

Université A/Mira de Béjaïa
Faculté des Sciences Exactes
Mathématiques Appliquées



MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

En vue de l'obtention du Diplôme de Master en
Recherche Opérationnelle

Option :

Modélisation Mathématique et Évaluation de Performances
des Réseaux

THÈME

**Disponibilité et Maintenabilité du réseau anti-incendie du
Parc de Stockage RTC Sonatrach Béjaïa**



Présenté par :

Devant le jury composé de :

M^r Boutinzar Massinissa
M^r Azegagh Mahrez

Président
Rapporteur
Examineur

Invité

M^r R. LAGGOUNE

M^r D. AÏSSANI

M^{elle} L. LAKAOUR

M^r F. MOUHOUS

M^r H. AIT IDIR

Professeur

Professeur

Doctorante

Doctorant

Ingénieur

Promotion 2017/2018

Remerciements

La réalisation de ce mémoire a été possible grâce au concours de plusieurs personnes à qui nous voudrions témoigner toute notre reconnaissance.

On voudrait tout d'abord adresser toutes nos gratitudee au directeur de ce mémoire, *M^r* D. AÏSSANI, Professeur à l'université de Béjaïa, pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter nos réflexions.

On désire aussi remercier les professeurs et enseignants de l'université de Béjaïa, qui nous ont fourni les outils nécessaires à la réussite de nos études universitaires.

Nous aimerons aussi gratifier les efforts de *M^r* R. LAGGOUNE, Professeur à l'université de Béjaïa, qui a eu l'amabilité de répondre à nos questions et de fournir les explications nécessaires.

On tient à remercier spécialement *M^r* H. AIT IDIR, ingénieur à l'entreprise RTC-sonatrach de béjaïa qui fut le premier à nous faire découvrir le sujet qui a guidé notre mémoire, en tant que notre maître de stage pour le temps passé ensemble et le partage de son expertise.

Nos remerciements vont également à *M^{elle}* L. LAKAOUR, Doctorante à l'université de Bejaïa, *M^r* F. MOUHOUS, Doctorant à l'université de Béjaïa d'avoir accepté d'examiner notre travail.

On voudrait exprimer nos reconnaissances envers les amis et collègues qui nous ont apporté leur soutien moral et intellectuel tout au long de nos démarches.

Nous ne pouvons oublier de remercier tous les membres de nos familles pour leurs soutiens et leurs encouragements, particulièrement nos parents.

Dédicaces

Nous dédions ce modeste travail :

- ◇ *A ma très chère mère qui ma toujours aidé et encouragé, et à la memoire de mon père ;*
- ◇ *A mes chères frères : Halim, Remdane ;*
- ◇ *A ma très chère soeur Lila et à mon neveu Safoine ;*
- ◇ *A toute ma famille ;*
- ◇ *A tous(tes) mes amis(es).*

Mahrez

- ◇ *A ma très chère mère et mon père qui m'ont toujours aidé et encouragé ;*
- ◇ *A mon chère frère : Saber ;*
- ◇ *A mes très chères soeurs : Linda, Hakima ;*
- ◇ *A mon neveu Boubache et ma nièce Ines ;*
- ◇ *A ma chère grand-mère : Zohra ;*
- ◇ *A toute ma famille ;*
- ◇ *A tous(tes) mes amis(es).*

Massi

Liste des abréviations

RTC	<i>Région de Transport Centre</i>
GPL	<i>Gaz de Pétrole Liquéfié</i>
GNL	<i>Gaz Naturel Liquéfié</i>
TMB	<i>Terminal Marin de Béjaia</i>
CDHL	<i>Centre de Dispatching d'Hydrocarbures Liquides</i>
CNDG	<i>Centre National de Dispatching Gaz</i>
DRG.B	<i>Direction Régionale de Béjaia</i>
SOPEG	<i>Société Pétrolière de Gérance</i>
TNF	<i>Travaux Neufs</i>
STC	<i>Systèmes de Transport par Canalisation</i>
CTC	<i>Contrôle Technique de Construction</i>
HSE	<i>Hygiène, Sécurité, Environnement</i>
MTN	<i>Maintenance</i>
INF	<i>Informatique</i>
MOG	<i>Moyens Généraux</i>
EXL	<i>Exploitation</i>
DPP	<i>Département du Patrimoine Pétrolier</i>
ASI	<i>Assistant à la Sûreté Interne</i>
GED	<i>Gestion Electronique des Documents</i>
TMN	<i>Terminal Marin Nord</i>
TMS	<i>Terminal Marin Sud</i>
USD	<i>Unité de Stockage et Dosage</i>
MTBF	<i>(Mean Time Between Failure) Moyenne des temps entre défaillances</i>

Liste des abréviations

MTTR (*Mean Time To Repair*) *Moyenne des temps de réparation*

MDT (*Mean Down Time*) *Moyenne des temps d'arrêt*

MUT (*Mean Up Time*) *Moyenne des temps de bon fonctionnement*

MTTF (*Mean Time To Failure*) *Moyenne des temps jusqu'à la défaillance*

Table des matières

Table des Matières	iii
Table des Figures	iv
Liste des tableaux	iv
Introduction générale	1
1 Présentation de la Région de Transport Centre de Sonatrach (RTC) de Béjaia	3
Historique	3
1.1 Activités de Sonatrach	3
1.1.1 Activité amont	3
1.1.2 Activité aval	4
1.1.3 Activité transport	4
1.1.4 Activité commercialisation	4
1.2 Activité de transport par canalisation	4
1.2.1 Capacité design de transport	5
1.3 Sonatrach RTC-Béjaia	6
1.4 Organigramme de la RTC-Béjaia	8
1.4.1 Département Travaux Neufs « TNF »	10
1.4.2 Parcs de Stockages	12
1.4.3 Le Terminal	13
1.4.4 Sécurité et environnement	13
1.5 Description du réseau anti-incendie existant	14
1.5.1 Réseau eau anti-incendie	14
1.5.2 Approvisionnement en eau	14
1.5.3 Pomperie principale	15

1.5.4	Pomperie de transfert	15
1.5.5	Circuit de refroidissement	16
1.5.6	Circuit de prémélange	16
1.5.7	Unité de stockage et dosage d'émulseur (USD) (à remplacer)	16
1.5.8	Véhicule de lutte contre l'incendie mixte eau/mousse	17
2	Généralités sur la fiabilité, la maintenabilité et la disponibilité	18
2.1	Introduction	18
2.2	La Fiabilité	18
2.2.1	Fiabilité prévisionnelle	18
2.2.2	Fiabilité estimée	18
2.2.3	Fiabilité opérationnelle	19
2.2.4	Probabilité de survie	19
2.2.5	La panne ou défaillance	19
2.2.6	Taux de défaillance	20
2.2.7	Temps moyen de bon fonctionnement	20
2.3	Durée de vie des équipements	22
2.3.1	Courbe en baignoire	22
2.4	Fiabilité des systèmes	24
2.4.1	Configuration en série	24
2.4.2	Configuration en parallèle	24
2.4.3	Système à configuration k parmi n (k/n)	25
2.4.4	Système à configuration k consécutif sur n (k/n)	25
2.4.5	Système à redondance	26
2.5	Analyse de Pareto	26
2.6	La maintenabilité	27
2.6.1	Indice de maintenabilité	28
2.7	La disponibilité	28
2.7.1	Etude simplifiée de la disponibilité	30
3	Méthodes de traitement statistique des données	32
3.1	Introduction	32
3.2	Modèles Paramétriques de la Fiabilité	32
3.2.1	Loi Exponentielle	32
3.2.2	Loi Weibull	34
3.2.3	Loi Log-Normale	35
3.3	Estimation des paramètres des lois	36
3.3.1	Méthode du Maximum de Vraisemblance	36
3.4	Tests d'ajustement	37

3.4.1	Test de Khi-Deux	37
3.4.2	Test de Kolmogorov-Smirnov	38
3.5	Processus stochastique	38
3.5.1	Définition et classification	38
3.5.2	Processus à accroissements indépendants	39
3.5.3	Processus Markoviens	39
3.5.4	Processus stationnaires	41
3.5.5	Processus récurrents	41
3.6	Les chaînes de Markov à temps discret	41
3.6.1	Matrice de transition	41
3.6.2	Représentation graphique (graphe de transitions)	42
3.6.3	Propriétés fondamentales	42
3.6.4	Classification des états d'une chaîne de Markov	42
3.6.5	Distribution irréductible	43
3.6.6	Distribution stationnaire	43
3.6.7	Existence et unicité des distributions stationnaires	43
4	Analyse statistique des données	45
4.1	Collecte des données	45
4.2	Choix des équipements à étudier	46
4.3	Analyse de la fiabilité des équipements	46
4.3.1	Modélisation paramétrique de la fiabilité des équipements	46
4.3.2	Indices de fiabilité	47
4.4	Modélisation de la maintenabilité	48
5	Etude de la disponibilité du réseau anti-incendie	50
5.1	Introduction	50
5.2	Modélisation et résolution	50
5.2.1	Fonctionnement en régime maximal	50
5.2.2	Fonctionnement en régime minimal	55
5.3	Calcul de la disponibilité	60
5.4	Interprétation des résultats	62
	Conclusion générale	65
	Annexe	65
	Bibliographie	66

Table des figures

1.1	Chaîne de transport par canalisation de Sonatrach	5
1.2	Organigramme de la RTC-Béjaïa	9
1.3	Organigramme du Département Travaux Neuf [Document interne Sonatrach]	10
1.4	Le site de la TMB vue du ciel	14
1.5	Nourrice	15
1.6	Vanne de sectionnement	15
1.7	Electropompes	15
1.8	Couronne de refroidissement	16
1.9	Unité de stockage et de dosage d'émulseur	17
2.1	Chronogramme d'un matériel réparable	21
2.2	Chronogramme d'un matériel irréparable	22
2.3	Courbe en baignoire	23
2.4	Diagramme de Pareto	27
2.5	Système en série	31
3.1	Densité de probabilité de la loi Exponentielle	33
3.2	Densité de probabilité de la loi Weibull	35
3.3	Densité de probabilité de la loi Log-Normale	36
5.1	Réseau anti-incendie en régime maximal	51
5.2	Graphe de transition	52
5.3	Graphe de transition	54
5.4	Réseau anti-incendie en régime minimal	56
5.5	Graphe de transition	57
5.6	Graphe de transition	59

Liste des tableaux

1.1	Caractéristiques des Oléoducs de RTC.	7
1.2	Caractéristiques des Gazoduc de RTC.	8
1.3	Caractéristiques des Parcs de Stockages de la RTC	13
4.1	Les équipements à étudier.	46
4.2	Résultats de l'ajustement des temps de bon fonctionnement	47
4.3	Résultats de calcul de la MUT des équipements	48
4.4	Résultats de l'ajustement des temps de réparation	49
5.1	Taux moyens de réparation et de panne des équipements	61

massi

Introduction générale

Les Réseaux de protection contre l'incendie sont conçus et installés pour exécuter des fonctions spécifiques. Pour ce faire, la construction et les fonctionnalités du système doivent être « évaluées » et l'intégrité des fonctionnalités maintenues. La fiabilité du système de protection anti incendie et d'extinction est un intrant important pour les analyses d'ingénierie détaillées avec une conception basée sur la performance.

