Transport d'Inaminas.

HRM : Gazoduc Hassi R'mel.

CEM : Gazoduc Espagne/Maroc.

GPDF : Gazoduc Tunisie/Italie.

HEH : Haoud-El-Hamra.

RTC : Région Transport Centre.

TBM : Terminal Marin Béjaia.

TMN : Terminal Nord.

TMS : Terminal Sud.

PP : Port Pétrolier.

SPM :

MTN : Département Maintenance.

SOG : Sous-Direction Exploitation Oléoducs et Gazoducs.

EXL : Département Exploitation Liquide.

Introduction Générale

La recherche opérationnelle recouvre des méthodes et techniques rationnelles pour trouver la meilleure façon pour faire des choix et aboutir au résultat visé ou au meilleur résultat possible. C'est ce que l'on appelle une aide à la décision. A partir d'une modélisation pour analyser et maîtriser des situations complexes, elle permet à un décideur de mesurer les enjeux et de choisir l'option la plus efficace.

La recherche opérationnelle liée à l'ingénierie des systèmes et au management du système d'information s'appuie sur le raisonnement mathématique-logique, probabilité, analyse des données et la modélisation de processus. Elle aide à résoudre de sujets stratégiques (un investissement, une implantation "opérationnelle ou bien ordonnancement", gestion de stock, affectation de moyens humains ou matériels à des tâches, prévision de ventes.....). Le secteur de l'informatique s'en sert pour choisir les serveurs à mettre en place, stocker des données, etc [14].

L'industrie pétrolière l'utilise pour établir des plans de production, utilise des unités de raffinage, choisir le canal de distribution le plus rentable.

Le développement de l'économie moderne se traduit par une consommation toujours croissante d'énergie. Les hydrocarbures en parlant de pétrole brut constitue aujourd'hui la source d'énergie la plus utilisée. En effet, ils fournissent l'essentiel de la consommation mondiale en énergie. Cependant, une sélection de plus en plus sévère est entrain de s'opérer : le monde actuel ne demande pas seulement toujours plus d'énergie, il exige qu'elle soit fournie sous une forme appropriée et à des conditions avantageuses.

L'usage du pétrole comme matière première pour la fabrication de produits essentiels (médicaments, protéines alimentaires, plastiques) selon les experts devrait croître énormément à l'avenir. La découverte du pétrole en Algérie remonte à l'époque française et son exploitation industrielle a été géré par la SOPEG en 1957 jusqu'à la création de SONATRACH en 1963.

SONATRACH est classée première entreprise d'Afrique, C'est un acteur majeur de l'industrie pétrolière, c'est une entreprise pétrolière et gazière algérienne, elle est structurée de plusieurs régions. Nous nous intéressons à la région RTC -Béjaia (Région Transport Centre Béjaia) ou nous avons effectué notre stage, cette dernière gère les différentes opérations liées à son fonctionnement (stockage , exportation, ..) et pour ce faire, elle assure l'acheminement d'hydrocarbures à travers des pipelines et des stations de pompage vers le terminal marin Béjaia, qui est composé d'un parc de stockage, et un port pétrolier pour l'exporter.

La performance du terminale marin se mesure par le temps, la rapidité des opérations et le coût. Ces facteurs sont conditionnés par une efficacité dans la planification et la gestion optimale de la maintenance. Sachant que la maintenance corrective est bien l'intervention lors de la panne et la maintenance préventive réalisée de manière préventive est essentielle. Elle permet de mieux éviter les défaillances et de mieux se préparer à ces événements indésirables lorsqu'ils surviennent, ce qui permet notamment de mieux gérer les coûts industriels. Elle cherche à rallonger la durée de vie des outils, qui peuvent coûter très chère lorsqu'il faut les réparer en urgence ou les remplacer.

Afin d'assurer un bon fonctionnement du terminal marin, plusieurs études ont été faites. Parmi les problématiques traitées :

La première et celle réalisée en 2004, son objectif est la conception et la réalisation d'un outil de gestion de la maintenance préventive à SONATRACH. Concerne la planification et la répartition des opérations de maintenance sur les différents équipements des stations de pompage de l'oléoduc HEH-Béjaia. Il s'agit d'élaborer un planning des interventions sur les équipements, tout en prenant en considération le nombre d'heure de fonctionnement de chaque machine, l'état de fonctionnement et la qualité du produit annuelle à transporter.

La deuxième est celle réalisée en 2014 [19], l'objectif du travail est de présenter la méthode de mesure des coûts de transport des hydrocarbures (pétrole brut et gaz naturel), et ce afin d'expliquer les différents éléments qui pèsent lourdement sur les ressources de l'entreprise pétrolière.

La troisième est celle réalisée en 2016 [8], elle avait pour objectif de garantir une meilleure sécurité offerte par les systèmes de contrôle d'accès tout en essayant de trouver un équilibre entre le rapport coût/sécurité. D'où l'intérêt après avoir fait une étude de fiabilité d'essayer d'élaborer un plan de maintenance optimal permettant de minimiser le coût total de la maintenance en optimisant les périodicités des interventions.

La quatrième est celle réalisée aussi en 2016 [7], ils se sont intéressés à la modélisation du

nombre de pannes des liens de transmission de la fibre optique dans la période 2011 jusqu'au 2015.

La cinquième est celle réalisé en 2016 aussi [10], l'étude se base donc principalement sur la modélisation et la résolution du RCPSP qui consiste en l'accélération du projet en mettant l'emphase sur le compromis durée/coût. Ils ont présenté une approche basée sur l'algorithme Tabou pour l'accélération de projets de taille importante, permettant de minimiser le temps de réalisation tout en déterminant le meilleur budget additionnel possible.

La sixième est celle réalisé en 2017 [9], cette étude se base principalement sur la modélisation et la résolution d'un RCPSP avec différentes ressources et chevauchement d'activités. Le chevauchement de ces activités consiste à les exécuter en parallèle i.e les exécuter de manière séquentielle, en autorisant l'activité en aval à débiter avant la fin de l'activité en amont à partir des informations préliminaires. Cela consiste en l'allocation des ressources financières, humaines et matérielles, de manière à atteindre des objectifs bien précis. Cependant le chevauchement des activités induit la surcharge des ressources et pour remédier à cette surcharge il faut faire appel au lissage de ces ressources. Ainsi, dans ce mémoire ils ont implémenté l'heuristique de lissage 'Burgess Killebrew'.

Et plusieurs d'autres études. Dans notre travail, nous nous focalisons sur les réservoirs de stockage situés au parc de la RTC- Béjaia, qui doivent répondre au souci de fiabilité. Cette dernière est une composante essentielle dans la sûreté de fonctionnement et participe à la disponibilité de ces derniers. Qui nous a conduit à réalise une étude d'optimisation de la maintenance, Nous avons réalisé une étude d'optimisation de la maintenance préventive sur ces derniers, afin d'étudier leur disponibilité.

Le travail est composé d'une introduction générale, 5 chapitres et une conclusion générale :

- Dans le premier chapitre, nous avons commencé par une présentation de l'entreprise d'accueil SONATRACH-TRC-RTC Béjaia et décrit brièvement la structure du terminal marin et le processus de stockage au niveau de parc. Nous terminons par la position du problème.
- Dans le deuxième chapitre, nous nous focalisons dans la première partie sur les notions relatives aux concepts de base de la fiabilité. Dans la deuxième partie, nous avons introduit les deux types de tests d'hypothèses (Kolmogorov-Smirnov et Khi-Deux) pour valider les résultats d'ajustement de nos données par des lois de fiabilité.

- Ensuite, dans le troisième chapitre, nous avons évoqué la notion de maintenance, ses types, notamment la maintenance préventive ainsi que ses effets sur les systèmes et son objectif. Nous terminons par les principaux modèles de la maintenance préventive.
- Dans le quatrième chapitre, nous avons effectué une estimation des lois de fiabilité adéquates. Puis nous avons validé l'ajustement par le test de Kolmogorov-Smirnov.
- Le dernier chapitre, est consacré à la partie optimisation de la maintenance préventive du système. Et dans ce chapitre, nous détaillons un plan de maintenance préventive.

Transport Par Canalisation de Brut de la RTC Béjaia

Introduction

Dans le présent chapitre nous allons présenter l'entreprise SONATRACH et ses différentes branches, ainsi que des généralités sur le réseau de transport par canalisation. Puis, nous nous focalisons sur la Région Transport Centre Béjaia, plus précisément sur le Terminal Marin. A la fin de ce chapitre, nous exposons la position du problème.

1.1 Présentation de l'Entreprise SONATRACH

1.1.1 Historique et Missions

SONATRACH est la compagnie nationale algérienne de recherche, d'exploitation, de transport par canalisation, de transformation et de commercialisation des hydrocarbures et de leurs dérivées. Elle a pour missions de valoriser de façon optimale les ressources nationales d'hydrocarbures et de créer des richesses au service du développement économique et social du pays.

Depuis plus de 50 ans, SONATRACH joue pleinement son rôle de locomotive de l'économie nationale. Elle a pour mission de valoriser les importantes réserves en hydrocarbures de l'Algérie. Cet acteur majeur de l'industrie pétrolière, surnommé la major africaine, tire sa force de sa capacité à être un groupe entièrement intégré sur toute la chaîne de valeur des hydrocarbures. Elle exerce ses activités dans cinq activités opérationnels, à savoir : Exploration-Production (EP), Transport par Canalisations (TRC), Liquéfaction et Séparation (LQS), Raffinage et Pé-

trochimie (RPC) et l'activité Commercialisation (COM).

1.1.2 Organigramme de l'Entreprise

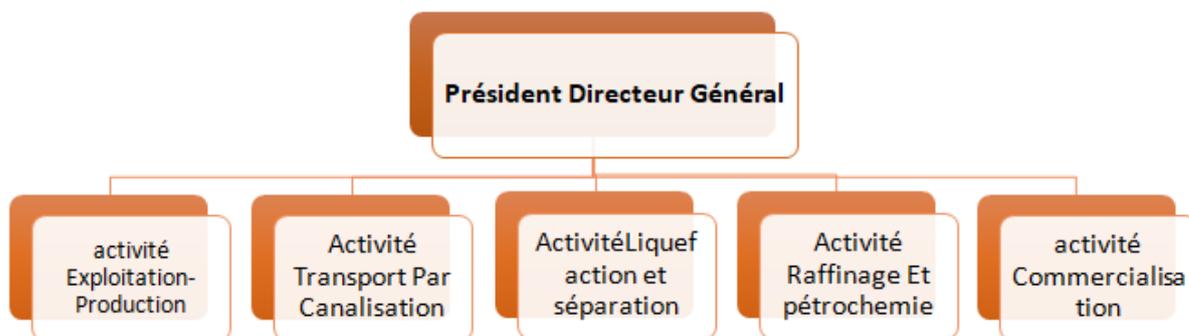


FIGURE 1.1 – Organigramme de l'entreprise Sonatrach

1.1.3 Activités de l'Entreprise

Les activités de base de SONATRACH portent sur toute la chaîne des hydrocarbures, en commençant par la recherche et l'exploration, jusqu'à la transformation des hydrocarbures et leur commercialisation aux consommateurs finaux. Il est possible de regrouper ces activités en cinq activités globales :

A) L'Activité Exploration-Production (EP)

Elle s'articule autour de trois axes :

- Le développement et l'exploitation des gisements pour une valorisation optimale des ressources.
- La gestion des activités en partenariat dans les phases d'exploration, de développement et d'exploitation des gisements.
- La recherche, la négociation et le développement de nouveaux projets sur le territoire national et à l'international.

B) Activité Liquéfaction et Séparation (LQS)

L'activité liquéfaction et séparation s'est affirmée en tant que maillon important dans la

chaîne de valeur de SONATRACH s'érigeant en Activité à part entière, dont sa mission principale est :

- Liquéfaction du gaz nature.
- Séparation des GPL.
- Optimisation de l'outil de production.

C) Activité Raffinage et Pétrochimie (RP)

L'activité raffinage et pétrochimie a pour mission essentielle l'exploitation et la gestion de l'outil de production du raffinage et de la pétrochimie, pour répondre principalement à la demande du marché national en produits pétroliers.

D) Activité Transport Par Canalisations (TRC)

couvre plusieurs domaines :

- L'exploitation des ouvrages de transport des hydrocarbures et des installations portuaires à quai et en haute mer.
- La maintenance des ouvrages de transport des hydrocarbures et des installations de chargement portuaires à quai et en haute mer.
- Les études et développement, à l'exception des études relevant de la direction corporate Business Development et Marketing (BDM) et la réalisation de projets relevant de la Direction Centrale Engineering et Project Management.

SONATRACH exploite un réseau de transport par canalisation des hydrocarbures (Pétrole Brut, Condensat, Gaz Naturel et Gaz Pétrole Liquéfié) composé de 22 Systèmes de Transport par Canalisation (STC) d'une longueur totale de 20 705 km. Un STC est constitué d'une ou plusieurs canalisation(s) transportant des Hydrocarbures, y compris les installations intégrées, et les capacités de stockage liées à ces ouvrages, notamment les stations de compression, les stations de pompage, les postes de coupure, les postes de sectionnement, les lignes d'expédition, les postes de chargement à quai et en mer ainsi que les systèmes de protection cathodique, de comptage, de régulation, de télécommunications et de télé-contrôle.

La gestion des STC s'opère à travers six (06) Directions Régionales (RTO, RTH, RTE, RTI, RTC, HRM) et deux (02) Directions Opérationnelles (GEM et GPDF).

- Région Transport Ouest-Arzew (RTO).
- Région Transport de Haoud-el-Hamra(RTH).
- Région Transport Est-Skikda (RTE).

- Région Transport d'Inaminas (RTI).
- Région Transport Centre-Bejaia (RTC).
- Gazoduc Hassi R'mel (HRM).
- Gazoduc Espagne/Maroc (GEM).
- Gazoduc Tunisie/Italie (GPDF).

E) **Activité Commercialisation (COM)**

- Commercialisation extérieure.
- Commercialisation sur le marché intérieur.
- Transport maritime des hydrocarbures [22].

1.2 La Région Transport Centre Béjaia (RTC)

La Région Transport Centre (RTC) est l'une des huit Régions de Transport par Canalisations (TRC) des hydrocarbures. Sa mission consiste en : le transport, le stockage, et la livraison des hydrocarbures liquides et gazeux (pétrole brut et gaz naturel) de la région centre du pays via les pipelines.

Elle relève de la division exploitation de l'activité transport par canalisation de SONATRACH. La direction régionale de Bejaia a pour but :

1. La gestion et l'exploitation des ouvrages de transport des hydrocarbures liquides (canalisations et stations de pompage).
2. La gestion et l'exploitation des ouvrages de transport des hydrocarbures de gaz (canalisation GG1 42" et stations de compression SC3) destinés à la consommation nationale du Gaz.
3. La coordination et le contrôle de l'exécution des programmes de transport arrêtés en fonction des impératifs de la production et de commercialisation.
4. La maintenance, l'entretien et la protection des ouvrages et des canalisations, ainsi que l'exécution des révisions générales des machines tournantes et équipements y afférents.
5. La conduite des études, la réalisation de la gestion de développement des ouvrages et de

canalisations.

1.3 Patrimoine de la Région Transport Centre (RTC-Béjaïa)

1.3.1 Oléoduc 24"/22" OB1 " Haoudh El Hamra – Bejaïa"

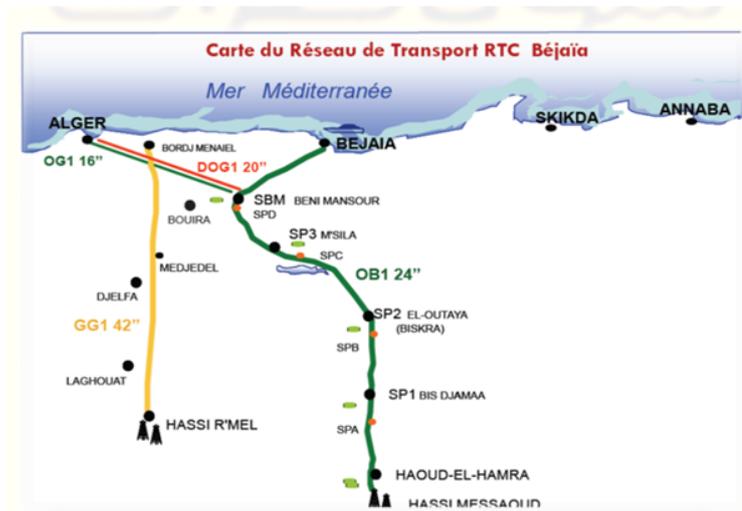


FIGURE 1.2 – Description des ouvrages de RTC

L'oléoduc OB1 fut le premier pipeline réalisé en ALGERIE par la société pétrolière de gérance SOPEG, il a été mis en service en 1959 avec une longueur de 668 km reliant le centre de stockage HAOUD EL HAMRA avec le terminal marin de BEJAÏA.

Le diamètre du pipeline varie sur deux tronçons à savoir :

- Le premier tronçon, de HEH au col SELATNA, le pipeline est de 24" de diamètre.
- Le deuxième tronçon, du col SELATNA au TM BEJAÏA, le pipeline est de 22" de diamètre.

Par ailleurs, la ligne OB1 est constituée de huit stations de pompage dont quatre stations principales, à savoir :

SP1 bis Djamaâ, SP2 Biskra, SP3 Msila, SP4 Beni-Mansour et quatre stations intermédiaires ou satellite : SPA, SPB, SPC et SPD.

1.4 Présentation du Terminal Marin de Béjaia (TBM)

Le terminal marin de Bejaia est divisé en deux terminaux (terminal nord - terminal sud) également, il comporte un port pétrolier qui se trouve à environ 8 kms nord de la ville et une bouée qui se trouve à une distance de 7 Kms de la cote.

1.4.1 Le Terminal Nord (TMN)

1. Parc de stockage :



FIGURE 1.3 – Parc de Stockage

Il contient :

- 12 bacs à toit flottant de capacité volumique de $35\,000\ m^3$, Ces bacs sont posés de façon à former un demi-cercle Chaque bac contient une vanne, deux agitateurs.
- Un jaugeur (transmetteur de niveau et de températures), des bouteilles de halon pour étouffer le feu en cas d'incendie.
- Un bac 4Y1 à toit fixe de capacité de $2900\ m^3$ utilisé pour emmagasiner le brut.

Bac à toit flottant :

Le toit flottant couvre et flottent sur la surface du produit en suivant les mouvements de descente et de montée du produit. Pour permettre ces déplacements, un espace annulaire libre existe entre le toit et la robe de la cuve. Il est obturé par un système d'étanchéité déformable qui permet au toit de coulisser sans entrave à l'intérieur de la robe.

En générale, on emploie les réservoirs à toit flottants lorsqu'on veut réduire au maximum les évaporation et les risque d'incendie. C'est un toit à "Double-Deck", qui assure une haute flottabilité. En effet, un toit flottant étant toujours en contact direct avec le produit stocké, donne les avantages suivant :

1-Il réduit au maximum les pertes par évaporation causée par les variations de températures.

2-Au cours du remplissage d'un réservoir, il n'y a pas de perte par évaporation, parce qu'il n'existe pas un espace vide entre le toit et le niveau du liquide ou les vapeurs s'accumulent.

3-Les hydrocarbures ne peuvent pas prendre feu, parce qu'ils ne sont pas en contact avec l'air.

4-Le manque d'espace entre le toit et le niveau du liquide empêche la formation du mélange détonant.

Le bac à toit flottant se constitue de :

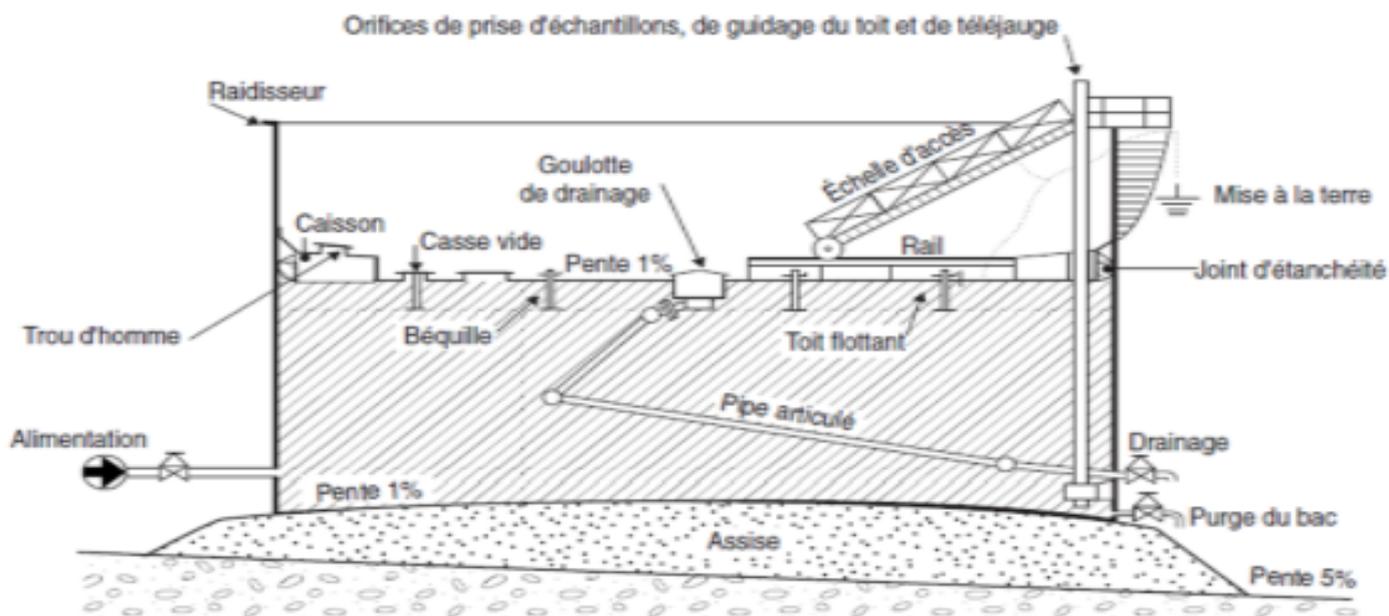


FIGURE 1.4 – Bac à toit flottant

- Escalier d'accès : un escalier d'accès à main courante avec marches orientables.
- Garde de corps : sécurise le personnel qui travaille sur le bac.

- Echelle ou escalier d'intérieur : sert d'accès au toit du bac.
- Trous d'hommes : pour l'inspection des réservoirs et le nettoyage.
- Les caissons : sont des compartiments dans les toits flottants, ils sont munis d'orifices permettant le contrôle de leurs atmosphères.
- La vanne de vidange ou de remplissage : elle est montée au pied du bac.
- Système de jaugeage : trois trous pour le jaugeage, servent au prélèvement des échantillons.
- Agitateurs : ils servent à mélanger le pétrole brut.
- Ligne de purge : elle est équipée d'une vanne qui sert à la purge de l'eau avant la décantation.
- puisards : dans lequel il y a un flotteur de l'indicateur de niveau du bac.
- Les béquilles : permettent le maintien du toit en flottaison lorsque la hauteur du liquide ne le permis pas, ou le bac est vidé pour des travaux de maintenance.
- La mise à terre : de cette façon les bacs forment des cages faraday dont l'intérieur est préservé de toutes influences électrique et l'écoulement des charges atmosphérique se fait de bonnes conditions, du fait que les bacs possèdent trois prises de terre.
- Déversoirs : ils sont constitués de tubes déflecteurs qui ont pour but de ramener le jet de mousse contre la paroi du réservoir, la mousse s'écoule le long de cette dernière jusqu'à la surface des hydrocarbures sur laquelle elle s'étale.
- Système fixe de refroidissement par eau : une canalisation circulaire ($\phi=6''$) dotée de têtes d'arrosages est installée en gardant un certain intervalle. Les tuyaux d'alimentation en eau vers chaque réservoir sont avec la canalisation principale à incendie et l'eau est alimentée à travers le clapet d'arrêt et la crépine.
- Circuit mousse : des diffuseurs montés sur le haut de la robe étalent sur la surface du liquide un tapis de mousse capable d'étouffer les flammes en cas d'incendie.

- Pour assurer une couverture rapide et uniforme, plusieurs diffuseurs sont judicieusement repartis sur le tour du réservoir.
- Systèmes de détection et d’extinction automatique au Halon : ce système est utilisé sur les bacs de stockage à toits flottants.

2. Manifold :



FIGURE 1.5 – Manifold

C'est un ensemble de collecteurs, canalisations et des vannes utilisées pour réceptionner les hydrocarbures venant du Sahara et stockage, il permet de :

- Envoyer le liquide arrivant par ligne vers un réservoir choisi.
- Vidange d'un bac au plusieurs vers le poste de chargement.
- Transfert le brut d'un bac a un autre.

Le manifold nord comprend des vannes réparties comme suit :

- 08 vannes de transfert de collecteurs (AM,AN,AO,AP,AR,AS,AT,BM,BN,BO,BP,BR,BS,BT).
- 06 vannes pour chaque lignes (LA, LB, LC, LD, LE, LF).
- 06 vannes pour chaque pompe de remplissage.

Chaque bac est doté d'une vanne motorisé appelée vanne pied de bac.

Pomperie de chargement vers le port pétrolier :

Le terminal Nord est doté de 07 électropompes (GEP) de chargement nommées :

- M, N, O, P de $2500 \text{ m}^3/h$
- R de $1800 \text{ m}^3/h$
- S, T de $2200 \text{ m}^3/h$

3. Tour de Contrôle :

C'est une salle dans laquelle on trouve les tables de commande pour le terminal nord et sud pour commander l'ouverture des vannes et la sélection du bac, la pompe et le chemin de circulation du fluide, en plus de ça la tour a une hauteur importante permettant de visualiser l'état des vannes et des bacs.

4. La Gare de Racleur :

Chaque station de pompage possède une gare racleur d'arrives et une de départ :

La gare racleur est la destination finale du racleur, on trouve aussi deux vannes L2 soit vers le sud à travers la vanne L4.

La gare de racleur possède un système de sécurité de trois soupapes de décharge S1, S2, S3 tarées respectivement à 14 kg/cm^2 , 27 kg/cm^2 , 83 kg/cm^2 .

Racleur :

Les pipelines sont nettoyés à intervalles prévus ou lorsque cela est nécessaire pour maintenir le débit en réduisant les frottements et en conservant un diamètre intérieur aussi grand que possible. Un dispositif spécial, appelé "racleur" ou "ramoneur", est introduit dans le pipeline où il est propulsé par le pétrole d'une station de pompage à l'autre. A mesure qu'il avance, il enlève les impuretés, paraffines et autres dépôts accumulés sur les parois. Lorsqu'il atteint une station de pompage, il est récupéré, nettoyé et réintroduit dans la conduite jusqu'à la station suivante.

1.4.2 Le Terminal Sud (TMS)

On trouve dans ce terminal les éléments suivants :

1. Parc de Stockage :

Il contient 4 bacs à toit flottant de capacité volumique de $50\,000 \text{ m}^3$, chaque bac contient une vanne, deux agitateurs, un jaugeur (transmetteur de niveau et de température), en

plus de ça des bouteilles de halon pour étouffer le feu en cas d'incendie.

2. Salle Electrique :

Elle est divisée en trois chambres, haut tension, moyenne et basse tension. On trouve dans la chambre de haut tension, les deux arrivées de sonalgaz sont connectées a deux disjoncteurs principaux redondants, un disjoncteur en amont et en aval de chaque transformateurs de tension 30kv/5.5kv. Dans la chambre de moyenne tension, on trouve deux transformateurs 5.5kv/380v redondant, un transformateur 380kv/380v pour extraire le neutre du secondaire, un disjoncteur en amont et on aval de chaque transformateur et des petits disjoncteurs pour l'alimentation des moteurs et des pompes. Dans la chambre de basse tension on trouve des batteries rechargeables, des redresseurs de tension des chargeurs de batterie et des armoires contenant les automates Allen Bradly et siemens S7 300, S7 400 et un ordinateur pour la supervision des installations qui sont connectées directement avec l'automate S7 400 par un câble Ethernet. Dans ces chambres on trouve des capteurs de fumée et des bouteilles de Halon pour la sécurité de la salle électrique.

3. Manifold :

Il contient un ensemble de collecteurs (canalisations, pompes, moteurs, électrovannes) la conduite d'étalonnage et le skid de comptage. Ces pompes aspirent le pétrole ou bien ensuite refoulent vers les postes de chargement qui se trouvent au port.

Pomperie de Chargement vers le Port Pétrolier : Le terminal Sud est doté de 04 électropompes (GEP) de chargement allant de 1800 m^3/h jusqu'à 3500 m^3/h (nommées W,X,Y,Z).

L'aspiration de chaque pompe est dotée d'un filtre alors que le refoulement est équipé d'un clapet de non-retour (de même pour les pompes du dépôt nord).

1.4.3 Port Pétrolier (PP)

Il est constitué de 3 postes de chargement, une station de déballastage composé de 2 réservoirs de 12 000 m^3 chacun et 2 bassins séparateur de 100 m^3 .

1. Station de déballastage :

Elle a deux séparateurs ainsi que deux réservoirs d'une capacité de 12000 m^3 chacun. Son

rôle est la récupération des slops à l'intérieur des tankers.