Depuis sa création, l'entreprise Sonatrach s'est toujours intéressée à l'amélioration de la qualité de ces réseaux anti incendie. Actuellement, RTC-Sonatrach a en projet la mise en place d'un nouveau système de protection contre les incendies au Terminal Marin de Béjaïa pour augmenter la sécurité du site [11]. L'incendie qui demeure le danger numéro un pour ce type d'entreprise et la lutte contre ce dernier demeure le souci majeur de l'entreprise. Les décideurs ont prit conscience de l'importance de l'application des méthodes d'étude de la fiabilité et de la disponibilité dans la protection des biens et des personnes. Alors, la question que le décideur doit se poser est « est-t-il vraiment nécessaire de réaliser un nouveau système qui remplacera le réseau existant ? » sachant qu'il n'a jamais été testé sur une épreuve extrême, à part sur un incendie qui s'était déclaré en 2016 et qui a été rapidement contrôlé après le déclenchement du système.

L'objectif de cette étude est d'aider les décideurs à répondre à cette question. Elle consiste en une évaluation de l'aspect de fiabilité et de disponibilité des équipements du réseau anti incendie actuel, afin de permettre à l'entreprise de suivre l'évolution de l'état de ces derniers et de mettre en œuvre une éventuelle politique de maintenance. Pour ce faire, il a fallu dans un premier temps localiser les équipements du système à étudier, et de dégager les éléments critiques de réseau anti incendie. Ensuite, nous avons utilisé les modèles paramétriques de fiabilité avec des tests d'ajustement et des tests de validation des modèles ajustés, dans le but de trouver la meilleure distribution de vie pour ces équipements. Finalement, nous avons eu recours aux chaînes de Markov pour la modélisation des fonctionnements du réseau et le calcul de sa disponibilité.

Le travail est organisé comme suit :

Le premier chapitre présente l'entreprise Sonatrach RTC Béjaia et décrit brièvement le réseau anti incendie de l'entreprise.

Dans le deuxième chapitre, on expose les concepts de base de la fiabilité, de disponibilité ainsi que les différentes configurations des concepts des systèmes de fiabilité.

Dans le troisième chapitre, nous présentons les différentes lois statistiques paramétriques utilisées en fiabilité (Exponentielle, Weibull, et Log-normale) Ensuite, nous exposons les différentes méthodes d'estimation des paramètres et les différents tests d'ajustement de ces lois, les processus stochastiques ainsi que les chaines de Markov à temps discret.

Le quatrième chapitre, comporte l'analyse statistique des données afin d'établir et d'ajuster les lois de fiabilité par les modèles paramétriques, ainsi que l'ajustement des lois de Maintenabilité.

Le chapitre cinq traite de la modélisation des différents systèmes et variantes sous forme d'une chaîne de Markov, et la résolution du problème afin de déterminer la disponibilité de chaque variante. Pour cela, l'analyse statistique effectuée dans le chapitre précédent nous a permis d'ajuster les lois de fiabilité des équipements par les lois Weibull et Exponentielle. La fin de ce chapitre est supposé apporter une aide à la décision aux décideurs sur la nécessité de renouvellement du réseau en question.

Présentation de la Région de Transport Centre de Sonatrach (RTC) de Béjaia

Historique

Sonatrach est une compagnie étatique algérienne et un acteur international majeur dans l'industrie des hydrocarbures.

Créée le 31 décembre 1963, la compagnie intervient dans l'exploration, la production, le transport par canalisations, la transformation et la commercialisation des hydrocarbures et de leurs dérivés. Elle est 4^{eme} exportateur mondial de GNL, 3^{eme} exportateur mondial de GPL et 5^{eme} exportateur de Gaz Naturel.

Adoptant une stratégie de diversification, Sonatrach se développe aussi bien dans les activités de génération électrique, d'énergies nouvelles et renouvelables, de dessalement d'eau de mer, de recherche et d'exploitation minière.

Poursuivant sa stratégie d'internationalisation, Sonatrach opère en Algérie et dans plusieurs régions du monde : Afrique (Mali, Niger, Libye, Egypte), Europe (Espagne, Italie, Portugal, Grande Bretagne), Amérique Latine (Pérou) et USA.

1.1 Activités de Sonatrach

1.1.1 Activité amont

Recouvre les métiers de recherche, d'exploration, de développement et des production des hydrocarbures.

1.1.2 Activité aval

A en charge le développement et l'exploitation des complexes hydrocarbures (liquéfaction, raffinerie,...).

1.1.3 Activité transport

La branche RTC se charge de l'acheminement des hydrocarbures aussi le gaz du sud du pays vers les terminaux marins du nord pour l'exploitation ou vers les unités de transformations.

1.1.4 Activité commercialisation

A pour mission l'élaboration de la stratégie commerciale de Sonatrach sur le marché national et international.

1.2 Activité de transport par canalisation

L'Activité Transport par Canalisations est un maillon important de la chaîne des hydrocarbures et ce, d'un point de vue historique, stratégique et opérationnel.

Le premier oléoduc (pipeline) installé en Algérie, le pipeline OB1 a été réalisé par la SOPEG (société pétrolière de gérance). Fondée en 1957, elle a été mise en service en 1959 pour acheminer le pétrole brut au terminal marin de Béjaïa d'où sa dénomination d'OB1. Partant du centre de stockage de Houdh El Hamra PK0, il atteint le terminal marin de Béjaïa (TMB), après un parcours de 668 Km environ.

Depuis, notre réseau de transport par canalisations n'a eu de cesse de se densifier et de se complexifier en fonction du développement des activités de l'Amont et de l'Aval pétrolier et gazier de SONATRACH, en national et en international. La longueur de notre réseau de transport des hydrocarbures dépasse aujourd'hui les 19 000 Km et le nombre de pipelines est passé de un «01» à trente-sept «37».

Trois gazoducs transcontinentaux nous relient à l'Europe à travers les pays du Maghreb.

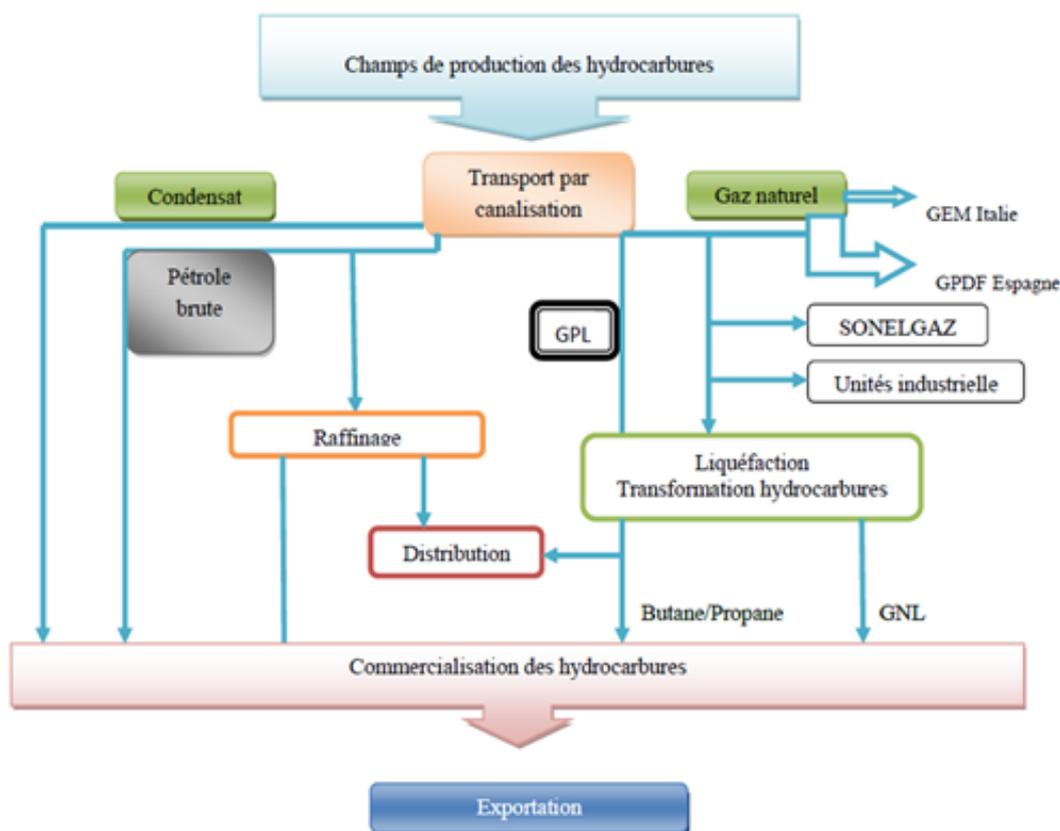


FIGURE 1.1 – Chaîne de transport par canalisation de Sonatrach

1.2.1 Capacité design de transport

Le Réseau de canalisation a une capacité design de transport de 419 millions Tep à fin 2015. Les centres de dispatching comptent parmi les installations névralgiques de l'Activité, il s'agit de :

- Centre de Dispatching d'Hydrocarbures Liquides « CDHL » qui se situe au niveau de Haoud El Hamra « Hassi Messaoud ».
- Centre National de Dispatching Gaz "CNDG" situé à HassiR'mel, qui assure la collecte du gaz naturel provenant des sites de production et son acheminement par pipeline vers les centres de consommation « Sonelgaz, clients tiers et unités de Sonatrach », de transformation « complexes de liquéfaction » et d'exportation par gazoducs « PEDRO DURAN FARELL, ENRICO MATTEI et GZ4-MEDGAZ ».