2. Postes de chargement :

la Région Transport Centre (RTC-Béjaia) dispose de :

- P1 la capacité de 40 000 TM, exploité par NAFTAL.
- P2 utilisé pour le chargement des navires de capacité inférieure à 80 000 tonnes.
- P3 utilisé pour le chargement des navires de grande capacité (jusqu'à 90 000 tonnes).

Ce qui caractérise ce poste des autres postes de chargement est la possibilité de chargement en cas de mauvais temps.

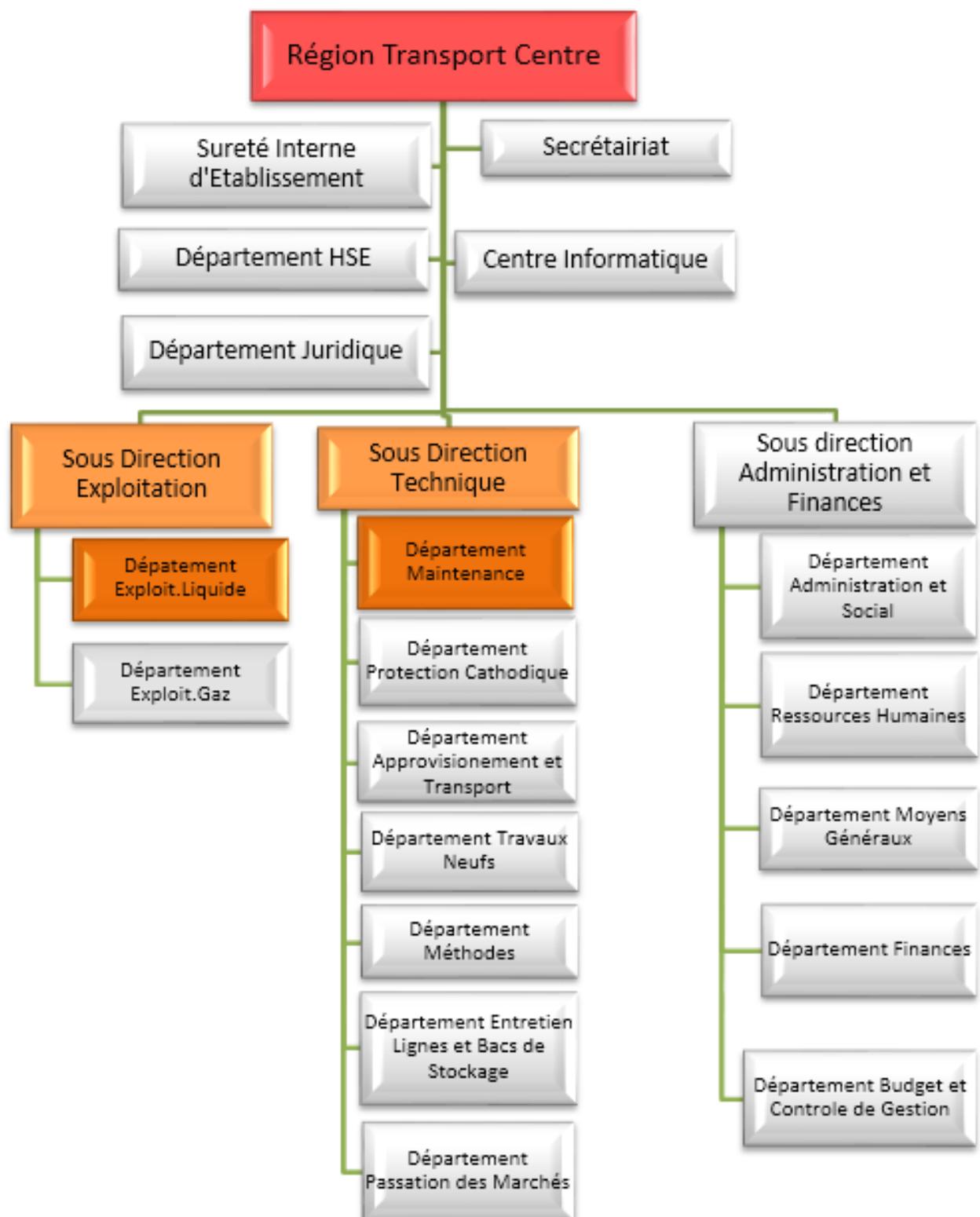
1.4.4 La Bouée (SPM)



FIGURE 1.6 – La Bouée

La bouée de Bejaia se trouve à une distance de 7 Km de la cote, elle est reliée à la station de pompage du terminal sud via une conduite de 42" pour le pétrole brut, elles comportent 1 vanne de plage motorisée, à l'extrémité se trouve le PLEM (le collecteur de fin de canalisation qui est posé sur le fond marin et conduit le produit des canalisations offshore jusqu'aux flexibles sous-marins).

1.5 Organigramme de la RTC Béjaia



1.5.0.1 Département Maintenance (MTN)

Le département maintenance est chargé de l'entretien de la ligne et s'occupe de toutes les opérations de maintenance. Sa structure est représentée sur la Figure 1.7.

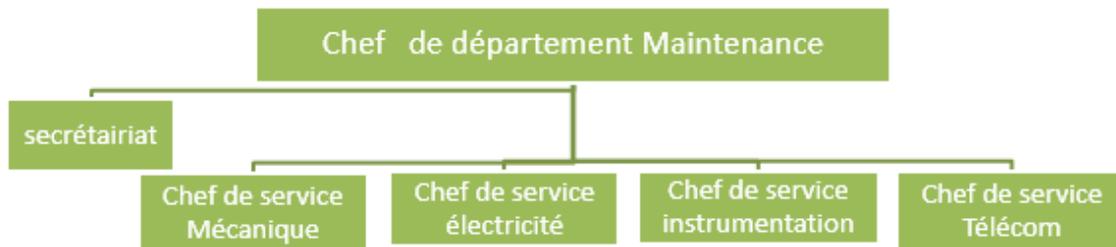


FIGURE 1.7 – Structure du département maintenance

1. Service mécanique

Ce service s'occupe essentiellement de la maintenance des parties mécaniques des équipements principaux des stations. Ses fonctions principales sont :

- Achat d'investissement mécanique.
- Achat direct de pièces de rechange.
- Veiller à l'exécution du plan prévisionnel préventif.
- Veiller au bon fonctionnement des machines tournantes.
- Sous traitante des travaux de maintenance.

– Section maintenance préventive :

Les tâches assignées à cette section sont :

- Inspection périodique des machines tournantes.
- Assurer des révisions partielles et des révisions générales.

– Section maintenance curative :

Intervient en cas de panne. Des actions de rétablissement sont prises après diagnostic de la machine. Le service maintenance assure 80% de prévention et 20% d'intervention.

– **Atelier mécanique :**

Cette section assure la réalisation de certaines pièces de rechange et réalise les révisions partielles (RP chaque 10000h) et les révisions générales (RG chaque 40000h) selon le planning annuel prévisionnel de maintenance.

2. Service instrumentation

Il assure la sécurité des instruments (appareils de mesure) installés sur toute la ligne. Ce service est composé de deux sections sont :

– **Section intervention :**

elle est chargée des révisions générales (RG) des instruments.

– **Section atelier :**

elle est chargée de la réparation de tous les instruments des différentes stations.

3. Service télécommunication

Il s'occupe de 3 types d'équipements :

- Radios fixes et mobiles.
- Réseau téléphonique de 400 lignes extensible à 1000 lignes.
- Réseau télégraphique.

4. Service électricité

Ce service s'occupe de trois types d'équipements :

- Equipements industriels.
- Equipements électromécaniques.
- Equipements conditionnements.

1.5.1 Sous-Direction Exploitation Oléoducs et Gazoducs (SOG)

La SDE est chargée de l'exploitation des installations de la région, elle est composée de deux départements département exploitation liquide ou nous avons effectué notre stage et département exploitation gaz.

Le Département Exploitation Liquide (EXL) :

Le Département Exploitation Liquide est le noyau de la RTC. Ce département est chargé des

missions suivantes :

- Transport de pétrole brut de Haoud El Hamra vers les terminaux marins (Béjaïa et de la raffinerie de Sidi Arcine-Alger).
- Chargement de bateaux en pétrole brut.
- Stockage de pétrole brut.
- Gestion des stations de pompage et des terminaux.



FIGURE 1.8 – Structure du département exploitation liquide

1. Service lignes

Ce service est composé de deux sections :

– **Section inspection :**

Son rôle est d’assurer le contrôle et l’inspection des canalisations et auxiliaires.

– **Section préparation :**

Son rôle est l’étude ainsi que l’engineering des installations du transport pour une exploitation optimum.

2. Service trafic

Son rôle essentiel est la surveillance et l’acheminement du fluide jusqu’aux terminaux. Il s’occupe aussi de la coordination du fonctionnement des stations de pompage. Ce service contient trois sections :

– **Section dispatching :**

Cette section s’occupe du réglage de débit envoyé vers le parc de stockage de Bejaïa.

– **Section shipping :**

A partir d'un planning élaboré par la direction commerciale, cette section prépare les dossiers des clients pour la transaction commerciale.

– **Section comptabilité et programmation :**

Son rôle est l'enregistrement sur des registres journaliers :

- Les quantités envoyées de Haoud-El-Hamra.
- Les quantités de brut consommées au niveau des stations de pompage.
- Les quantités reçues au terminal marin de Bejaia.
- Les quantités exportées.

3. Service laboratoire

Ce service contrôle la qualité du produit, il effectue des tests sur la densité, la teneur en sel et en soufre, la pression et la recherche de sédiments et d'eau. Ce service est très important puisque les résultats des analyses effectués sur le brut définiront sa qualité et son prix.

4. Service terminal

Assure la réception, le stockage et les chargements des navires citerne au port pétrolier.

1.6 Barémage des Réservoirs de Stockage au TBM :

L'opération de barémage des réservoirs de stockage de pétrole brut est une opération primordiale, après les travaux de réhabilitation ou bien après la fin des travaux de réparation susceptible d'affecter sa capacité de stockage, cette opération est nécessaire avant la remise en exploitation des réservoirs.

Le jaugeage "barémage " permet de déterminer la capacité des réservoirs, à l'aide d'une table de barème qui donne la capacité "le volume de produit" en fonction de la hauteur de produit. Cette opération réalisée par un organisme externe à savoir ONML, "Office National de Métrologie Légale".

Après achèvement du barémage , l'OMNL délivre un certificat de barémage (valable pour une durée de 10 ans) qui nous permettra de maîtriser la mesure des quantites de produit réceptionné, stocké et exporté.

1.7 Position du Problème

Dans les mesures d'exploitation et de transport des hydrocarbures à RTC Béjaïa, nous avons étudié le processus de réception, de stockage et d'expédition du pétrol au niveau du terminal marin de Béjaïa. La sensibilité des hydrocarbures nécessite l'entretien des réservoirs de stockage en suivant un plan de maintenance préventive qui, constitué :

- Des visites de routines "hebdomadaire".
 - Des révisions partielles.
 - Des révisions générales "chaque 10 ans".
-
- Chaque bac de stockage du parc de la RTC dispose d'une durée de validité (certificat de barèmage) de 10 ans.

 - La révision générale dure pas moins de 8 mois.

 - Suivie par l'opération de barème qui s'étale sur une durée de deux (02) mois environ.

Dans le but d'optimiser la quantité d'hydrocarbure stockée au niveau du parc de la RTC-Béjaïa, nous nous intéressons à l'étude de la disponibilité des réservoirs afin d'honorer les différents contrats d'exportation, et surtout d'éviter toute défaillance subite qui peut subvenir à ces derniers.

Pour ce faire, quel est le plan de maintenance préventive optimal à appliquer aux réservoirs de stockage de TBM ?

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différentes structures de l'entreprise SONATRACH et plus précisément la Région Transport Centre de Béjaïa, dans laquelle nous avons fait notre stage au sein du département exploitation. En suite, nous avons posé le problème.

Théorie de la Fiabilité et Analyse des Données Statistiques

Introduction

Dans ce chapitre, nous allons donner quelques notions théoriques sur la fiabilité et ces différents indices, et un rappel sur les lois de probabilité qui décrivent le comportement des systèmes, grâce à l'estimation pour trouver les valeurs des paramètres de ces lois puis l'ajustement avec les tests des hypothèses de Kolmogorov-Smirnov ou bien de Khi-Deux pour la validation.

2.1 La Fiabilité

La fiabilité est l'aptitude d'un dispositif à accomplir une fonction requise, dans des conditions données, pendant une durée donnée. C'est la probabilité $R(t)$ que l'entité E accomplisse ces fonctions, dans des conditions données pendant l'intervalle de temps $[0,t]$, sachant que l'entité n'est pas en panne à l'instant initial [8].

Ou bien c'est la probabilité d'être encore en service à l'instant t . Et la probabilité d'avoir une durée de vie T supérieure à t [13].

$$R(t) = P[\mathbf{E} \text{ non défaillante sur } [0,t]] = \mathbb{P}(T > t)$$

Pour compléter l'approche théorique de la notion de fiabilité, il est nécessaire de définir aussi les notions suivantes, qui sont issues de la théorie des probabilités.

La fonction $F(t)$ représente la fonction de répartition de la variable aléatoire T . C'est la probabilité complémentaire à 1 de la fiabilité $R(t)$ définie par :

$$F(t) = \mathbb{P}(T \leq t) = 1 - R(t) \quad (2.1)$$

La fonction $f(t)$ désigne la densité de probabilité de T et elle est donnée par :

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} \quad (2.2)$$

2.2 Défaillance

La défaillance est une perte partielle ou totale ou simplement une variation des propriétés de l'élément qui diminue significativement, ou bien entraîne la perte totale de la capacité de fonctionnement.

2.3 Mécanismes de Défaillance

1. Défaillance par usure

Le mode de défaillance par usure est présent dès que deux surfaces en contact ont un mouvement relatif (plan/plan ou cylindre/cylindre).

2. Défaillances mécaniques par fatigue

On entend par fatigue, la modification des propriétés des matériaux consécutive à l'application de cycles d'efforts, cycles dont la répétition conduit à la rupture des pièces constituées avec ces matériaux.

Le phénomène de fatigue peut apparaître pour des contraintes inférieures à la limite élastique du matériau. L'origine de la rupture est due à une fissuration progressive qui s'étend jusqu'à ce que la section transversale ne puisse plus supporter l'effort appliqué.

3. Les défaillances par corrosion

La corrosion est l'ensemble des phénomènes chimiques et électrochimiques sur les matériaux métalliques résultant du milieu ambiant. L'influence du milieu ambiant conduit un métal à passer de son état métallique à l'état de sels (oxydes, sulfures, carbonates, ...). Il

est à noter que la corrosion ne fait que conduire à l'état original du métal, celui-ci existant dans la nature sous forme d'oxydes, de sulfures ou de carbonates (à l'exception de l'or ou du platine que l'on peut trouver à l'état métallique) [21].