Sonatrach, à travers l'Activité Transport par Canalisation " TRC ", dispose de 22 Systèmes de Transport par Canalisation (STC), 21 en exploitation, 01 en cours de réalisation GR5,

intégrant 82 stations de pompage et de compression dont 50 Stations de Pompage destinées aux hydrocarbures liquides. Sonatrach dispose, également, de nombreux postes de chargement à quai du pétrole brut, du condensat, du GNL et des produits pétroliers au niveau des trois ports pétroliers de chargement d'hydrocarbures Arzew, Bejaia et Skikda.

Les 03 ports sont équipés de 5 bouées de chargement de pétrole en haute mer, qui permettent les accostages de tankers de capacité allant de 80 000 à 320 000 TM.

Le réseau de transport par canalisation compte 16 gazoducs, avec une capacité design de 178 milliards de m³/an, dont 50 milliards de m³ dédiés à l'exportation.

Depuis la mise en service des 03 gazoducs transcontinentaux :

- Enrico Matei, reliant l'Algérie à l'Italie via la Tunisie.
- Pedro Duran Farrel, reliant l'Algérie à l'Espagne via le Maroc.
- HassiR'Mel - Béni-Saf, reliant l'Algérie à l'Espagne via le Medgaz

et de nouveaux projets de construction de gazoducs d'envergure internationale sont en cours de réalisation afin de répondre notamment à la demande du marché européen.

1.3 Sonatrach RTC-Béjaia

Après la nationalisation du secteur des hydrocarbures en 1971, d'autres pipe-lines ont été réalisés par Sonatrach, d'où la naissance des Directions Régionales. La société Pétrolière de gérance «SOPEG» est devenue depuis, Direction Régionale de Bejaia «DRG.B», elle-même devenue Région Transport Centre «RTC».

La Région Transport Centre de Bejaia est chargée de l'exploitation de deux oléoducs et d'un gazoduc.

Oléoducs

Cet oléoduc, réalisé en 1959 par la société pétrolière 'SOPEG' (Société Pétrolière de Gérance), est le premier pipe-line qu'a connu l'Algérie, qui alimente en pétrole brut le port de Bejaia en passant par différentes stations intermédiaires (voir le tableau).

	24" et 22" OB1 (Brut)	20" OG1 (Brut)
Départ	de Haoud-El-Hamra (Hassi-Messaoud)	Béni-Mansour
Arrivée à	Bejaïa	Sidi-Arsine
Diamètre (pouce)	24 sur 533 Km et 22 sur 135 Km	20
Longueur (Km)	668	145
Nombre de Stations	7	1
Capacité (MTA)	12,4	4,5
Mise en service	1959	2005

TABLE 1.1 – Caractéristiques des Oléoducs de RTC.

Gazoduc

Ce Gazoduc alimente en gaz naturel, depuis 1981 toutes les villes et pôles industriels du centre du pays avec une quantité de onze milliards de Mètre-cube M^3 par an. Le gazoduc prend sa source à partir du champ de HassiR'mel pour aboutir au Terminal de Bordj Menaiel.

	42" GG1 (Gaz)
Départ de	Hassi-R'mel
Arrivée à	Issers
Diamètre (pouce)	42
Longueur (Km)	437
Nombre de Stations	1
Capacité (109 Sm ³ /an)	11
Mise en service (année)	1981

TABLE 1.2 – Caractéristiques des Gazoduc de RTC.

1.4 Organigramme de la RTC-Béjaia

La région transport centre de Béjaia est composée de trois sous-directions divisées chacune en plusieurs départements.

L'organigramme suivant donne la structuration hiérarchique fonctionnelle de la région transport centre de Béjaia.

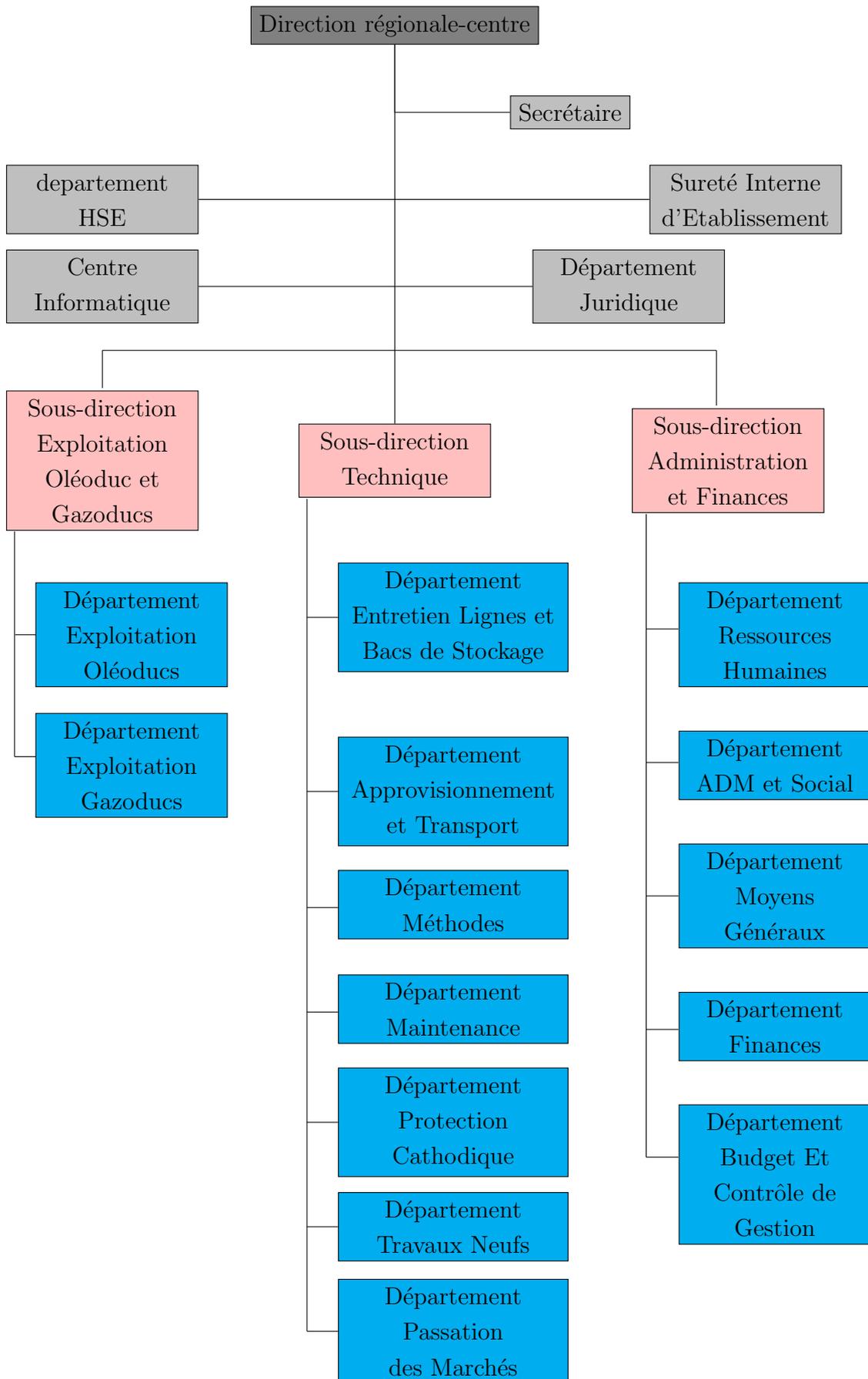


FIGURE 1.2 – Organigramme de la RTC-Béjaia

1.4.1 Département Travaux Neufs « TNF »

Le département Travaux Neufs « TNF » est chargé des études, l'assistance technique et le suivi de réalisation des projets d'investissement de la Région. Il prend aussi en charge les travaux de rénovation des installations demandés par les différentes structures de la région.

Le Département Travaux Neufs gère environ quatre-vingt pour cent du budget global de la région.

Il est actuellement structuré comme suit :

- Service Etudes Industrielles,
- Service Technique et Suivi des réalisations .
- Section archivages et documentation.
- Secrétariat.

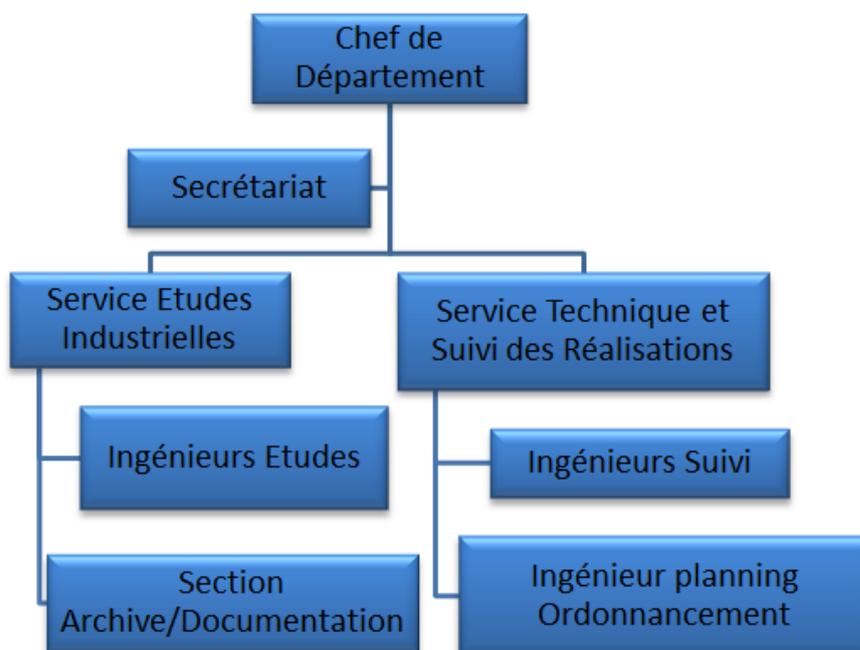


FIGURE 1.3 – Organigramme du Département Travaux Neuf [Document interne Sonatrach]

Service études industrielles

- Recueillir l'ensemble des informations nécessaires à la prise en charge de l'étude (visite du site, contacts des structures internes, des organismes externes au besoin, ..etc.) ;
- ” Elaborer le Cahier des charges et le projet de contrat en respectant les dispositions

contenues dans la Décision *E – 025(R18)* du 02/01/2013 ;

- Etablissement des bons de commande par projet aux bureaux d'études conventionnés ;
- Transmettre dès finalisation, par note interservices au Département Juridique et éventuellement aux structures concernées (EXL, MTN, HSE, INF, MOG, ATR. . .etc.) pour avis et commentaires en accordant un délai raisonnable pour le retour d'information ;
- Contrôler, approuver et faire approuver par les structures internes compétentes les dossiers d'études émis par les bureaux d'études conventionnés ;
- Evaluer les coûts de projets, participer à l'élaboration des budgets d'investissement et des fiches techniques des projets ;
- Soumettre, s'il y a lieu, les documents de contrat, à l'approbation des organismes compétents (CTC, Hydraulique, Sonelgaz, Naftal, DPP, . . .etc.) ;
- Préparer les dossiers requis pour visa préalable TRC et les différents visas auprès des commissions des marchés habilités ;
- Elaborer les rapports d'avancement des prestations d'engineering des projets confiés en étude aux cocontractants et assurer de façon régulière, le reporting à la hiérarchie ;
- Participer aux travaux des comités d'évaluation des Offres.