4. Les défaillances graduelles

Elles se caractérisent par une variation progressive des paramètres déterminant la fiabilité du système. Ce type de défaillance est prépondérant pour le matériel mécanique, pour lequel se manifeste l'usure des composants après une certaine durée de fonctionnement [21].

5. Les défaillances aléatoires

Elles apparaissent durant la période de vie utile du matériel. Ce sont des défaillances accidentelles. Elles ont la même probabilité d'apparition [16].

2.3.1 Le Taux de Défaillance

Le taux instantané de défaillance $\lambda(t)$, est l'une des mesures caractéristiques de la fiabilité. La valeur $\lambda(t)dt$ représente la probabilité conditionnelle d'avoir une défaillance dans l'intervalle de temps $[t, t + dt]$, sachant qu'il n'y a pas eu de défaillance dans l'intervalle de temps $[0, t]$.

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{(1 - F(t))} = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.3)$$

La connaissance de $\lambda(t)$ permet de connaître $R(t)$ ou $F(t)$. En effet [17],

$$R(t) = \exp^{-\int_0^t \lambda(u)du} \quad (2.4)$$

$\lambda(t)$ peut être également appelé fonction de hasard et noté $h(t)$.

$$H(t) = \int_0^t h(u)du \quad (2.5)$$

et $H(t)$ est la fonction de hasard cumulée.

2.4 Les Différentes Phases du Cycle de Vie d'un Equipement

La fiabilité des systèmes, des sous-ensembles et des composants est souvent décrite par la courbe caractéristique dite en "baignoire". Elle décrit l'évolution du taux de défaillance $\lambda(t)$ en fonction du temps t et permet de mettre en évidence, de manière empirique, trois phases de la vie du produit. Le taux de défaillance est élevé au début de la vie du système. Ensuite, il diminue assez rapidement avec le temps (taux de défaillance décroissant), cette phase de vie est appelée période de jeunesse. Après, il se stabilise à une valeur qu'on souhaite aussi basse que possible pendant une période appelée période de vie utile (taux de défaillance constant). A la fin, il remonte lorsque l'usure et le vieillissement font sentir leurs effets, c'est la période de vieillissement (taux de défaillance croissant).

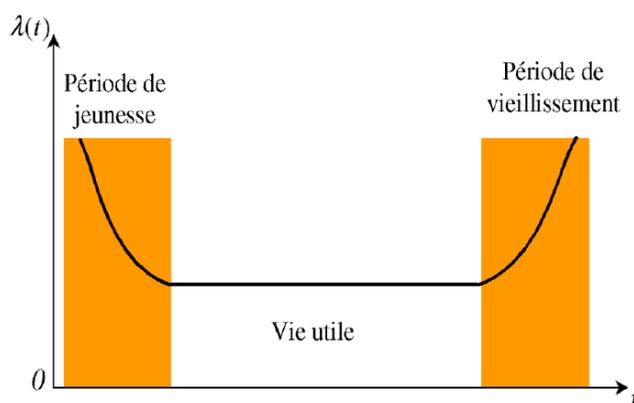


FIGURE 2.1 – Courbe en baignoire

La période de jeunesse concerne les défaillances précoces dues à des problèmes de conception (mauvais dimensionnement d'un composant, etc) ou de production (dérive d'un processus de fabrication, etc). La période utile, plus ou moins importante selon le type de matériel (plus pour l'électronique et moins pour la mécanique), est caractéristique des défaillances aléatoires, La période d'usure ou de vieillissement correspond aux défaillances dues à des phénomènes d'usure, de vieillissement, etc.

Les technologies utilisées pour réaliser les différents composants qui constituent le système sont de nature différente : mécanique, électronique, logiciel, etc. Néanmoins, leurs défaillances sont toutes caractérisées plus ou moins par la courbe en baignoire, en tenant compte de leurs spécificités [17].

Taux de Défaillance Pour des Composants Mécaniques :

Les composants mécaniques sont soumis, dès le début de leur vie, au phénomène d'usure ou de vieillissement. Si on trace la courbe du taux de défaillance, en fonction du temps, on obtient une courbe différente de la courbe en baignoire, la période de vie utile (taux de défaillance constant) n'existe pas ou elle est réduite. Le taux de défaillance du dispositif est une fonction non linéaire du temps et ceci dans chaque phase de sa vie.

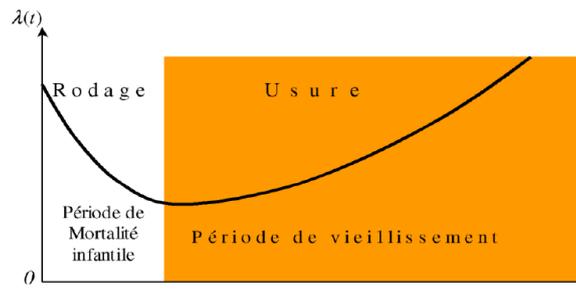


FIGURE 2.2 – Courbe du taux de défaillance en mécanique

- **Phase 1**

La première phase définit la période de mortalité infantile. C'est une durée de vie en principe très courte Elle est décrite par une décroissance progressive du taux de défaillance avec le temps dû à une amélioration des caractéristiques internes (caractéristiques de défauts) et des interfaces, par un rodage préalable des pièces. Par conséquent il n'est pas souhaitable de tester les composants mécaniques dans cette période de leur vie.

- **Phase 2**

La dernière phase définit la période de vieillissement qui comporte la majorité de la vie du dispositif. Elle est caractérisée par une augmentation progressive du taux de défaillance. Les pièces mécaniques sont soumises à des phénomènes de vieillissement multiples qui peuvent agir en combinaison : corrosion, usure, déformation, fatigue, et finalement perte de résilience ou fragilisation [3].

2.5 Objectifs et Intérêts de la Fiabilité

L'analyse de la fiabilité constitue une phase indispensable dans toute étude de sûreté de fonctionnement. A l'origine, la fiabilité concernait les systèmes à haute technologie (centrales nucléaires, aérospatial). Aujourd'hui, la fiabilité est devenue un paramètre clé de la qualité et

d'aide à la décision, dans l'étude de la plupart des composants, produits et processus "grand public" : Transport, énergie, bâtiments, composants électroniques, composants mécaniques, etc. De nombreux industriels travaillent à l'évaluation et l'amélioration de la fiabilité de leurs produits au cours de leur cycle de développement, de la conception à la mise en service (conception, fabrication et exploitation) afin de développer leurs connaissances sur le rapport Coût/Fiabilité et maîtriser les sources de défaillance [3].

2.6 Différents Temps Caractéristiques

Différents temps caractéristiques désignant des moyennes temporelles qui sont utilisés en fiabilité.

- **MTBF (Mean Time Between Failure)**

La MTBF est la moyenne des temps de bon fonctionnement (TBF). Un temps de bon fonctionnement est le temps compris entre deux défaillances.

- **MTTR (Mean Time To Repair)**

La MTTR est la moyenne des temps techniques de réparation (TTR). Le TTR est le temps durant lequel on intervient physiquement sur le système défaillant. Il débute lors de la prise en charge de ce système jusqu'après les contrôles et essais avant la remise en service.

- **MDT (Mean Down Time)**

C'est la durée moyenne d'indisponibilité ou de défaillance. Elle correspond à la détection de la panne, la réparation de la panne et la remise en service. Le MDT se décompose du temps mis pour détecter la défaillance plus le temps de réaction avant la mise en place des actions pour réparer plus le MTTR.

- **MUT(Mean Up Time)**

C'est la durée moyenne de fonctionnement après réparation [8].

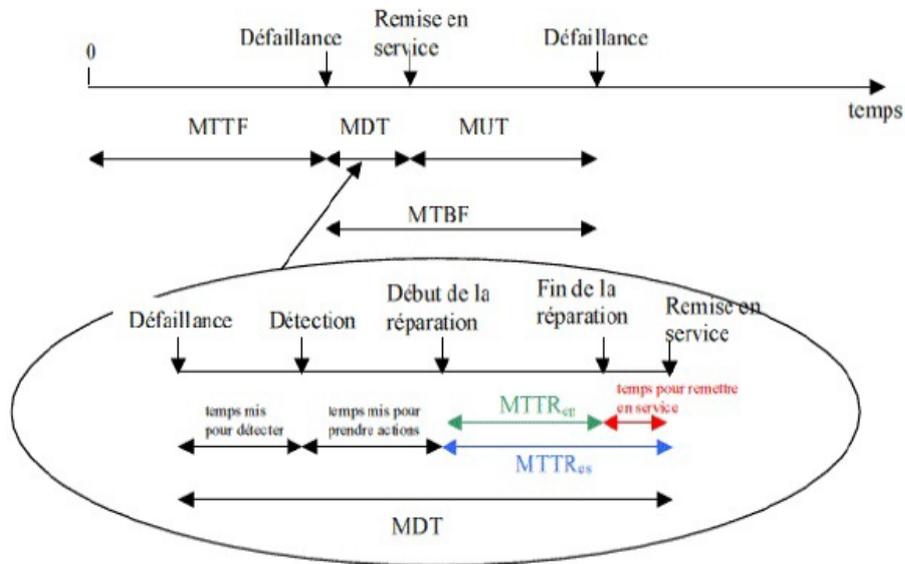


FIGURE 2.3 – Temps caractéristiques

2.7 Fiabilité des Systèmes

La fiabilité d'un système complexe se mesure en fonction de celles de ses composants élémentaires. Selon l'incidence de la défaillance de l'un de ses composants sur l'état du système, on distingue trois configurations :

1. Configuration série (sans redondance)

Un système en série ne fonctionne que si tous ses éléments fonctionnent. Il ne présente donc aucune redondance, la défaillance d'un élément quelconque entraîne inévitablement la défaillance du système. Il en résulte que :

$$T = \min(T_1, T_2, \dots, T_n). \quad (2.6)$$

d'où :

$$R(t) = \mathbb{P}(T_1 > t \text{ et } T_2 > t \text{ et } \dots \text{ et } T_n > t). \quad (2.7)$$

$$R(t) = \prod_{k=1}^n \mathbb{P}(T_k > t) = \prod_{k=1}^n R_k(t). \quad (2.8)$$

On peut déduire à partir de la formule précédente que la durée de vie du système en série est plus fiable que celle du composant le moins fiable.

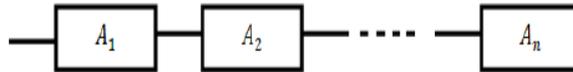


FIGURE 2.4 – Configuration série

2. Configuration parallèle

Un système en parallèle fonctionne si au moins un de ses éléments fonctionne. Une défaillance ne se produit donc que si tous les éléments sont défaillants. Il en résulte que :

$$T = \max(T_1, T_2, \dots, T_n). \quad (2.9)$$

d'où :

$$F(t) = \mathbb{P}(T) = \mathbb{P}(T_1 \leq t \text{ et } T_2 \leq t \text{ et } \dots \text{ et } T_n \leq t). \quad (2.10)$$

$$F(t) = \prod_{k=1}^n \mathbb{P}(T_k \leq t) = \prod_{k=1}^n F_k(t). \quad (2.11)$$

ou encore :

$$R(t) = 1 - \prod_{k=1}^n [1 - R_k(t)] \quad (2.12)$$

La fiabilité d'un système en parallèle est donc supérieure à celle du composant le plus fiable.

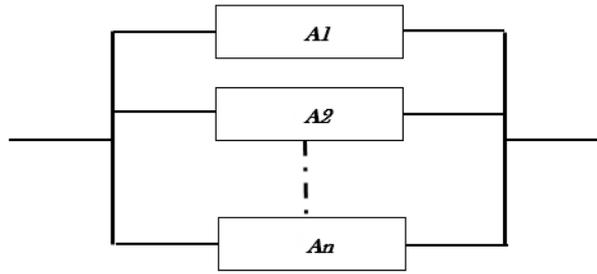


FIGURE 2.5 – Configuration parallèle

3. Configuration k parmi n

Un système k-de-n fonctionne si au moins k de ses n éléments fonctionnent. Si en particulier ces éléments ont la même fiabilité $R_1(t)$, le nombre d'éléments non défailants à l'instant t obéit à une binomiale et l'on trouve [6] :

$$R(t) = \sum_{i=k}^n C_i^n R_i(t) [1 - R_i(t)]^{n-i}. \quad (2.13)$$

On ne peut pas représenter ce mode de fonctionnement par un diagramme de la fiabilité usuel.

La fiabilité $R(t)$ est la probabilité que k composants au moins parmi n fonctionnent encore à l'instant t. Si on note N_t le nombre de composants qui fonctionnent à l'instant t, on a :

$$R(t) = \sum_{i=k}^n C_i^n R_i(t) [1 - R_i(t)]^{n-i} R(t) = \mathbb{P}(N_t). \quad (2.14)$$

2.8 Principales Lois de Probabilité Utilisées en Fiabilité

2.8.1 La Loi Exponentielle

Cette loi a de nombreuses applications dans plusieurs domaines. C'est une loi simple, très utilisée en fiabilité dont le taux de défaillance est constant. Elle décrit la vie des matériels qui subissent des défaillances brutales. Elle décrit le temps écoulé jusqu'à une défaillance, ou

l'intervalle de temps entre deux défaillances. Elle est définie par un seul paramètre, le taux de défaillance, λ [8].

La densité de probabilité

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}. \quad (2.15)$$

La fonction fiabilité

$$R(t) = e^{-\lambda t}. \quad (2.16)$$

Le taux de défaillance est constant dans le temps :

$$\lambda(t) = \lambda. \quad (2.17)$$

• Propriétés sans mémoire de la loi exponentielle :

Une propriété principale de la loi exponentielle est d'être sans mémoire ou "Memoryless property" en anglais :

$$\mathbb{P}(T \geq t + \Delta / T) = \frac{e^{-\lambda(t+\Delta t)}}{e^{-\lambda t}} = e^{-\lambda \cdot \Delta t} = \mathbb{P}(T \geq \Delta); \quad t > 0, \Delta > 0. \quad (2.18)$$

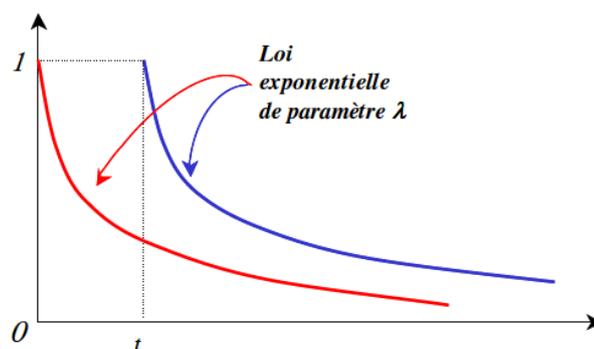


FIGURE 2.6 – Propriété sans mémoire de la loi exponentielle

Comme l'indique la figure ci-dessus, ce résultat montre que la loi conditionnelle de la durée de vie d'un dispositif qui a fonctionné sans tomber en panne jusqu'à l'instant t est identique à la loi de la durée de vie d'un nouveau dispositif. Ceci signifie qu'à l'instant t , le dispositif est considéré comme neuf ("as good as new"), de durée de vie exponentielle de paramètre λ [20].