Service suivi des réalisations

- Avant le début des travaux, assurer la fourniture par l'entrepreneur des documents contractuellement requis (assurances, cautions bancaires, . . .) ;
- Solliciter auprès des structures internes (Terminal, ASI, . . .etc.) toutes les autorisations d'accès ou de travail nécessaires à l'entrepreneur pour l'exécution sécurisée de ses obligations contractuelles ;
- Gérer les contrats de réalisation jusqu'à la réception définitive des projets et veiller au respect des clauses contractuelles ;
- Veiller au respect des délais contractuels et de l'application des règles d'hygiène et de sécurité au niveau des chantiers ;
- Participer aux réunions de chantiers avec les différents intervenants ;
- Elaborer les rapports mensuels et assurer le reporting à la hiérarchie ;
- Approuver les attachements et factures des entreprises cocontractantes ;
- Assurer l'interface vis-à-vis des organismes de contrôle technique durant la réalisation (CTC - ARH - SONELGAZ - ENACT et autres) ;
- Participer aux travaux des comités d'évaluation des Offres.

Service archives et Documentation

- Gestion des archives techniques de toute la région et prend en charge dès sa mise en place, la Gestion Electronique des Documents (GED);
- Codifier, classer, conserver et reproduire les documents techniques ;
- Réceptionner la documentation technique de tous les projets de la région ;
- Mettre à jour le catalogue des plans et documents disponibles ;

1.4.2 Parcs de Stockages

Dans l'industrie pétrolière, on désigne :

- Les bacs de stockage qui sont des réservoirs utilisés pour les divers produits pétroliers, Leur forme n'est autre que celle d'une grande cuve fermée d'un toit qui peut être fixe ou flottant.
- Les cuves ouvertes sont des réservoirs destinés au stockage d'eau d'incendie et ne conviennent pas pour le stockage des produits pétroliers.

Ouvrages	Sites	Nombre de bacs	Capacité totale en M^3	Année de mise en service
OB1 24" et 22" Pétrole brut	HEH	7	245 000	1959
	Stations	4	35 000	1959
	Bejaïa	16	620 000	1959
OG1 20" Pétrole brut	Béni-Mansour	2	24 000	1971
	Raffinerie d'Alger	3	105 000	1964

TABLE 1.3 – Caractéristiques des Parcs de Stockages de la RTC

1.4.3 Le Terminal

Le terminal est muni d'une grande surface où se situe un ensemble de bacs de stockage. Ils sont connectés à une canalisation d'entrée et une autre de sortie et éventuellement connectés entre eux. Le site de Bejaïa dispose de deux terminaux nord et sud :

Le Terminal NORD de Bejaïa «TMN»

Il possède 12 bacs de stockage d'une capacité de 35000 M^3 reliés deux par deux à 6 collecteurs puis à un jeu de vannes motorisées et sept motopompes de chargement de type GUINARD qui datent de 1956.

Le Terminal SUD de Bejaïa «TMS»

Il possède 4 bacs de stockage d'une capacité de 50000 M^3 reliés eux aussi à un manifold muni d'un jeu vannes motorisées et deux motopompe de type GUINARD de 1956.

1.4.4 Sécurité et environnement

On ne peut parler d'hydrocarbures sans évoquer les problèmes liés à la sécurité des équipements et des personnes, car comme tout le monde le sait, les produits que nous transportons et nous stockons sont très dangereux et ils nécessitent beaucoup de prudence et de dextérité sans quoi ils pourraient exploser et causer la mort de personnes et la destruction des équipements, engendrant ainsi des pertes considérables.

Pour éviter cela, la SONATRACH a mis en place un système de sécurité important muni de moyens considérables à commencer par les camions anti-incendie, le réseau de canalisations entourant les manifolds et les bacs et un système de détection de fumée sophistiqué au niveau des infrastructures qui doivent être contrôlées régulièrement.



FIGURE 1.4 – Le site de la TMB vue du ciel

1.5 Description du réseau anti-incendie existant

1.5.1 Réseau eau anti-incendie

La description du réseau anti incendie de la TMB est donnée comme suit :

- Réseau principal : maillé et équipé de 73 vannes de sectionnement et de 47 bouches d'incendie.
- Diamètres : dégressif de 10" (400 *m* linéaire), 8" (3500 *m* linéaire), 6" (1700 *m* linéaire) et 4" (1000 *m* linéaire).
- Bouches d'incendie : nourrices avec deux sorties de 70 *mm* et une sortie de 100 *mm*.

1.5.2 Approvisionnement en eau

Les différents moyens d'approvisionnement en eau sont :

- Bassin de 600 m^3 en eau douce .
- Bassin de 8000 m^3 en eau de mer.



FIGURE 1.5 – Nourrice



FIGURE 1.6 – Vanne de sectionnement

1.5.3 Pomperie principale

- Deux (2) électropompes (Guinard V140-10) de $200 \text{ m}^3/h$ chacune au niveau du bassin 600 m^3 .
- quatre (4) motopompes (Guinard V-647-7) de $60 \text{ m}^3/h$ chacune au niveau du bassin 8000 m^3 .



FIGURE 1.7 – Electropompes

1.5.4 Pomperie de transfert

Quatre électropompes de $60 \text{ m}^3/h$ à proximité du bassin 8000 m^3 sont installées pour le transfert vers le bassin 600 m^3 et deux électropompes de 200 m^3 à proximité du bassin 600 m^3 sont installées pour alimenté le réseau incendie.

1.5.5 Circuit de refroidissement

Chaque bac est équipé d'une rampe de refroidissement en acier, monocellulaire, de 4" reliée au réseau anti-incendie. (Pulvérisateurs bouchés)

- Diamètres : 4" (3500 *m* linéaire) et 6" (1000 *m* linéaire).



FIGURE 1.8 – Couronne de refroidissement

1.5.6 Circuit de prémélange

Les composants des circuits de prémélange sont de :

- Diamètres : 4", environ 2044 *m* linéaire (avec 341 accessoires).
- Diamètres : 3", environ 2745 *m* linéaire (avec 223 accessoires)
- Chaque réservoir est muni de deux couronnes de diamètre 4" en fibre de verre alimentant 6 colonnes montantes desservant les 12 générateurs déversoirs.
- Six Générateurs déversoirs de 2"¹/₂ (de 200 *l/mn*) alimentés par USD et six autres par camion incendie.

1.5.7 Unité de stockage et dosage d'émulseur (USD) (à remplacer)

La description des USD à remplacer :

- Nombre : 07 USD dont, 04 USD au TM Nord et 03 USD au TM Sud (selon la configuration actuelle).
- Disposition : trois capacités de 1500 l chacune
- Autonomie : 30 minutes (selon la conception actuelle).
- Activation : en semi-automatique et en manuel.
- Etat : électrovannes endommagées (déconnectées).

- Type de vannes utilisées actuellement : hydraulique.
- Dispositif de commande et de contrôle : pupitre de contrôle/commande (situé à la salle de veille sécurité).



FIGURE 1.9 – Unité de stockage et de dosage d'émulseur

1.5.8 Véhicule de lutte contre l'incendie mixte eau/mousse

Ce véhicule permet le transport et la mise en œuvre de :

- 3500 litres d'eau.
- 8 000 litres d'émulseur.

Généralités sur la fiabilité, la maintenabilité et la disponibilité

2.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons quelques notions théoriques de fiabilité, de maintenabilité et de disponibilité. Ainsi que les différentes configurations des systèmes de fiabilité. Enfin, nous présentons la méthode ABC.

2.2 La Fiabilité

La fiabilité est une caractéristique d'un dispositif exprimée par la probabilité qu'il accomplisse une fonction requise dans des conditions données pendant un temps donné. On distingue des notions de fiabilité selon l'étape étudiée de la vie du système [8] :

2.2.1 Fiabilité prévisionnelle

La fiabilité prévisionnelle est la fiabilité calculée sur la base d'un modèle mathématique défini à partir des données du projet et de la fiabilité estimée des composants [1].

2.2.2 Fiabilité estimée

La fiabilité estimée ou intrinsèque est la fiabilité d'un dispositif mesurée au cours d'essais spécifiques, effectués dans le cadre d'un programme d'essais entièrement définis [1].

2.2.3 Fiabilité opérationnelle

La fiabilité opérationnelle est la fiabilité mesurée sur un des dispositifs en exploitation normale, elle dépend des conditions réelles d'utilisations et du support logistique [1].

2.2.4 Probabilité de survie

C'est la probabilité de ne pas avoir de défaillance d'utilisation déterminés, pendant une durée de fonctionnement donnée. La probabilité de survie est la valeur numérique de la fiabilité [8].

2.2.5 La panne ou défaillance

C'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 [8].

Défaillance soudaine

C'est une défaillance qui n'aurait pas pu être prévue par un examen antérieur des caractéristiques.

Défaillance progressive

C'est une défaillance résultante de déviations d'une ou des caractéristiques au-delà des limites spécifiées mais telles qu'elles n'entraînent pas une disparition complète de la fonction requise.