2.8.2 La Loi Normale (Laplace-Gauss)

La loi normale est très répandue parmi les lois de probabilité car elle s'applique à de nombreux phénomènes. En fiabilité, la distribution normale est utilisée pour représenter la distribution des durées de vie de dispositifs en fin de vie (usure) car le taux de défaillance est toujours croissant. On ne l'utilisera que si la moyenne des durées de vie est supérieur a 3 fois l'écart type. En effet, t est toujours positif, alors que la variable normale est définie de $(-\infty)$ à $(+\infty)$, la restriction imposée réduit la probabilité théorique de trouver une durée de vie négative à environ 0.1 %.

La densité de probabilité : de moyenne μ et d'écart-type σ s'écrit :

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2}. \quad (2.19)$$

La fonction de répartition :

$$F(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx. \quad (2.20)$$

La fiabilité : est donnée par :

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{t - \mu}{\sigma}\right). \quad (2.21)$$

Ou ϕ est la fonction de repartition de la loi normale centrée ($\mu=0$) reduite ($\sigma=1$) :

$$\phi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t e^{-\frac{u^2}{2}} du. \quad (2.22)$$

2.8.3 La Loi de Weibull à Trois Paramètres

C'est la plus populaire des lois, utilisée dans plusieurs domaines (électronique, mécanique,...). Elle permet de modéliser en particulier de nombreuses situations d'usure de matériel. Elle caractérise le comportement du système dans les trois phases de vie : période de jeunesse, période de vie utile et période d'usure ou vieillissement. Dans sa forme la plus générale, la distribution de Weibull dépend des trois paramètres suivants : β , η et γ .

La densité de probabilité a pour expression :

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^\beta}, \quad t \geq \gamma. \quad (2.23)$$

où :

- β est le paramètre de forme ($\beta > 0$)
- η est le paramètre d'échelle ($\eta > 0$)
- γ est le paramètre de position ($\gamma > 0$ ou bien $\gamma < 0$)

La fonction fiabilité s'écrit :

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^\beta}. \quad (2.24)$$

Le taux de défaillance est donnée par :

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1}. \quad (2.25)$$

Suivant les valeurs de β , le taux de défaillance est soit décroissant ($\beta < 1$) soit constant ($\beta=1$), soit croissant ($\beta > 1$). La distribution de Weibull permet donc de représenter les trois périodes de la vie d'un dispositif décrites par la courbe en baignoire. Le cas ($\gamma > 0$) correspond à des dispositifs dont la probabilité de défaillance est nulle jusqu'à un certain âge γ .

2.8.4 La Loi de Weibull à Deux Paramètres

La densité de probabilité

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}. \quad (2.26)$$

La fonction fiabilité

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}. \quad (2.27)$$

Le taux de défaillance

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1}. \quad (2.28)$$

β est le paramètre de forme. C'est le paramètre le plus important de la loi de Weibull, car il joue sur la variation du taux de défaillance et permet ainsi de modéliser alternativement les trois phases de la courbe en baignoire.

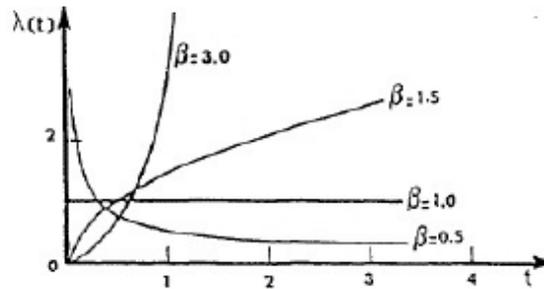


FIGURE 2.7 – Taux de défaillance de la loi de Weibull

- si $\beta < 1$, le taux instantané de défaillance décroît.
- si $\beta = 1$, le taux instantané de défaillance est constant, on retrouve la loi exponentielle.
- si $\beta > 1$, le taux instantané de défaillance croît [8].

2.8.5 La Loi Gamma

La loi gamma est la loi de l'instant d'occurrence du α^{eme} événement dans un processus de Poisson.

Soit $T_{i=1,\alpha}$ le vecteur représentant les durées inter-événements (les temps entre les défaillances successives d'un système). Si ces durées sont des variables aléatoires indépendantes et identiquement distribuées selon une loi exponentielle de paramètre β , alors le temps cumulé d'apparition de α défaillances suit une loi Gamma de paramètre (α, β) .

Sa densité de probabilité s'écrit :

$$f(t) = \frac{\beta^\alpha t^{\alpha-1} e^{-\beta t}}{\Gamma(\alpha)}, \quad t \geq 0, \alpha \geq 1 \text{ et } \beta \geq 0. \quad (2.29)$$

Le taux de défaillance est donné par :

$$\lambda(t) = \frac{\beta^\alpha e^{-\beta t}}{\int_t^{+\infty} \Gamma(\alpha) f(u) du} \quad (2.30)$$

La loi gamma est très utilisée dans l'approche bayésienne, elle est la conjuguée naturelle de la loi exponentielle de paramètre λ .

Un cas particulier intéressant consiste, pour un entier naturel n fixé, à choisir les paramètres : $\alpha=n/2$ et $\beta=1/2$. La loi obtenue est celle du Khi-deux à n degrés de liberté [20].

2.9 Estimation des Paramètres des Loïs de Probabilité

Estimer un paramètre, c'est donner une valeur approchée de ce paramètre, à partir des résultats obtenus sur un échantillon aléatoire extrait de la population.

Il existe différentes méthodes pour estimer les paramètres d'une loi, on cite :

2.9.1 La Méthode des Moments

Soit le t^{eme} moment de $f(T, \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_i)$, on a :

$$\mu'_t = \int_{-\infty}^{+\infty} f(T, \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_i) dt. \quad (2.31)$$

Avec $f(T, \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_i)$ la fonction de densité de probabilité de la variable aléatoire T et θ_i

les paramètres de la fonction.

Les premiers moments m'_t à partir de l'échantillon (t_1, t_2, \dots, t_n) sont donné par :

$$m'_t = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i. \quad (2.32)$$

Les valeurs des paramètres θ_i sont la solution du système d'équation [6] :

$$\begin{cases} \mu'_1 = m'_1 \\ \mu'_2 = m'_2 \\ \mu'_3 = m'_3 \\ \mu'_4 = m'_4 \end{cases} \quad (2.33)$$

2.9.2 La Méthode Maximum de Vraisemblance

Soit $f(T, \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_i)$ la fonction de densité où $\theta_i, i=1 \dots n$, sont inconnus. La vraisemblance des observations s'écrit :

$$L(t_1, t_2, \dots, t_n, \theta) = \prod_{i=1}^n f(t_i, \theta); \quad f_i(x) \text{ est la loi de } X. \quad (2.34)$$

Les estimateurs du maximum de vraisemblance sont ceux qui vérifient :

$$\begin{aligned} \frac{\partial \log L(x, \theta)}{\partial \theta} &= 0, \text{ pour trouver } \hat{\theta} \\ \frac{\partial^2 \log L(x, \theta)}{\partial^2 \theta} &< 0, \text{ pour assurer que c'est un maximum} \end{aligned}$$

Si on a plusieurs paramètres $(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n)$ à estimer alors on va résoudre le système suivant[6] :

$$\begin{cases} \frac{\partial \log L(x, \theta_1)}{\partial \theta_1} = 0 \\ \frac{\partial \log L(x, \theta_2)}{\partial \theta_2} = 0 \\ \vdots \\ \frac{\partial \log L(x, \theta_n)}{\partial \theta_n} = 0 \end{cases} \quad (2.35)$$

2.10 Validation des Modèles : Tests d'Ajustement

Ce type de test traite des méthodes qui permettent de choisir entre deux hypothèses.

Règle de Décision :

La décision de l'hypothèse H_0 est notée D .

D est alors appelée région de rejet de H_0 ou région critique.

- Si $x \in (D)$ On rejette H_0 .
- Si $x \in (D_c)$ On ne rejette pas H_0 .

Les tests d'ajustement ont pour but de vérifier si un échantillon provient ou pas d'une variable aléatoire de fonction de distribution connue $F_0(x)$. Soit $F(x)$, la fonction de répartition de la variable échantillonnée. Il s'agit de tester :

H_0 "F(x) = $F_0(x)$ " contre H_1 "F(x) \neq $F_0(x)$ "

Parmi les tests classiques connus :

2.10.1 Test de Kolmogorov-Smirnov

Soit X_1, X_2, \dots, X_n un n échantillon issu d'une variable aléatoire X que l'on veut ajuster par une loi théorique $F_0(x)$. Soit $F_n(x)$ sa fonction de répartition empirique.

Kolmogorov a démontré que la variable aléatoire :

$$D_n = \max_{x \in \mathbb{R}} |F_n(x) - F_0(x)| \tag{2.36}$$

suit asymptotiquement une loi indépendante de F_0 :

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \mathbb{P}(\sqrt{n}D_n < x) = K(x). \tag{2.37}$$

Avec :

$$\begin{cases} K(x) = 0, & \text{Si } x \leq 0 . \\ K(x) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} (-1)^j e^{-2j^2 x^2} , & \text{Si } x > 0. \end{cases} \quad (2.38)$$

Cette fonction est tabulé (table de Kolmogorov)

Soit $d(\alpha)$ la valeur tabulé , telle que $P(D_n > d(\alpha)) = \alpha$, la règle de décision est alors :

- Si $D_n > d(\alpha)$, on rejette l'ajustement de la variable aléatoire X par la loi choisie.
- Si $D_n < d(\alpha)$, on accepte l'ajustement de la variable aléatoire X par la loi choisie.

2.10.2 Test de Khi-Deux

Soit X_1, X_2, \dots, X_n un n-échantillon issu d'une variable aléatoire X .

On partage le domaine D de la variable X , partie de l'ensemble des réels $< \mathfrak{R}$, en r classes C_1, C_2, \dots, C_r .

Généralement on prend : $r \simeq \sqrt{n}$.

soit :

- n_i : l'effectif de la classe C_i .
- p_i : probabilité de se trouve dans la classe C_i . Elle est déduite a partir de la loi de probabilité à tester.
- np_i : effectif théorique de la classe C_i .

La variable aléatoire K_n^2 s'écrit comme suit :

$$K_n^2 = \sum_{i=1}^r \frac{(N_i - np_i)^2}{np_i}. \quad (2.39)$$

Suit asymptotiquement une lois de Khi-Deux à $(r-1)$ degrés de liberté. N_i étant la variable aléatoire représentant l'effectif de classe C_i et dont la réalisation est n_i .

Soit k_n^2 la réalisation de la variable aléatoire K_n^2 , la règle de décision est alors :

- Si $k_n^2 < X_{(r-1), \alpha}^2$, on accepte l'ajustement de la variable aléatoire X par la loi choisie.
- Si $k_n^2 > X_{(r-1), \alpha}^2$, on rejette l'ajustement de la variable aléatoire X par la loi choisie.

Lorsque les paramètres de la loi a valider sont estimé a partir de l'échantillon, le degré de liberté du Khi-Deux est alors égal a $(r - q - 1)$, q étant le nombre de paramètres estimés.

L'application du test du Khi-Deux doit satisfaire les conditions suivantes :

- Le nombre de classes doit être supérieur ou égal à 7 .
- L'effectif théorique np_i de chaque classe doit être supérieur ou égal à 8 .
- Les effectifs théoriques des r classes doivent être sensiblement égaux [6].

Conclusion

Dans le but de proposer un modèle adapté à notre étude, nous avons présenté les notions de la fiabilité et ses indices. Cela implique que la fiabilité du système soit mise en balance avec les performances du service de maintenance afin de déterminer une valeur de disponibilité dans tous les cas, et pour cela nous présentons dans le chapitre suivant tout ce qui inclut l'optimisation de la maintenance.

Concepts et Politique de la Maintenance Pour Systèmes Elémentaires

Introduction

La fiabilité et la maintenance se complètent pour garantir un niveau élevé de service et de sécurité malgré le vieillissement, l'usure, les dégradations inhérents à tout système technique. La fiabilité s'organise sous trois formes, prévisionnelle, expérimentale et opérationnelle. Plus on agit en amont (fiabilité prévisionnelle), plus on est efficace. La maintenance est pratiquée lors de l'exploitation du système, mais elle peut être pensée lors de la conception, notamment en concevant des systèmes plus maintenables.

Dans ce chapitre, nous allons définir les notions de maintenabilité et de disponibilité, et tous ce qui concerne l'étude des concepts de la maintenance.

Enfin, il est important de construire des modèles sur les effets de la maintenance vis-à-vis des systèmes réparables et d'évaluer leur efficacité.

3.1 La Maintenabilité

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

C'est aussi la probabilité de rétablir un système dans des conditions de fonctionnement spécifiées, en des limites de temps désirées, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions

données, en utilisant des procédures et des moyens prescrits [3].

3.2 La Disponibilité

La disponibilité est l'aptitude d'un bien à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données, à un instant donné ou durant un intervalle de temps donné, en supposant que la fourniture des moyens extérieurs est assurée. Les moyens autres que la logistique de maintenance (personnel, documentation, rechanges, etc) n'affectent pas la disponibilité d'un bien [1].

3.3 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.

Dans une entreprise, maintenir, c'est donc effectuer des opérations (dépannage, réparation, graissage, contrôle, etc) qui permettent de conserver le potentiel du matériel pour assurer la production, le stockage, etc, avec efficacité et qualité [1].

La fonction maintenance peut être présentée comme un ensemble d'activités regroupées en deux sous-ensembles : les activités à dominante technique et les activités à dominante gestion.