Défaillance complète

C'est une défaillance résultante de déviations d'une ou des caractéristiques, telles qu'elles entraînent une disparition de la fonction requise. Les limites correspondant à cette catégorie sont des limites spéciales spécifiées dans ce but.

Défaillance Catalectique

C'est une défaillance qui est à la fois soudaine et complète.

Défaillance par dégradation

C'est une défaillance qui est à la fois progressive et partielle.

Défaillance d'exploitation

C'est une défaillance causée par le non-respect des règles d'exploitation spécifiques ou par des influences extérieures dépassant les limites prévues dans les conditions d'exploitation du dispositif considéré.

2.2.6 Taux de défaillance

Le taux de défaillance indique la probabilité qu'un système soit défaillant entre t et $t + dt$, sachant qu'il fonctionnait à t , notons que $\lambda(t)$ est aussi appelé fonction de hasard ($h(t)$) [13];

et :

$$\lambda(t)dt = \frac{F(t + dt) - F(t)}{1 - F(t)} = \frac{dF(t)}{1 - F(t)} = \frac{-dR(t)}{R(t)} \quad (2.1)$$

avec $R(t) = 1 - F(t)$

$F(t)$ et $R(t)$ sont respectivement la fonction cumulée de défaillance et la fonction fiabilité.

2.2.7 Temps moyen de bon fonctionnement

Autre indicateur de fiabilité, le temps moyen de bon fonctionnement qui correspond à l'espérance mathématique de la durée de vie X . On le note MUT (Mean Up Time). Il est donné par :

$$MUT = \mu = E(X) = \int_0^{+\infty} x f(x) dt \quad (2.2)$$

aussi égale à

$$\int_0^{+\infty} R(x) dx \quad (2.3)$$

Matériel réparable

C'est un matériel qui peut être remis en fonctionnement après avoir subi une défaillance. La vie d'un tel matériel peut être décrite à l'aide du chronogramme donnée dans (Fig 2.1) :

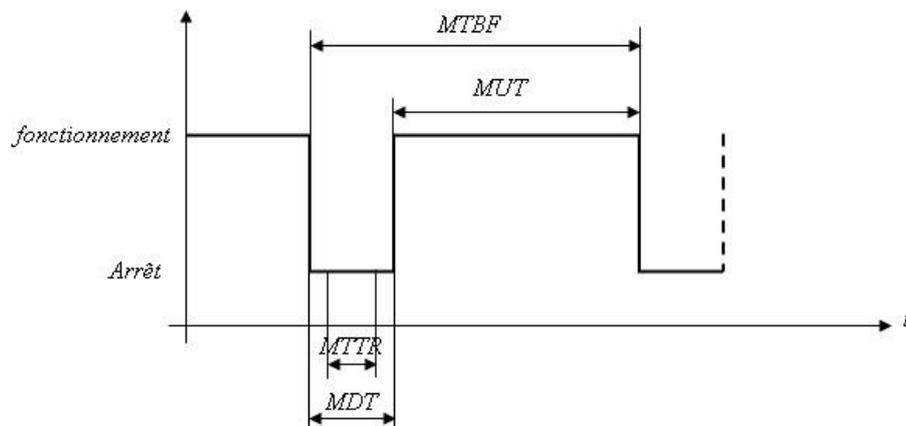


FIGURE 2.1 – Chronogramme d'un matériel réparable

avec :

MTBF (Mean Time Between Failure) : Moyenne des temps entre défaillances.

MTTR (Mean Time To Repair) : Moyenne des temps de réparation.

MDT (Mean Down Time) : Moyenne des temps d'arrêt.

MUT (Mean Up Time) : Moyenne des temps de fonctionnement.

Matériel irréparable

Le matériel irréparable ne peut être remis en fonctionnement. La vie d'un matériel non réparable est représenté dans (Fig 2.2).

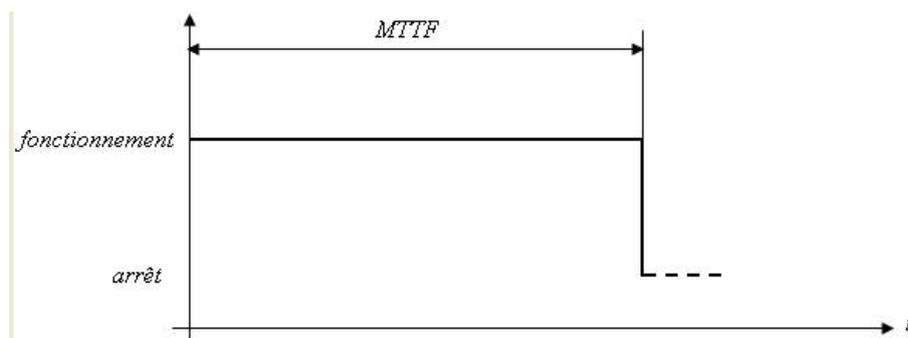


FIGURE 2.2 – Chronogramme d'un matériel irréparable

avec :

MTTF (Mean Time To Failure) : Moyenne des temps jusqu'à la défaillance.

2.3 Durée de vie des équipements

2.3.1 Courbe en baignoire

Pour mettre en place une politique de maintenance efficace, il est important de comprendre les phénomènes de défaillances ou de dégradations des équipements. D'une manière générale, la classification des défaillances s'établit en deux catégories [13].

Les défaillances catalectiques

Elles sont complètes et soudaines, c'est, par exemple, la rupture d'une pièce mécanique, le court-circuit d'un système électrique ou électronique. Dans ce cas, il est très difficile d'observer la dégradation. Par conséquent, il n'est pas possible de mettre en place une maintenance conditionnelle, le préventif systématique ou le correctif sera envisagé.

Les défaillances par dérives

Ici, on voit progresser la dégradation, ce sont les phénomènes d'usure en mécanique, l'augmentation du frottement, ou l'augmentation de la valeur des résistances pour le système électrique. Ce type de défaillance se prête particulièrement bien aux techniques de surveillance utilisées en maintenance conditionnelle (ou prédictive). Par ailleurs, ces défaillances ont une probabilité d'apparition plus ou moins grande tout au long de la vie d'un matériel .

Caractéristiques de la courbe en baignoire

On distingue trois grandes périodes :

- a) **Les défaillances de jeunesse** Caractérisées par un taux de défaillance décroissant en fonction du temps, il visualise l'incidence des corrections apportée dans un premier temps aux "défauts de jeunesse" du produit (problème de conception ou de fabrication).
- b) **Les défaillances de maturité** On a un taux de défaillance qui se stabilise (sensiblement constant), le produit a atteint sa pleine maturité et ses défaillances sont la conséquence d'une mauvaise utilisation ou d'incidences (foudre, dommage électrostatique,...).
- c) **Les défaillances de vieillesse** Une remontée du taux de défaillance (taux de défaillance croissant) qui traduit l'usure et vieillissement du produit.

L'évolution du taux de défaillance $\lambda(t)$ se présente sous la forme d'une courbe en baignoire voir la (Fig2.3).

avec :

$\lambda(t)$: La probabilité d'avoir une défaillance du système ou de l'élément entre les instants t et $(t + dt)$ à condition que le système ait vécu jusqu'à t .

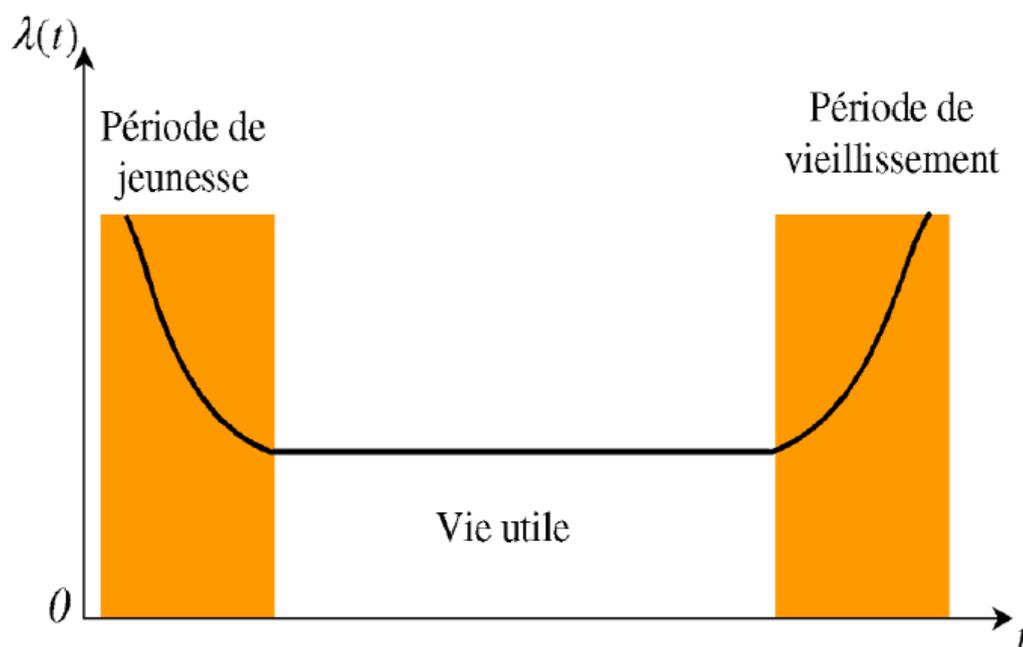


FIGURE 2.3 – Courbe en baignoire

2.4 Fiabilité des systèmes

Un système est tout assemblage de dispositifs en interaction. Ces derniers seront appelés éléments ou composants du système [15].

La fiabilité d'un système complexe est déterminée en fonction de la fiabilité de tous ses éléments, selon l'incidence de la défaillance d'un de ces composants sur l'état du système, on distingue trois configurations possibles :

2.4.1 Configuration en série

Un système est composé de n éléments supposés indépendants, durée de vie T_i , et de caractéristique $R_i(t)$, $h_i(t)$, $m_i(t)$ pour i variant de 1 à n . Il est dit en série si la durée de vie du système est définie par [6] :

$$T = \min\{T_i\} \quad (2.4)$$

Ce qui signifie qu'il tombe en panne dès qu'un des n éléments tombe en panne, les résultats concernant les caractéristiques de fiabilité sont les suivants :

- la fiabilité R est le produit des fiabilités.

$$P = (\min\{T_i\} > x) = P(T_1 > x, T_2 > x, \dots, T_n > x) = R_1(x) \times R_2(x) \times R_n(x) \quad (2.5)$$

- le taux de défaillance h est la somme des taux de défaillance donc supérieur à chacun des taux de défaillance des différents composants.

$$H = h_1 + h_2 + h_3 + \dots + h_n \quad (2.6)$$

- le temps moyen de bon fonctionnement m est inférieur à chacun des temps moyens de bon fonctionnement des composants :

$$m = \int_0^\infty \prod_{i=1}^n R_i(u) du \leq \int_0^\infty R_i(u) du \quad (2.7)$$

Avec la condition d'indépendance des $R_i(\mu)$.

2.4.2 Configuration en parallèle

Un système est composé de n éléments supposés indépendants, durée de vie T_i , et de caractéristique $R_i(t)$, $h_i(t)$, $m_i(t)$ pour i variant de 1 à n . Il est dit en parallèle si la durée de vie du système est définie par [6] :

$$T = \max\{T_i\} \quad (2.8)$$

Ainsi, il suffit qu'il reste au moins un composant en état de marche pour que le système fonctionne. Les caractéristiques de fiabilité sont les suivantes :

- la fonction de répartition $F = 1 - R$ est le produit des fonctions de répartition, la formule de fiabilité du système parallèle est :

$$R(t) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i(t)) \quad (2.9)$$

- le temps moyen de bon fonctionnement m est supérieur à chacun des temps moyens de bon fonctionnement.

$$m = \int_0^{\infty} [1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i(u))] du \geq \int_0^{\infty} [1 - (1 - R_i(u))] du \geq \int_0^{\infty} R_i(u) du \quad (2.10)$$

Le système parallèle est plus fiable que chacun des éléments qui le composent .

- h est inférieure à la somme des taux de défaillance. La formule complète du taux de défaillance s'écrit :

$$h(t) = \sum_{i=1}^n f_k \prod_k (1 - R_i) / [1 - \prod_{k=1}^n (1 - R_i)] \quad (2.11)$$

où f_k est la fonction densité du composant numéro k . et R_i est la fiabilité de l'élément i .

2.4.3 Système à configuration k parmi n (k/n)

Dans cette configuration, le système fonctionne si au moins k éléments parmi les n fonctionnent. Nous convenons de rajouter la notion (k/n) au système à configuration série précédant pour désigner celui de k parmi n [1] :

Le nombre d'éléments en fonctionnement suit alors une loi binomiale. La fonction de fiabilité du système est :

$$R(t) = \sum_k [\prod_{i \in A_k} R_i(t)] * [\prod_{i \notin A_k} (1 - R_i(t))] \quad (2.12)$$

Avec A_k tout arrangement de coupe minimale ($1, 2, \dots, k$) comprenant au moins m éléments ($m > 0$) en fonctionnement.

On constate que :

- Le système à configuration série est équivalent au système (n/n).
- Le système à configuration parallèle est équivalent au système ($1/n$).

2.4.4 Système à configuration k consécutif sur n (k/n)

Un système k consécutif sur n éléments sont disposés linéairement ou circulairement. Ce système tombe en panne si et seulement si au moins k composants consécutifs tombent en panne.

2.4.5 Système à redondance

L'étude des divers types de redondances nous conduit à distinguer trois grandes catégories :

Redondance active

Une redondance active est réalisée par la mise en parallèle d'éléments assurant les mêmes fonctions et travaillant en même temps. On a affaire à un système appelé «système parallèle» [13].

Redondance passive (stand-by)

Nous considérons un système dans le quel un seul élément est en service à la fois . Lorsqu'il tombe en panne un dispositif de commutation détecte la défaillance et effectue le branchement d'un élément de réserve. Si l'on ne tient pas compte, en première approximation, d'une panne éventuelle de ce dispositif annexe et si l'on admet que le système comprend $n - 1$ élément de réserve, on a [15].

La durée de vie T du système est :

$$T = T_1 + T_2 + T_3 + \dots + T_n \quad (2.13)$$

Où le symbole $*$ désigne le produit de convolution de deux fonctions.

Pour la durée de vie moyenne, on trouve

$$r = E(T) = \sum_{i=1}^n E(T_i) \quad (2.14)$$

Redondance majoritaire

Cette redondance concerne surtout des signaux de grande sécurité, et, en particulier, les équipements électroniques. Le signal de sortie est celui de la majorité des composants[13].

2.5 Analyse de Pareto

Dans un service d'entretien, les tâches sont nombreuses et les équipes parfois sont réduites. De plus, les technologie les plus évoluées en matière de maintenance coûtent cher, et ne doivent pas être appliquées sans discernement. Il convient, par conséquent, de s'organiser de façon efficace et rationnelle. L'analyse ABC permet d'y remédier. Ainsi, un classement des coûts par rapport aux types de pannes donne des priorités sur les interventions à mener [13].

La méthodologie consiste à classer les pannes par ordre décroissant de coûts, chaque panne se rapportant à une machine ou rubrique. Puis à établir un graphique (voir fig(2.4)) faisant correspondre les pourcentages de coûts cumulés aux pourcentages de type de pannes cumulés, on distingue trois zones qui sont :

Zone A : dans la majorité des cas, on constat qu'environ 20% des pannes représentent 80% des coûts, ceci constitue la zone A, qui est dite zone de priorité.

Zone B : dans cette tranche, les 30% de pannes suivantes ne coûtent que 15% supplémentaire.

Zone C : en fin, dans cette tranche, les 50% de pannes ne reviennent qu'à 5% des coûts.

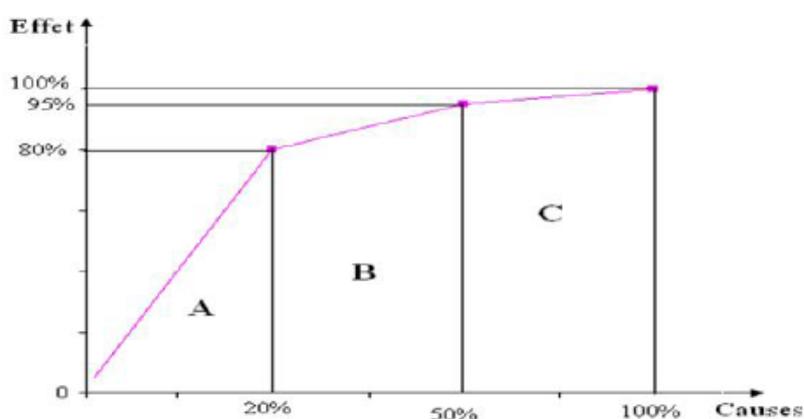


FIGURE 2.4 – Diagramme de Pareto

2.6 La maintenabilité

Quand un système ne fonctionne pas d'une manière satisfaisante, la réparation est normalement effectuée pour détecter et corriger l'anomalie. Le système est restauré à l'efficacité opérationnelle en faisant un réglage ou en substituant un composant.

La maintenabilité c'est l'aptitude d'une entité à être maintenue ou établie dans un état dans lequel elle peut accomplir une fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données avec des procédures et des moyens prescrits [15].

Elle joue un rôle très important sur le plan économique, technologique et humain. Il ne s'agit plus, de se limiter à l'entretien, de subir la panne, il faut au contraire parvenir à la maîtriser, la prévenir et pour cela agir plus en amont possible en tenant compte des contraintes ou facteurs influant sur la bonne santé d'un système.

La maintenabilité permet de réduire la durée des pannes et leurs coûts. Elle caractérise la facilité à remettre ou à maintenir un bien en bon état de fonctionnement.

2.6.1 Indice de maintenabilité

Fonction de maintenabilité d'un dispositif

C'est une fonction non décroissante de t , elle est donnée par :

$$M(t)^1 = P(\text{la maintenance d'une entité } E \text{ est achevée au temps } t) \quad (2.15)$$

Le taux de réparation d'un dispositif $\mu(t)$

C'est la densité de probabilité pour qu'il soit remis en service entre les instant t et $t + dt$ sachant qu'il était en panne à l'instant t .

D'où

$$\mu(t) = \frac{1}{1 - M(t)} \frac{\partial M(t)}{\partial t} = \frac{g(t)}{1 - M(t)} \quad (2.16)$$

avec

$$g(t) = \frac{\partial M(t)}{\partial t} \quad (2.17)$$

$g(t)$ est la densité de probabilité de réparation, elle est généralement ajustée par une distribution exponentielle ou log-normale.

Moyenne des temps de réparation

Une fonction importante souvent utilisée dans les études de maintenabilité est le temps de réparation $MTTR$ ou le temps moyen d'arrêt. Le $MTTR$ est la valeur prévue de temps de réparation.

$$MTTR = \int_0^{\infty} tg(t)d(t) = \int_0^{\infty} [1 - M(t)]^2 dt \quad (2.18)$$

2.7 La disponibilité

La disponibilité $D(t)$ d'un système est la probabilité qu'il soit non défaillant à l'instant t , calculée sous l'hypothèse qu'il est en état de fonctionnement à l'instant $t = 0$.

Les deux probabilités $D(t)$ et $R(t)$ se confondent dans le cas des systèmes non réparables [13].

Contrairement à la fiabilité, la disponibilité $D(t)$ tend généralement vers une limite D non nulle lorsque t tend vers l'infini.

1. Fonction de maintenabilité
2. Fonction d'immaintenabilité

Nous décomposons maintenant l'ensemble des états du système en deux sous-ensembles

$$S = S_F + S_D \quad (2.19)$$

Où S_F comprend tous les états pour lesquels le système fonctionne et S_D tous les états défectueux du système.