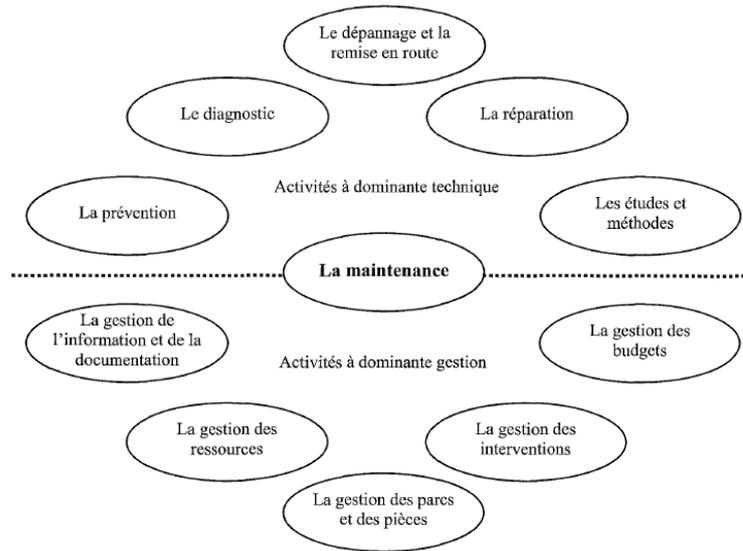


FIGURE 3.1 – Contenu de la fonction maintenance

Ainsi, la fonction maintenance est devenue, avec le temps un domaine complexe où interviennent différentes compétences parmi lesquelles on trouve les méthodes de recherche opérationnelle pour l'optimisation de divers aspects : l'optimisation des coûts, la gestion des stocks des pièces de rechanges, la planification et l'ordonnancement des interventions compte tenu des capacités d'action de l'entreprise, les compétences pour le diagnostic et pour la prédiction afin d'accomplir les actions de maintenance préventive, etc [15].

3.4 Types et stratégies de la Maintenance

Il existe deux principales familles de maintenance : la maintenance corrective et la maintenance préventive. La maintenance corrective est celle que le système subit lorsque la panne est déjà présente et qu'il faut réparer. La maintenance préventive est celle qui permet d'anticiper et de prévenir les défaillances[15].

3.4.1 La Maintenance Corrective

Maintenance exécutée après détection d'une panne est destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise [1].

La maintenance corrective est souvent perçue comme la forme primaire de la maintenance, car

l'intervention a lieu "en urgence" une fois la défaillance survenue [15].

A) Différents Types de la Maintenance Corrective

Il existe deux types de maintenance corrective : la maintenance curative et la maintenance palliative.

1. La Maintenance Curative

Ce type de maintenance permet de remettre définitivement en état le système après l'apparition d'une défaillance. Elle se caractérise par la recherche des causes initiales d'une défaillance en vue de réparer l'équipement. Cette remise en état du système est une réparation durable.

2. La Maintenance Palliative

Opération destinée à remettre un équipement dans un état provisoire de fonctionnement de manière à ce qu'il puisse assurer une partie des fonctions requises. L'intervention a un caractère provisoire dans le sens où elle nécessitera forcément une intervention ultérieure.

B) Objectif de la Maintenance Corrective

L'objectif principal de la maintenance corrective est de remettre le système en état de fonctionnement dans un temps minimum (optimiser le temps d'indisponibilité après défaillance) tout en respectant les règles de sécurité. Ce type de maintenance est réservé aux matériels peu coûteux, non stratégiques et dont la panne aurait peu d'influence sur la sécurité [15].

3.4.2 La Maintenance Préventive

Dans la définition de la maintenance préventive, nous incluons l'ensemble des contrôles, visites et interventions de maintenance effectuées préventivement. La maintenance préventive s'oppose en cela à la maintenance corrective déclenchée par des perturbations ou par les événements, et donc subie par la maintenance. La maintenance préventive comprend :

- Les contrôles ou visites systématiques.
- Les expertises, les actions et les remplacements effectués à la suite de contrôles ou de visites.

- Les remplacements systématiques.
- La maintenance conditionnelle ou les contrôles non destructifs.

La maintenance préventive doit consister à suivre l'évolution de l'état d'un organe, de manière à prévoir une intervention dans un délai raisonnable et l'achat de la pièce de remplacement nécessaire [12].

A) Différents Types de la Maintenance Préventive

1. La Maintenance Préventive 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.

Cette méthode nécessite de connaître : le comportement des équipements, les usures et les modes de dégradation. Elle intervient à intervalles fixés sur la base du minimum de vie des composants, donné par l'expérience et/ou par le constructeur. C'est pourquoi ce type de maintenance est aussi appelé maintenance préventive fondée sur la durée de fonctionnement [15].

a) Visites Systématiques

Les visites sont effectuées selon un échéancier établi suivant le temps ou le nombre d'unités d'usage. À chaque visite, on détermine l'état de l'organe qui sera exprimé soit par une valeur de mesure (épaisseur, température, intensité, etc), soit par une appréciation visuelle. Et on pourra interpréter l'évolution de l'état d'un organe par les degrés d'appréciation : Rien à signaler, Début de dégradation, Dégradation avancée et Danger.

Par principe, la maintenance préventive systématique est effectuée en fonction de conditions qui reflètent l'état d'évolution d'une défaillance. L'intervention peut être programmée juste à temps avant l'apparition de la panne.

b) Remplacements Systématiques

Selon un échéancier défini, on remplace systématiquement un composant, un organe ou un sous-ensemble complet (il s'agit d'un échange standard). Dans la mise en place d'une maintenance préventive, il vaut toujours mieux commencer par des visites systématiques, plutôt que par des remplacements systématiques, sauf dans les cas suivants :

- lorsque des raisons de sécurité s'imposent.

- lorsque le coût de l'arrêt de production est disproportionné par rapport au coût de remplacement.
- lorsque le coût de la pièce concernée est si faible qu'il ne justifie pas de visites systématiques.
- lorsque la durée de vie est connue avec exactitude par l'expérience.

c) **Ronde ou Visite en Marche**

La visite systématique effectuée pendant le fonctionnement permet d'optimiser l'arrêt machine. Pour ce type de maintenance, on suit l'effet de la dégradation ou de l'usure pour éviter le démontage indésirable. Les contrôles sont simples à réaliser : lecture des valeurs des paramètres, examens sensoriels, etc. Les valeurs des paramètres pour un fonctionnement normal sont connues à l'avance tout en respectant les règles de sécurité, une surveillance quotidienne en marche permet de détecter rapidement le début d'une dégradation. La durée et la fréquence de ces opérations sont courtes.

Dans la mesure du possible, cette maintenance de premier niveau est confiée aux opérateurs pour les machines et aux exploitants pour les utilités. Ce sont eux qui sont le mieux placés pour constater les conditions de l'apparition des pannes [12].

2. **La Maintenance Préventive Conditionnelle**

Il s'agit d'une forme de maintenance préventive basée sur une surveillance de fonctionnement du bien et/ou des paramètres significatifs de ce fonctionnement et intégrant les actions qui en découlent.

La maintenance conditionnelle permet d'assurer le suivi continu du matériel en service, et la décision d'intervention est prise lorsqu'il y a une évidence expérimentale de défaut imminent ou d'un seuil de dégradation prédéterminé.

Cela concerne certains types de défaut, de pannes arrivant progressivement ou par dérive. L'étude des dérives dans le cadre des interventions de maintenance préventive permet de déceler les seuils d'alerte, tant dans les technologies relevant de la mécanique que celles de l'électronique.

Au cours de la conception d'une installation, on définit des tolérances pour certains paramètres. La variation progressive d'un paramètre n'implique pas la défaillance d'un organe. Mais lorsqu'un paramètre sort de la tolérance, le fonctionnement peut

être complètement perturbé. Le suivi de l'évolution des paramètres permet de préciser la nature et la date des interventions. Le paramètre suivi peut être :

- Une mesure électrique (tension, intensité, etc).
- Une mesure de température.
- Un pourcentage de particules dans l'huile.
- Un niveau de vibration.

On choisit comme paramètre à suivre celui qui caractérise le mieux la dégradation des composants ou la cause de la perturbation de fonctionnement [1].

B) Objectif de la Maintenance Préventive

1. Améliorer la fiabilité du matériel

La mise en oeuvre de la maintenance préventive nécessite les analyses techniques du comportement du matériel. Cela permet à la fois de pratiquer une maintenance préventive optimale et de supprimer complètement certaines défaillances.

2. Garantir la qualité des produits

La surveillance quotidienne est pratiquée pour détecter les symptômes de défaillance et veiller à ce que les paramètres de réglage et de fonctionnement soient respectés. Le contrôle des jeux et de la géométrie de la machine permet d'éviter les aléas de fonctionnement. La qualité des produits est ainsi assurée avec l'absence des rebuts.

3. Améliorer l'ordonnancement des travaux

La planification des interventions de la maintenance préventive, correspondant au planning d'arrêt machine, devra être validée par la production. Cela implique la collaboration de ce service, ce qui facilite la tâche de la maintenance. Les techniciens de maintenance sont souvent mécontents lorsque le responsable de fabrication ne permet pas l'arrêt de l'installation alors qu'il a reçu un bon de travail pour l'intervention. Une bonne coordination prévoit un arrêt selon un planning défini à l'avance et prend en compte les impossibilités en fonction des impératifs de production.

4. Assurer la sécurité humaine

La préparation des interventions de maintenance préventive ne consiste pas seulement à respecter le planning. Elle doit tenir compte des critères de sécurité pour éviter les imprévus dangereux. Par ailleurs le programme de maintenance doit aussi

tenir compte des visites réglementaires.

5. Améliorer la gestion des stocks

La maintenance préventive est planifiable. Elle maîtrise les échéances de remplacement des organes ou pièces, ce qui facilite la tâche de gestion des stocks. On pourra aussi éviter de mettre en stock certaines pièces et ne les commander que le moment venu.

6. Améliorer le climat de relation humaine

Une panne imprévue est souvent génératrice de tension. Le dépannage doit être rapide pour éviter la perte de production. Certains problèmes, comme par exemple le manque de pièces de rechange, entraîne l'immobilisation de la machine pendant longtemps. La tension peut monter entre la maintenance et la production. En résumé, il faudra examiner les différents services rendus pour apprécier les enjeux de la maintenance préventive :

- **la sécurité** : diminution des avaries en service ayant pour conséquences des catastrophes.
- **la fiabilité** : amélioration, connaissance des matériels.
- **la production** : moins de pannes en production [12].

3.5 Relation Entre Fiabilité, Maintenabilité et Disponibilité

Une fiabilité parfaite (c'est à dire aucune défaillance pendant la vie du système) est difficile à réaliser. Même lorsqu'un bon niveau de fiabilité est réalisé, quelques défaillances sont prévues. Les effets des défaillances sur le coût de disponibilité des systèmes réparables peuvent être réduits au minimum avec un bon niveau de maintenabilité. Un système qui est fortement maintenable peut être remis au plein fonctionnement dans un minimum de temps avec un minimum dépense de ressources. La valeur de la disponibilité est un compromis entre la durée moyenne pour le quelle le produit est disponible pour effectuer ces fonction et le temps de non-fonctionnement pour cause de panne, réparation, etc. Cela implique que la fiabilité du produit soit mise en balance avec les performances du service de maintenance afin d'obtenir la même

valeur de disponibilité dans tous les cas.

3.6 Caractéristiques des Activités de Maintenance

Dans le milieu industriel, en général, une maintenance mixte est appliquée aux systèmes. En effet, la maintenance préventive est destinée à réduire la probabilité de défaillance, mais il subsiste une part de maintenance corrective incompressible. Il est donc nécessaire de considérer des stratégies qui combinent les deux : maintenance corrective et maintenance préventive. De plus l'optimisation de la maintenance consiste à trouver la balance optimale entre maintenance préventive et corrective tout en respectant les objectifs fixés. L'entreprise doit rechercher un compromis afin d'optimiser les relations entre les coûts de maintenance liés à l'investissement humain et matériel, et les pertes consécutives aux arrêts [15].

3.7 Effets de la Maintenance Sur les Systèmes

La maintenance peut être caractérisée, selon son effet sur l'état de système après avoir reçu une action de maintenance, en ce qui suit :

3.7.1 Réparation (Maintenance) Parfaite

Toute action de maintenance permettant de ramener le système à un état "As good as new". Après une maintenance parfaite, le système a le même taux de défaillance qu'un élément neuf. Un remplacement est considéré comme une maintenance parfaite.

3.7.2 Réparation (Maintenance) Minimale

Toute action ramenant le taux de défaillance du système à celui qu'il avait juste avant la défaillance "As bad as old" [8].

3.7.3 Réparation (Maintenance) Imparfaite

L'action de maintenance ne rend pas le composant neuf mais elle le rajeunit. Ce rajeunissement est situé quelque part entre "as bad as old" et "as good as new". Il est clair que la

réparation imparfaite est une catégorie générale puisqu'elle peut contenir les deux extrêmes, réparation parfaite et réparation minimale [4].

3.8 Politique de la Maintenance Pour Systèmes Élémentaires

Un système élémentaire est considéré comme toute pièce faisant partie d'une machine ou une machine faisant partie d'un ensemble. On distingue quatre type de politique de maintenance :

3.8.1 Politique de la Maintenance Préventive Dépendant de l'Age

Suivant cette politique, un composant élémentaire est remplacé quand il atteint l'âge T ou à la défaillance selon l'évènement qui se produit en premier. Le coût moyen par unité de temps est donné par :

$$C(T) = \frac{C_p R(t) + [1 - R(t)]C_c}{\int_0^T R(t)dt}. \quad (3.1)$$

où : le numérateur représente l'espérance du coût total du cycle et le dénominateur représente l'espérance de la longueur du cycle.

- T : est l'âge de du remplacement préventif(variable de décision).
- C_p : le coût du remplacement préventif.
- C_c : le coût de défaillance incluant le coût de remplacement.
- $R(t) = 1 - F(t)$ est la fonction de fiabilité ou de survie [8].

3.8.2 Politique de Maintenance Préventive Périodique

Dans cette politique un élément est préventivement maintenu à de intervalles de temps fixes kT ($k= 1, 2, 3, \dots, n$) indépendants de l'historique des pannes, et réparé à la défaillance. Une autre politique de maintenance préventive périodique de base est "le remplacement périodique avec réparation minimale à la défaillance " où un élément est remplacé à des temps prédéterminés kT ($k= 1, 2, 3, \dots, n$), et les défaillances sont éliminées par des réparations minimales. Dans cette classe, on peut citer la politique de remplacement en bloc, où un élément est remplacé à des temps préarrangés kT et à la défaillance. Pour cette dernière politique, le processus aléatoire

caractérisé est un processus de renouvellement, Le coût moyen par unité de temps est donné par :

$$C(T) = \frac{C_c N(T) + C_p}{T}. \quad (3.2)$$

- $N(T)$: représente le nombre moyen de remplacement de 0 à T .
- C_p : est le coût de la pièce.
- C_c : est le coût entraîné par la défaillance [8].