Alors

$$D(t) = \sum_{k \in S_F} P_k(t) \quad (2.20)$$

Où $P_k(t)$ est la probabilité que le système soit dans l'état k à l'instant t . Pour des raisons pratiques, on se limitera souvent au calcul de la disponibilité en régime stationnaire.

$$D = \lim_{t \rightarrow \infty} D(t) \quad (2.21)$$

Soit

$$X(t) = \begin{cases} 1, & \text{si l'élément fonctionne à la date } t; \\ 0, & \text{si l'élément est en état de réparation.} \end{cases}$$

- On appelle disponibilité à la date t , la probabilité pour que l'élément soit en vie à cette date.

$$D(t) = P(X(t) = 1) = E(X(t)) \quad (2.22)$$

- On appelle disponibilité moyenne au cours de la période $(0, T)$, la quantité

$$d(T) = \frac{1}{T} \int_0^T D(t) dt \quad (2.23)$$

En effet, soit $U_0(T)$ la durée totale au cours de la période $(0, T)$ pendant laquelle l'élément fonctionne ;

$$U_0(T) = \int_0^T X(t) dt \quad (2.24)$$

Dans ce cas,

$$\frac{1}{T} E(U_0) = \frac{1}{T} E\left(\int_0^T X(t) dt\right) = \frac{1}{T} \int_0^T E(X(t)) dt = \frac{1}{T} \int_0^T D(t) dt \quad (2.25)$$

La disponibilité moyenne (si elle existe) vaut

$$d = \lim_{T \rightarrow \infty} d(T) \quad (2.26)$$

Théorème 1 .[3]

Si

$$\lim_{t \rightarrow \infty} D(t) = D \quad (2.27)$$

existe alors $d = D$.

Preuve : [3].

Théorème 2 .[3]

Soit $L(t) = P(w_i + w'_i < t)$ et

$$H_2(t) = \sum_{n=1}^{\infty} L^{(n)}(t) \quad (2.28)$$

où $L^{(n)}(t)$ est le n -produit de convolution de $L(t)$

a) La disponibilité à la date t s'exprime sous la forme,

$$D(t) = R(t) + \int_0^t R(t-x) dH_2(x) \quad (2.29)$$

b) La disponibilité limite vaut,

$$D = \lim_{t \rightarrow \infty} D(t) = \frac{E(w_i)}{E(w_i) + E(w'_i)} = \frac{T_0}{T_0 + T'_0} \quad (2.30)$$

Preuve : [3],

2.7.1 Etude simplifiée de la disponibilité

Soit un système de production fonctionnant en série. L'arrêt d'une machine entraîne celui de la ligne. Chaque machine est caractérisée par un taux λ_i de défaillance et un taux de réparation μ_i , on suppose que les lois des pannes et des réparation sont des lois exponentielles [16].

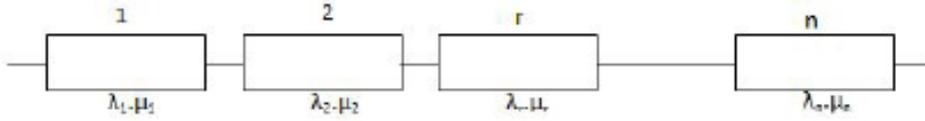


FIGURE 2.5 – Système en série

On écrit :

Le taux global de défaillance $\langle \lambda_s \rangle$ est égal à [13] :

$$\lambda_s = \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad (2.31)$$

D'autre part :

$$MTTR_s = \sum_{i=1}^n \frac{MTTR_i * \lambda_i}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} \quad (2.32)$$

Chaque $MTTR$ est pondéré par son taux de défaillance.
d'où.

$$MTTR_s = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{\lambda_i}{\mu_i}}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} \quad (2.33)$$

D'autre part.

$$D_s = \frac{\mu_s}{\mu_s + \lambda_s} \quad (2.34)$$

On déduit :

$$D_s = \frac{\frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i}{\sum_{i=1}^n (\frac{\lambda_i}{\mu_i})}}{\frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i}{\sum_{i=1}^n (\frac{\lambda_i}{\mu_i})} + \sum_{i=1}^n \lambda_i} \quad (2.35)$$

puis :

$$D_s = \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^n \frac{\lambda_i}{\mu_i}} = \frac{1}{1 + n - n \sum_{i=1}^n \frac{\lambda_i}{\mu_i}} = \frac{1}{-(n-1) + [\frac{\lambda_1}{\mu_1} + 1 + \frac{\lambda_2}{\mu_2} + 1 + \dots + \frac{\lambda_n}{\mu_n} + 1]} = \frac{1}{-(n-1) + [\frac{\lambda_1 + \mu_1}{\mu_1} + \frac{\lambda_2 + \mu_2}{\mu_2} + \dots + \frac{\lambda_n + \mu_n}{\mu_n}]}$$

Enfin,

$$D_s = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{D_i} - (n-1)} \quad (2.36)$$

Conclusion

Au cours de ce chapitre, on a défini la fiabilité d'un système. Il est important de connaître les grandeurs de fiabilité et les mécanismes de défaillance pour pouvoir évaluer la disponibilité et l'efficacité d'un système. Puis, on a défini la maintenabilité et la disponibilité qui sont deux concepts liés à l'efficacité du système.

Méthodes de traitement statistique des données

3.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons les différentes lois statistiques utilisées en fiabilité, à savoir les lois paramétriques (Exponentielle, Weibull, et Log-normale).

Ensuite, nous exposons les différentes méthodes d'estimation des paramètres et les différents tests d'ajustement, les processus stochastiques ainsi que les chaines de Markov à temps discret.

3.2 Modèles Paramétriques de la Fiabilité

3.2.1 Loi Exponentielle

La loi exponentielle est la plus couramment utilisée en fiabilité électronique pour décrire la période durant laquelle le taux de défaillance des équipements est considéré comme constant. Elle décrit le temps écoulé jusqu'à une défaillance, ou l'intervalle de temps entre deux défaillances [13].

Elle est définie par le taux de défaillance λ (densité de probabilité conditionnelle d'apparition de défaillances).

Fonction de densité

$$f(x) = \lambda e^{-\lambda x} \tag{3.1}$$

avec $0 < x < +\infty$, λ est le paramètre de la loi exponentielle.

Caractéristiques

- **Espérance mathématique**

$$E(x) = \frac{1}{\lambda} \quad (3.2)$$

- **Variance**

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{\lambda^2} \quad (3.3)$$

- **Taux de défaillance**

$$\lambda(t) = \lambda \quad (3.4)$$

Fonction de répartition

$$F(x) = \int_0^x \lambda e^{-\lambda t} dt = [-e^{-\lambda t}]_0^x = 1 - e^{-\lambda x} \quad (3.5)$$

Fonction de fiabilité

$$R(t) = 1 - F(x) = e^{-\lambda t} \quad (3.6)$$

avec $0 < x < +\infty$, $\lambda > 0$

Présentation graphique

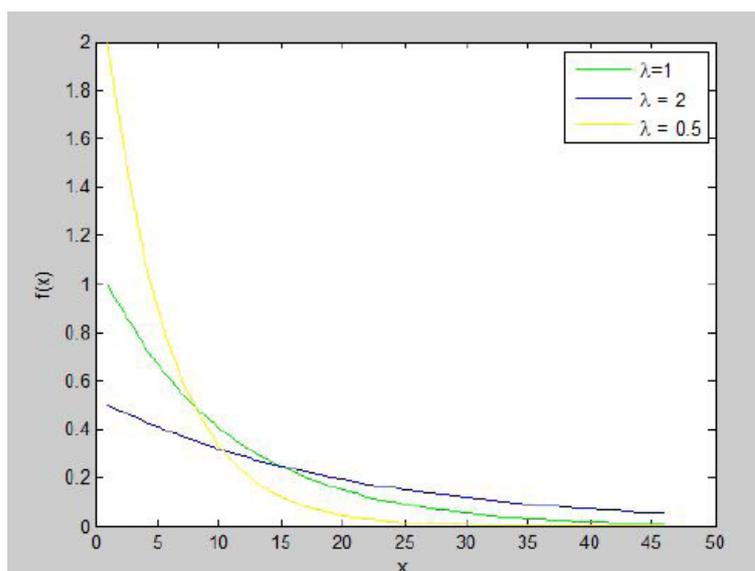


FIGURE 3.1 – Densité de probabilité de la loi Exponentielle

3.2.2 Loi Weibull

La loi Weibull est utilisée en fiabilité, en particulier dans le domaine de la mécanique. Cette loi à l'avantage d'être souple et de pouvoir s'ajuster à différents résultats d'expérimentations [14].

Fonction de densité

$$f(x) = \frac{\beta}{\eta} \left[\frac{x - \gamma}{\eta} \right]^{\beta-1} e^{-\left[\frac{x - \gamma}{\eta} \right]^\beta} \quad (3.7)$$

avec $(x - \gamma) > 0$

β : Paramètre de forme (sans unités).

η : Paramètre d'échelle (unité de temps).

γ : Paramètre de position (unité de temps).

Fonction de répartition

$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x - \gamma}{\eta} \right)^\beta} \quad (3.8)$$

Fonction de fiabilité

$$R(x) = 1 - F(x) = e^{-\left(\frac{x - \gamma}{\eta} \right)^\beta} \quad (3.9)$$

Caractéristiques

- **Espérance mathématique**

$$E(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} x f(x) dx = \gamma + \eta * \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (3.10)$$

avec $\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$ est la fonction Gamma.

- **Variance**

$$V(X) = E(X^2) - E^2(X) = \eta^2 \left[\Gamma\left(1 + \frac{2}{\beta}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \right] \quad (3.11)$$

- **Taux de défaillance**

$$\lambda(x) = \frac{f(x)}{R(x)} = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{x - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \quad (3.12)$$

Présentation graphique

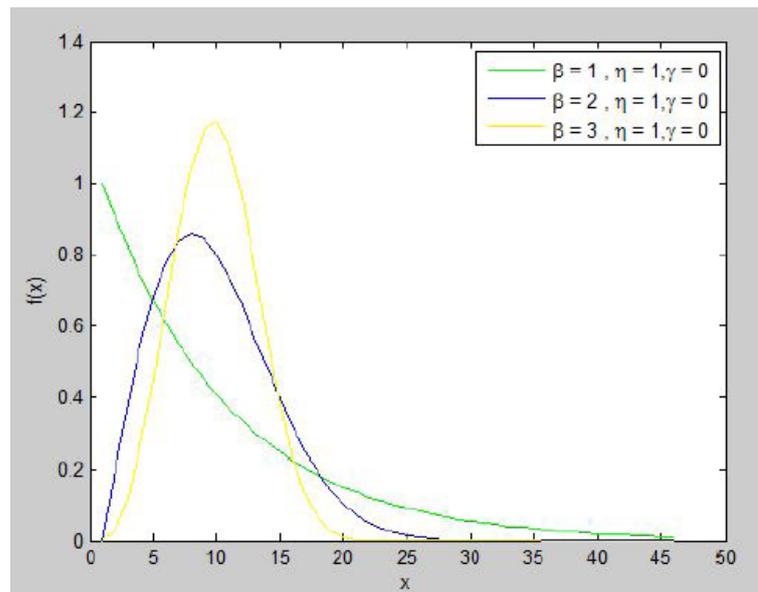


FIGURE 3.2 – Densité de probabilité de la loi Weibull

3.2.3 Loi Log-Normale

Cette loi est aussi appelée loi de *GALTON*. Soit X une variable aléatoire continue positive, si la variable $Y = \log(X)$ est distribuée selon une loi normale, la variable X suit une loi log-normale de paramètre $N(m, \sigma)$ [14].