3.8.3 Politique de Remplacement Périodique et Réparation Minimale

Cette politique est une variante de la précédente, la différence est suite à une défaillance l'élément reçoit une réparation minimale. Par conséquent, les défaillances surviennent suivant un processus de Poisson non homogène, le nombre moyen de défaillances dans un intervalle $[0, T]$ est donné par :

$$N(T) = \int_0^T \lambda dt. \quad (3.3)$$

Où $\lambda(t)$ représente le taux d'occurrence de défaillance, pour un composant non réparable il présente le taux de défaillance [8].

$$C(T) = \frac{C_c N(T) + C_p}{T} = \frac{C_c \int_0^T \lambda(t) dt + C_p}{T}. \quad (3.4)$$

3.8.4 Politique de Maintenance Périodique Imparfaites et Réparation Minimale

Suivant cette politique, l'élément n'est pas remplacé périodiquement mais reçoit juste des maintenances imparfaites. Comme exemple, nous pouvons citer une machine industrielle qui reçoit périodiquement des révisions partielles et après un certain nombre de révisions partielles, la machine reçoit une révision générale. Ce qui voudra dire que le taux d'occurrence des défaillances va changer après chaque action de maintenance préventive. Dans ce cas, il faut mesurer l'effet de chaque maintenance sur le système. Le taux de défaillance du système, après chaque maintenance sera exprimé en fonction de cet effet et du taux de défaillance précédent.

Nous donnons le modèle de Gertsbakh (2000) où elle suppose que l'effet de toutes les maintenances préventives est constant, il fait varier le taux de défaillance exponentiellement, d'une quantité égale à e^σ ($\sigma > 0$). Le coût moyen par unité de temps est donné par :

$$C(T) = \frac{C_{min}N(T)(1 + e^\sigma + \dots + e^{\sigma(k-1)})C_{pr} + C_{ov}}{kT}. \quad (3.5)$$

C_{min} : Coût de la réparation minimale.

C_{pr} : Coût de maintenance préventive imparfaite (révision partielle).

C_{ov} : Coût de la révision générale.

k : Nombre de révisions partielles avant la révision générale.

σ :facteur de l'efficacité de la maintenance.

e^σ :Facteur de dégradation [8].

Conclusion

Au cours de ce chapitre, nous avons défini la maintenabilité et la disponibilité qui sont deux concepts liés à l'efficacité de la maintenance et leur relation avec la fiabilité. Puis, nous avons cité les différents modèles de la maintenance pour les systèmes élémentaires proposée par Ilya Gertsbakh, dans le but de trouver la politique de maintenance qui nous permet d'optimiser la disponibilité des réservoirs de stockage.

Analyse de la Fiabilité du Système de Parc de Stockage de la RTC-Béjaia

Introduction

Notre travail consiste à déterminer la fiabilité du parc de stockage de la RTC-Béjaia. Pour cela, nous avons estimé les paramètres de la loi de "Weibull" à l'aide de logiciel "EASYFIT" des données collectées au niveau du parc de stockage sur lequel nous allons effectuer l'application.

Le présent chapitre, a pour objectif la modélisation de la fiabilité des sous-systèmes (réservoirs de stockages) du parc de stockage par la loi paramétrique "Weibull".

4.1 Mise en Oeuvre du Plan de Maintenance

Le plan de la maintenance de la RTC-Béjaia est constitué de différents niveaux de maintenance à différentes fréquences.

4.1.1 Maintenance Niveau 1

- Les visites de routine "Rondes des techniciens exploitant, et des techniciens sécurité du Terminal".
- Les inspections trimestrielles.

- Nettoyage aux alentours de bac et sur le toit du bac.
- Désherbage de la cuvette de rétention.
- Vérification visuelle des éléments constituant le bac.
- Inspection mensuel de sécurité "HSE" :
 1. Vérification de systèmes anti- incendie.
 2. Vérification des diffuseurs.
 3. Vérification des déversoirs.
- Inspection et étalonnage des instruments de mesure " Télé-jaugeur, fin de course des vanne, radars de niveau".
- Vérification de l'adhésion et d'étanchéité des joints.
- Mesure et vérification de la mise à la terre et des liaisons équipotentielles.

4.1.2 Maintenance Niveau 2 "Révision partielle"

- Réparation de certains équipements constituant le bac.
- Interventions au niveau de la vanne pied de bac, agitateurs, échelle . . .
- Intervention au niveau des appareils de mesure.
- Vérification et remise à niveau de la protection cathodique.
- Nettoyage et interventions sur les pompes de récupération de brute.
- Etalonnage des instruments de mesure "Télé-jaugeur, fin de course des vanne et radars de niveau".

4.1.3 Maintenance Niveau 3 (Réhabilitation du bac) "Révision générale"

- Nettoyage du réservoir.

- Inspection : C'est une expertise qui consiste à :
 1. Etudier l'état du fond par
 - Un contrôle visuel.
 - Un contrôle ventouse.
 - Mesure d'épaisseur.
 2. Localiser les tôles éventuellement perforées.
 3. Identifier le type de corrosion son importance et sa répartition.
 4. Déterminer l'état du dessous du toit et ses accessoires.

- Réfection totale du bac.
 1. Réfection du fond.
 2. Réfection de toit du bac.
 3. Reconstitution de la fondation.
 4. Réfection des Tôles.
 5. Réfection des tôles périphériques.

- Contrôles et essais.

- Travaux divers :
 1. Remplacement des joints d'étanchéité des toits des bacs.
 2. Remplacement de la tuyauterie d'évacuation des eaux pluviales "CHIKSAN" par un fléxidrain adéquat pour les trois bacs
 3. Remplacement des tuyauteries de purge, tuyauterie de drainage des eaux pluviales.
 4. Remplacement de tous les joints des liaisons bridées porte de visite, vannes, agitateurs, etc).
 5. Remplacement des tampons de jauge par démontage, fourniture et pose de nouveaux.

6. Remplacement de toute la boulonnerie.
 7. Remplacement des panneaux déflecteurs petit modèle par le type grand modèle et réparation des grands existants.
- Changement des vannes de purges.
 - Remise en état du réseau prémélange.
 - Remise en état des lieux.
 - Remise en état de la cuvette de rétention.
 - Essais d'étanchéité et tests hydrauliques.
 - Nettoyage définitif et repli de chantier.

4.2 Collecte des Données

Lorsque les réservoirs tombent en panne, les défaillances seront réparées, et la période de leurs réparations varie (selon sa capacité, les conditions météorologiques, le degré de l'usure, etc).

Après avoir eu des informations formelles auprès de l'ingénieur responsable du département exploitation concernant les dates de la défaillance des réservoirs et leurs instants de remise en service dans la période s'étalant de 2007 à 2021, nous avons calculé leurs durées de bon fonctionnement cités dans le tableau 4.1.

CHAPITRE 4. ANALYSE DE LA FIABILITÉ DU SYSTÈME DE PARC DE STOCKAGE
DE LA RTC-BÉJAIA

Nom de réservoir	La dernière date de remise en service	La date de dé-faillance	La durée de bon fonctionnement
M20	10/2002	02/2007	04 ans et 4 mois \simeq 52 mois
R13	06/2008	02/2016	07 ans et 8 mois \simeq 92 mois
D10	03/2009	10/2012	03 ans et 7 mois \simeq 43 mois
C9	09/2010	11/2015	05 ans et 2 mois \simeq 62 mois
N14	01/2011	04/2019	08 ans et 3 mois \simeq 99 mois
B11	07/2013	12/2019	06 ans et 5 mois \simeq 77 mois
E1	08/2014	6/2021	06 ans et 10 mois \simeq 82 mois

TABLE 4.1 – Données collectées de durée de bon fonctionnement des réservoirs

Et aussi, nous avons récupéré les types des défaillances survenus sur cette période, qui sont présentés dans le tableau 4.2.

Nom de réservoir	Type de défaillance
M20	Feu de joint causée par une foudre
R13	Feu de joint causée par une foudre
D10	Une fuite au niveau de fond de réservoir
C9	Fuite au niveau de flexible et de drainage des eaux de pluie
A7	Fuite au niveau de flexidran "Chiksan"
B11	Défaillance de suoentin de vapeur
E1	Détachement de flexidran du toit du bac

TABLE 4.2 – Les types de défaillance

4.3 Modélisation Paramétrique des Lois de Fiabilité du Système de Parc de Stockage

La démarche probabiliste permet la modélisation réaliste et la quantification des effets des défaillances du système (réservoirs de stockage). Ainsi, elle permet d'orienter les opérations de maintenance, en fonction de sa configuration sur les paramètres du système.

Qui nous mène à distinguer les réservoirs qui fonctionnent en parallèle et indépendamment l'un de l'autre.

Soit T la variable aléatoire représente la durée de bon fonctionnement des réservoirs.

Nous avons opté pour la loi de **Weibull**, car elle définit le taux de défaillance de l'élément (l'âge de l'équipement) et largement utilisée comme modèle probabiliste dans des études sur les temps de survie, et nous avons estimé et ajusté avec le test de Kolmogorov-Smirnov ces deux paramètres avec le logiciel "**Easyfit**".

A) Identification des paramètres de Weibull

L'estimation des paramètres par le logiciel **Easyfit** nous donne les résultats de tableau 4.3 :

Distribution	Le paramètre β	Le paramètre η
Weibull	3.125	76.356

TABLE 4.3 – Identification des paramètres de Weibull

B) Validation du modèle avec le test d'ajustement Kolmogorov-Smirnov

Pour valider si la variable aléatoire T suit la loi de Weibull de paramètres estimés β et η ,

nous avons appliqué l'ajustement de Kolmogorov-Smirnov sous les hypothèses suivantes :
 H_0 : "La variable aléatoire T suit la loi de Weibull de paramètres $\beta = 3.125$ et $\eta = 76.356$ "
 contre H_1 : "La variable aléatoire T ne suit pas la loi de Weibull de paramètres $\beta = 3.125$ et $\eta = 76.356$ ".

Avec le logiciel Easyfit qui nous a donné les résultats présentés dans le tableau 4.4 :

α	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
Valeur critique D_n	0.38148	0.43607	0.48342	0.53844	0.57581
Rejeter ?	Non	Non	Non	Non	Non

TABLE 4.4 – Résultats d'ajustement

D_{max} : L'écart maximal entre la fonction de répartition empirique et la fonction théorique,
 $D_{max} = 0,21321$.

D_n : Est la valeur critique de la table de Kolmogorov-Smirnov, si nous prenons par défaut le risque d'erreur $\alpha = 0.05$, $D_n(n = 7, \alpha = 0.05) = 0,48342$.

D'où : $D_n \geq D_{max}$

\Rightarrow L'ajustement est accepté.

1. La densité de probabilité :

$$f(t) = \frac{3.125}{76.356} \left(\frac{t}{76.356} \right)^{2.125} e^{-\left(\frac{t}{76.356} \right)^{3.125}}, \quad t \geq 0. \quad (4.1)$$

2. La fonction de répartition

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{76.356} \right)^{3.125}}, \quad t \geq 0. \quad (4.2)$$

3. le taux de défaillance

$$\lambda(t) = \frac{3.125}{76.356} \left(\frac{t}{76.356} \right)^{2.125}, \quad t \geq 0. \quad (4.3)$$

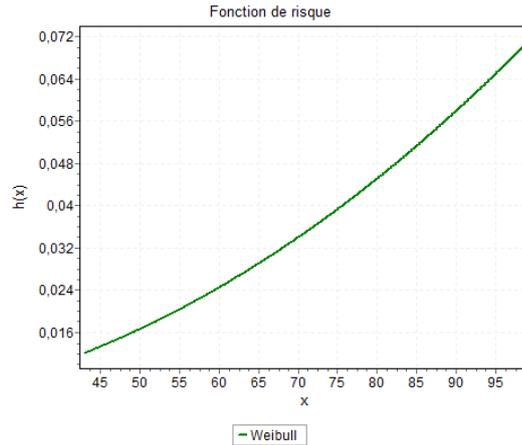


FIGURE 4.1 – Le taux de défaillance du parc de stockage

Nous remarquons que le taux de défaillance est croissant, ce qui signifie que le parc de stockage est en période de vieillesse.

- **Le temps moyen de bon fonctionnement**

$$MTBF = \eta * \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) = 68.31 \quad (4.4)$$

- **La fiabilité des réservoirs**

Les sous-systèmes (les réservoirs) du parc sont en parallèle, la panne de l'un de ces réservoirs ne provoque pas la panne de tout le système.

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{76.356}\right)^{3.125}}, \quad t \geq 0. \quad (4.5)$$

$$R(MTBF) = e^{-\left(\frac{MTBF}{76.356}\right)^{3.125}} = e^{-\left(\frac{68.31}{76.356}\right)^{3.125}} = 0.49. \quad (4.6)$$

4.4 Interprétation des Résultats

D'après l'étude statistique appliquée sur le parc de stockage, nous avons calculé les temps moyen de bon fonctionnement (MTBF) pour estimer la fiabilité de chaque réservoir. Le paramètre de forme β est supérieur à 1, ce qui signifie que les réservoirs sont dans la période de vieillesse.

L'application du test de Kolmogorov-Smirnov a montré que la loi de Weibull est acceptée pour

calculer les valeurs de fiabilité. Les résultats obtenus ont montré que les réservoirs à une fiabilité réduite, cela nécessite une planification des révisions partielles à des périodicités optimales.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons procédé à une collecte de données. Puis nous avons calculé les indices de fiabilité de notre système, ainsi que sa modélisation, afin d'adopter un plan de maintenance qui nous permet de réduire la vitesse de dégradation et d'augmenter l'âge du système. Ce qui fera l'objet du chapitre suivant.

Optimisation de la Maintenance du Système du Parc de Stockage de la RTC-Sonatrach

Introduction

Les réservoirs de stockage de Sonatrach est soumis à trois actions de maintenance :

- Une réparation minimale en cas de défaillance.
- Une révision partielle.
- Une révision générale après un certain âge kT .

Le but de notre étude est de proposer une périodicité T optimale pour les révisions partielle, qui minimise la fonction du coût global $C(T)$.

5.1 Modèle d'Optimisation Proposé

La politique de maintenance suivie au sein de la RTC-Béjaia, telle que chaque réservoir est soumis à une maintenance imparfaite avec réparation minimale à la défaillance. En effet, nous avons alors opté pour le modèle de Gertsbakh, qui est adéquat à ce type de maintenance.

5.1.1 Remplacement Périodique (de Bloc) - Critère de Coût

Une nouvelle unité commence à fonctionner à $t = 0$. A chacun des instants $T, 2T, 3T, \dots$ l'unité est réparée, de même élément. Nommé la maintenance préventive (MP), coûte C . A chaque défaillance qui apparaît entre les MP, l'unité est également réparée. Cette réparation lors d'une défaillance s'appelle une réparation minimale (min) et coûte C_{min} . L'information disponible est le c.d.f. de l'unité de bon fonctionnement $F(t)$.

- Une réparation minimale en cas de défaillance.
- une révision partielle de périodicité T .
- Une révision générale des réservoirs à toits flottants après un certain âge fixé $kT = 10$ ans, c'est par rapport au certificat de barèmage que nous pouvons pas modifier sa durée qui est 10 ans.

5.2 Politique de Maintenance Périodique Imparfaite et Réparation Minimale

Suivant cette politique, l'élément n'est pas remplacé périodiquement mais reçoit juste des maintenances imparfaites. Dans notre étude, nous pouvons citer un réservoir de stockage qui reçoit périodiquement des révisions partielle et des révision générale. Ce qui voudra dire que le taux d'occurrence de défaillances va changer après chaque action de maintenance préventive. Dans ce cas, il faut mesurer l'effet de chaque maintenance sur le système. Le taux de défaillance du système, après chaque maintenance sera exprimé en fonction de cet effet et du taux de défaillance précédent.

Nous donnons le modèle de Gertsbakh [11], où il suppose que l'effet de toutes les maintenances préventives est constant, il fait varier le taux de défaillance exponentiellement, d'une quantité égale à $e^\sigma / (\sigma > 0)$. Le coût moyen par unité de temps est donné par :

$$C(T) = \frac{C_{min}N(T)(1 + e^\sigma + \dots + e^{\sigma(K-1)}) + (K - 1)C_{mp} + C_{rv}}{KT} \quad (5.1)$$

On a :

$$(1 + e^\sigma + \dots + e^{\sigma(K-1)}) = \frac{e^{K\sigma} - 1}{e^\sigma - 1} \quad (5.2)$$

On définit la politique la plus adéquate celle de remplacement périodique imparfaite et réparations minimale (suite à une défaillance l'élément reçoit une réparation minimale).

C_{min} : Coût de réparation minimale.

C_{mp} : Coût de maintenance préventive imparfaite (révision partielle).

C_{rv} : Coût de la révision générale (hors exploitation).

σ : facteur de l'efficacité de la maintenance.

e^σ : Facteur de dégradation.

Pour une loi de fiabilité de type Weibull $\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} (\frac{t}{\eta})^{\beta-1}$. Sachant que pour des réparations minimales après défaillance le processus d'occurrence des pannes est de type Processus de Poisson non Homogène, donc le nombre de défaillances sur un intervalle de temps de longueur T est donné par :

$$N(T) = \int_0^{kT} h(t) dt = (\frac{kT}{\eta})^\beta \quad (5.3)$$

ce qui donne :

$$C(T) = \frac{C_{min} (\frac{kT}{\eta})^\beta (\frac{e^{k\sigma} - 1}{e^\sigma - 1}) + (k-1)C_{mp} + C_{rv}}{kT} \quad (5.4)$$

L'annulation de la dérivée de C(T) donne :

$$T^* = \left(\frac{[(k-1)C_{mp} + C_{rv}](e^\sigma - 1)}{(\beta - 1)[C_{min} (\frac{k}{\eta})^\beta](e^{k\sigma} - 1)} \right)^{\frac{1}{\beta}} \quad (5.5)$$

5.3 Estimation des Coûts pour les Réservoirs

L'estimation des coûts a été faite, en se ramenant vers la réalité, tels que :

Coût de réparation minimale : $C_{min} = 5000$ DA.

Le coût de la maintenance préventive imparfaite (révision partielle) : $C_{mp} = 20000$ DA.

coût de révision générale : $C_{rv} = 150000$ DA.

5.4 Résultats de l'Optimisation

Après le calcul de la formule T^* , nous avons obtenu le tableau 5.1 :

$k \backslash \sigma$	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9
2	73.06	70.5339	67.8828	65.1354	62.3223
3	43.5972	40.5498	37.4096	34.2534	31.1524
4	30.2758	27.0739	23.8554	20.7471	17.8470
5	22.8217	1.5828	16.4258	13.5192	10.9629
6	18.1065	14.8802	11.8479	9.2027	7.0199
7	14.8753	11.6872	8.8118	6.4464	4.6199
8	12.5325	9.3976	6.6962	4.6074	3.0998

TABLE 5.1 – Temps optimums de réparations minimales du système en fonction du nombre de cycle et du facteur de l'efficacité

D'après les calculs précédent, Nous avons calculés le coût $C(T)$ représenté dans le tableau 5.2 :

$k \backslash \sigma$	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9
2	2274.5	1667.5	1595.1	1604.8	1976.4
3	2423	2017.5	2070.2	2213.7	2410.3
4	2644.6	2419.5	2641.5	2996.9	3465.2
5	2902.5	2872.5	3328.6	4010	4930.5
6	3184.2	3380.9	4157.5	5323.4	6967.7
7	3484.7	3951.4	5158.6	7027	9797
8	3801.8	4591.8	6368.2	9234.9	13720

TABLE 5.2 – Coûts optimums de réparations minimales du système en fonction du nombre de cycle et du facteur de l'efficacité

5.5 Interprétation des Résultats

Pour trouver la périodicité T^* optimale qui minimise la fonction de coût, nous considérons le coût minimal dans le tableau (5.2) qui est égal à 1595.1 DA, pour $\sigma = 0.5$ et $k = 2$ nous constatons que $T^* = 67$ mois = 5 ans et 7 mois, qui est la période optimale de chaque révision partielle, et après k cycle avec ($k=2$), ça nous donne $kT = 134$ mois = 11 ans et 2 mois, mais la date prévue pour la révision générale est 10 ans donc pour cela nous avons fait le réarrangement sur la période optimale de la révision partielle T .

Nous avons obtenue la période optimale de chaque révision partielle $T = 5$ ans et la date de révision générale $kT = 10$ ans.

5.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons appliqué le modèle de maintenance périodique imparfaite et réparation minimale à la défaillance de Gertsbakh, dans le but de trouver le cycle T optimal pour les révisions partielles qui minimise le coût total de la maintenance. Sachant que ces révisions partielles peuvent être pris en charge en termes matérielles, personnelles, mains d'oeuvre et pièces de rechanges par la RTC-Béjaia et même sans déclarer les réservoirs hors exploitation.

Conclusion Générale

L'optimisation de la maîtrise d'un système est donc devenu un enjeu capital pour la survie de la pérennité des entreprises. Ainsi, il est devenu indispensable d'assurer sa disponibilité, en analysant leur fiabilité et d'optimiser leur conditions d'exploitation en vue d'une maintenance préventive optimale.

En effet, les notions de coût, qualité et fiabilité ont de plus en plus d'importance, Il est vital de pouvoir s'appuyer sur un système performant à tout instant.

L'objectif principal de ce travail est l'élaboration d'un planning de maintenance préventive des réservoirs de stockage du parc RTC- Béjaia SONATRACH. Ce planning résume l'analyse de la disponibilité de ces derniers, en se basant sur le calcul de leur fiabilité.

Dans la première partie de ce travail, nous avons décrit le système étudié ainsi que son mode de fonctionnement. En suite, nous avons modélisé du point de vue fiabilité, en recourant à l'approche paramétrique et en utilisant l'estimation et l'ajustement avec le test de Kolmogov-Smirnov pour la validation de notre système avec le logiciel **"EasyFit"**.

Nous avons opté pour l'utilisation de la loi de Weibull à deux paramètres, qui possède l'avantage de modéliser les trois phases de la vie d'un composant.

Nous avons réalisé une analyse statistique des données relative au temps de bon fonctionnement. L'ajustement avec le logiciel **"EasyFit"** a fait ressortir que la valeur de β de la loi Weibull, pour le système est supérieure à 1. Cela permet d'affirmer que le système se dégrade par vieillissement (taux de défaillance croissant), d'où la justification du recours à la maintenance préventive.

D'autre part, afin de déterminer le système le moins fiable, nous avons calculé son temps moyen de bon fonctionnement MTBF et la fonction de fiabilité des réservoirs.

Dans la deuxième partie, nous avons opté pour une politique de maintenance préventive périodique avec réparation minimale à la défaillance, ou nous avons considéré que les maintenances

périodiques sont imparfaites. Cette politique est la plus utilisée dans l'industrie, vu que c'est l'une des politiques qui reflètent le mieux la réalité industrielle.

Après avoir attribué σ appelé facteur d'efficacité pour chaque maintenance préventive faite sur la réduction du taux de défaillance, avec e^σ et cela en le faisant varier entre [0.1,0.9]. Ensuite, nous avons appliqué le modèle de Gertsbakh dans le but de trouver les périodicités optimales T des révisions partielles qui minimisent le coût total de la maintenance. Elle nous a permis l'obtention de la période T ceci montre qu'il faut procéder à faire des révisions partielles chaque 5 ans et à des révisions générales au bout de 10 ans.

En termes de perspectives, Nous proposons :

- Une étude basée sur l'analyse approfondie de la fiabilité au niveau des équipements constituant le réservoir et ce, afin de déterminer le stade de vie des équipements.
- De compléter notre étude, en rajoutant tous les réservoirs de la ligne OB1 et de distinguer les réservoirs à toit fixe des réservoirs à toit flottant.
- De réaliser une étude économique (optimisation de coût) tout en appliquant le modèle de Gertsbakh en modélisant les temps de réparation TTR (Time To Repair) dans le but de réduire le temps de réparation de chaque phase de maintenance.
- Une étude basée sur l'utilisation de la télémaintenance et la technologie comme outils. En premier lieu, cela au diagnostic des défaillances lors des inspections et les visites de routines. Deuxièmement, comme outils d'aide à la décision et le choix de la politique de maintenance adéquate.

Bibliographie

- [1] Afnor X60-000, Maintenance industrielle-Fonction maintenance, France, 2001.
- [2] AISSANI. D, Modèles stochastiques de la théorie de fiabilité, volume 1 Fondement théorique, Office des Publications Universitaires Alger, 1992.
- [3] Beleulmi. S et Bellaouar. A, Fiabilité, maintenabilité, disponibilité (FMD), Cours, Université de Constantine, 2014.
- [4] Belhachemi. H, Contribution à l'Optimisation de la maintenance préventive pour les systèmes série-parallèle par les Colonies de fourmis, Mémoire de Magistère, univesité d'Oran, 2015.
- [5] Ben Ferroudj. H, Modélisation stochastique pour l'évaluation des indicateurs de la sûreté de fonctionnement d'un système de production : Cas de l'entreprise Domelec, Mémoire de Magistère, Université Batna, 2010.
- [6] Benkerrou. L et Bendjoudi. C, Maintenance préventive périodique avec réparation minimale Application aux équipements de manutention de BMT, Mémoire de Master, Université de Béjaia, 2013.
- [7] Boukhezar. F et Hammouche. S, Etude de fiabilité de la ligne de Fibre Optique Sonatrach (RTC Béjaia-RTH), Université de Béjaia, 2016.
- [8] Dadi. S et Ouarab. N, Analyse de la fiabilité et optimisation de la maintenance préventive du systeme de contrôle d'accès : cas de SONATRACH RTC-Béjaïa, mémoire de Master, Université de Béjaia, 2016.
- [9] Deradra. N et Kedjar. N, Ordonnancement du projet de rénovation de la base de vie de la station de pompage SP3-OB1 (W. M'Sila), Université de Béjaia, 2017.
- [10] Djabout. M et Nasri. N, Minimisation bicritère entre la durée et le coût d'ordonnancement d'un projet avec ressources limitées Cas d'un projet de Sonatrach, Université de Béjaia, 2016.
- [11] Gertsbakh. I, Reliability theory with applications to preventive maintenance, Springer, Berlin Allemagene, 2000.

- [12] Heng. J, Pratique de la Maintenance préventive, Livre, édition Dunod, 2017.
- [13] Le Digabel. S, Introduction à la fiabilité, Cours, Ecole Polytechnique Montréal, 2017.
- [14] Litali. A, La Recherche Opérationnelle un formidable outil d'aide à la décision, Paris, 2015.
- [15] Llaurens. J, Mise en place d'un plan de maintenance préventive sur un site de production pharmaceutique, thèse de doctorat, Université Josephe Fourier Grenoble , 2011.
- [16] LYONNET. P, Optimisation d'une politique de maintenance, Ed techniques et documentation (Lavoisier), Paris, 1986.
- [17] Mihalache. A. G, Modélisation et évaluation de la fiabilité des systèmes mécatroniques : application sur système embarqué, Thèse de Doctorat, Université d'Angers, 2007.
- [18] Noiret. A, Recherche de la Méthode la Plus Economique de Maintenance Par l'Utilisation du Modèle Graphique de Weibull, L'Industrie Française/Achats et Entretien, thèse de doctorat.
- [19] Rahmouni. B, Évaluation du coût de transport des hydrocarbures en Algérie, mémoire de Master, Université de Béjaia, 2014. Cas de la DRGB-SONATRACH
- [20] Tebbi. O, Estimation des lois de fiabilité en mécanique par les essais accélérés, thèse de doctorat, Université d'Angers, 2005.
- [21] Wado-Jousse. L, Cours de stratégie de maintenance, Université de Cameroun, 2014.
- [22] <https://www.google.com/search=activites+de+sonatrach=activites+de+sonatrach=chrome..69i5chromeie=UTF-8>

Résumé

Sur un site de stockage des hydrocarbures, la mise en place d'un plan de maintenance préventive des réservoirs de stockage s'intègre dans une stratégie de maintenance retenue pour un coût global minimum, mais aussi pour répondre aux exigences décrites dans les bonnes pratiques des visites de routines et les révisions sachant que la modélisation par les lois de fiabilités et les modèles paramétriques affirme que ces derniers sont en période de vieillesse (selon la loi de weibull).

Dans un premier temps, nous avons étudié la fiabilité des réservoirs du parc de stockage de la RTC-SONATRACH-Béjaia. Puis, nous avons adopté une politique de maintenance préventive périodique imparfaite avec réparation minimale à la défaillance. Plus précisément, nous avons déterminé la période optimale des révisions partielles qui minimise le coût de la maintenance, tout en considérant l'efficacité de cette dernière. Afin d'examiner la possibilité d'optimiser la période des révisions générales, nous avons également étudié l'impact de l'efficacité de la maintenance sur les équipements.

MOTS CLES : Fiabilité, Politique de Maintenance, Optimisation de la Maintenance Préventive, Révisions Partielles et Générales.

Abstract

On a hydrocarbon storage site, the implementation of a maintenance plan prevention of storage tanks is therefore part of a maintenance strategy adopted for a minimum overall cost, but also to meet the requirements described in the good practices of routine visits and revisions knowing that the modeling by reliability laws and parametric models asserts that the latter are in a period of aging (according to weibull's law).

First, we studied the reliability of the latter. Then we have adopted a policy of imperfect periodic preventive maintenance with minimal repair to failure. More precisely, we have determined the optimal period of partial revisions which minimizes the cost of maintenance, while considering the efficiency of the latter. In order to examine the possibility of optimizing the period of general revisions, we also studied the impact of the efficiency of maintenance on the equipment.

KEY WORDS : Reliability, Maintenance Policy, Optimization of Preventive Maintenance, Partial and General Overhauls.