De nombreux phénomènes de mortalité ou de durées de réparation sont distribués selon des lois log-normales.

$$f(X) = \begin{cases} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \frac{1}{x} e^{-\frac{(\log x - m)^2}{2\sigma^2}}, & \text{pour } x \geq 0; \\ 0, & \text{pour } x < 0. \end{cases}$$

Caractéristiques

- **Espérance mathématique**

$$E(x) = e^{\left(\frac{m+\sigma^2}{2}\right)} \quad (3.13)$$

- **Variance**

$$\sigma_X^2 = e^{(2m+\sigma^2)} * [e^{\sigma^2} - 1] \quad (3.14)$$

Présentation graphique

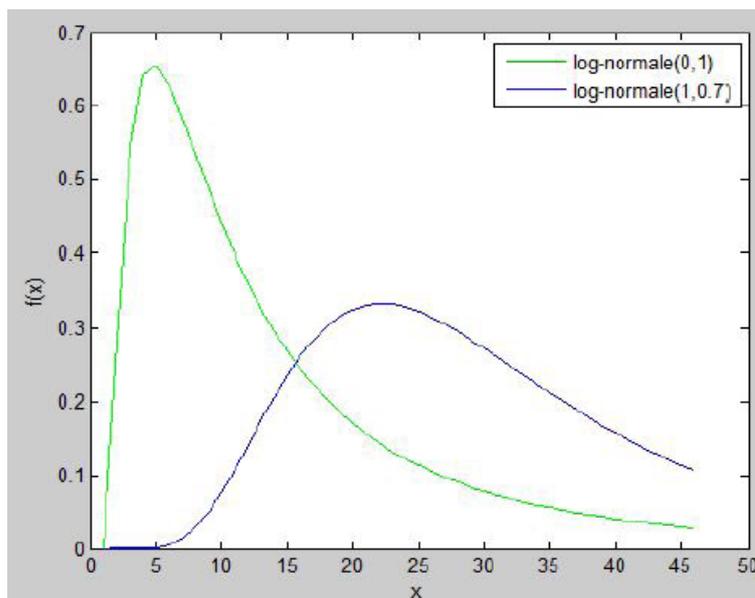


FIGURE 3.3 – Densité de probabilité de la loi Log-Normale

3.3 Estimation des paramètres des lois

L'un des problèmes les plus importants en statistique est le suivant :

On désire étudier un caractère d'une population dans la loi est $f(x, \theta)$ ou la forme de f est connue mais dont on ignore la valeur du paramètre θ . Il suffit donc de trouver la valeur de θ pour que la densité f soit totalement déterminée. Pour cela, on dispose d'un n-échantillon issu de X de loi $f(x, \theta)$ on doit construire une statistique $\hat{\theta}$ en fonction de l'échantillon [7].

$$\hat{\theta} = \varphi(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (3.15)$$

$\hat{\theta}$ doit être de θ et qui détermine au mieux sa vraie valeur.

Nous exposons dans la suite l'une des méthodes d'estimation.

3.3.1 Méthode du Maximum de Vraisemblance

Si x_1, x_2, \dots, x_n représentent un échantillon de variable aléatoire de la distribution $f(x, \theta)$, la fonction de vraisemblance L de l'échantillon aléatoire est la densité de probabilité jointe de x_1, x_2, \dots, x_n . ainsi , dans le cas de n observations x_i , dont la densité de probabilité est $f(x, \theta)$, la vraisemblance sera :

$$L(\theta; x_1, x_2, \dots, x_n) = \prod_{i=1}^n f(x_i, \theta) \quad (3.16)$$

On définit l'estimateur du maximum de vraisemblance de $\hat{\theta}$, comme la valeur $\hat{\theta}$ telle que :

$$L(\hat{\theta}; x_1, x_2, \dots, x_n) \geq L(\theta; x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (3.17)$$

S'il existe un optimum et si L est différentiable, il résulte qu'à l'optimum :

$$\frac{\partial L}{\partial \theta}(x, \theta) = 0 \quad (3.18)$$

La solution de l'équation (3.18) nous donne l'estimateur de θ

$$\frac{\partial}{\partial \theta} \log L(x, \theta) = 0 \quad (3.19)$$

3.4 Tests d'ajustement

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 [2]. Il s'agit de tester :

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

Parmi les tests classiques connus, on cite :

3.4.1 Test de Khi-Deux

Soit X_1, X_2, \dots, X_n un n-échantillon issu d'une variable aléatoire X . Pour appliquer ce test, il faut d'abord partager le domaine de la variable X en r classes c_1, c_2, \dots, c_r . r est choisi tel que $r = \sqrt{n}$ et ce test est basé sur la statistique [10] :

$$K_n^2 = \sum_{i=1}^r \frac{(n_i - np_i)^2}{np_i} \rightarrow \chi_{(r-1)}^2 \quad (3.20)$$

où

n_i : l'effectif de la classe c_i

p_i : la probabilité de se trouver dans la classe c_i

np_i : l'effet théorique de la classe c_i

K_n^2 suit asymptotiquement une loi de χ^2 à ν degrés de liberté avec $\nu = r - k - 1$. k étant le nombre de paramètres à estimer pour le modèle théorique.

Règle de décision :

- si $K_n^2 < \chi_{(r-k, \alpha)}^2$ on accepte l'ajustement de la variable aléatoire X par la loi choisie.
- si $K_n^2 > \chi_{(r-k, \alpha)}^2$ on rejette l'ajustement de la variable aléatoire X par la loi choisie.

3.4.2 Test de Kolmogorov-Smirnov

Soit X_1, X_2, \dots, X_n un n-échantillon issu d'une variable aléatoire X et soit F_n sa fonction de répartition. Notre but est d'essayer d'ajuster notre échantillon par une loi empirique de fonction de répartition $F_0(x)$ [10].

Le principe de ce test consiste à mesurer l'écart point par point entre ces deux fonctions.

Ce test est basé sur la statistique :

$$D_n = \text{Max}|F_n(X) - F_0(X)| \quad (3.21)$$

on écrit

$$P[\text{Max}|F_n(X) - F_0(X)| < d_{(n,\alpha)}] = 1 - \alpha \quad (3.22)$$

α étant le niveau de signification.

Règle de décision :

- si $D_n < d_{(n,\alpha)}$ on accepte l'ajustement de la variable aléatoire X par la loi choisie.
- si $D_n > d_{(n,\alpha)}$ on rejette l'ajustement de la variable aléatoire X par la loi choisie.

3.5 Processus stochastique

3.5.1 Définition et classification

Un processus stochastique $X = (X_t)$ est une famille de variables aléatoires $\{X_t\}$ indexée par un ensemble T . On note par E l'espace des états où les variables aléatoires prennent leurs valeurs [4]. La classification des processus aléatoires se fait selon [9] :

- La nature des espaces des états E .
- L'ensemble des indices T .
- Relation de dépendance entre les variables aléatoires X_t .

Espace des états

C'est l'espace dans lequel se trouvent les valeurs possibles de chaque X_t .

$E = \{0, 1, 2, \dots\}$; pour les processus stochastiques à valeurs entières.

$E = [0, +\infty[$ ou $]-\infty, +\infty[$; pour les processus stochastiques à valeurs réelles.

Ensemble des indices T

Soit T l'ensemble des indices du processus stochastique.

$T = \{0, 1, 2, \dots\}$; on dira que X_t est un processus stochastique discret.

$T =]0, +\infty[$; on dira que X_t est un processus stochastique permanent.

Relation de dépendance

Les caractéristiques distinctives d'un processus aléatoire X_t sont les relations qui existent entre les variables aléatoires $X_t, t \in T$.

Ces relations sont caractérisées en donnant la fonction de répartition croisée à chaque famille $X_{t_1}, X_{t_2}, \dots, X_{t_n}$ du processus.

3.5.2 Processus à accroissements indépendants

Si pour toute famille d'indices t_1, t_2, \dots, t_n telle que

$$t_1 < t_2 < \dots < t_n$$

les variables aléatoires

$$X_{t_n} - X_{t_{n-1}}; X_{t_{n-1}} - X_{t_{n-2}}; \dots; X_{t_2} - X_{t_1}$$

sont indépendantes, le processus est dit à accroissement indépendants [9].

3.5.3 Processus Markoviens

Définition

Considérons une famille de variables aléatoires $\{X_t\}$, dont le paramètre appartient à un intervalle continu, fini ou infini [9].

Alors, $\{X_t\}$ est un processus Markovien si l'équation :

$$\mathbb{P}\{X_t \leq x | X_{t_1} = y_1, X_{t_2} = y_2, \dots, X_{t_n} = y_n\} = \mathbb{P}(X_t \leq x | X_{t_n} = y_n)$$

est vérifiée pour tout $t_1 < t_2 < \dots < t_n < t$ et pour toutes les valeurs admissibles des variables aléatoires.

La fonction $\mathbb{P}(s, y; t, x) = \mathbb{P}(X_t \leq x | X_s = y)$ est appelée probabilité de transition.

Processus de comptage

Considérons le nombre d'événements $N(t)$ se produisant dans l'intervalle de temps $[0, t]$ et on cherche à déterminer la distribution de cette variable aléatoire discrète. Le processus $\{N(t), t \geq 0\}$ est appelé processus de comptage [9].

Processus de Poisson

Un processus de comptage $\{N(t), t \geq 0\}$ est un processus de Poisson si il satisfait les trois conditions suivantes [4] :

- Le processus $N(t)$ est homogène dans le temps, Ceci veut dire que la probabilité de nombre d'événements survenants dans un intervalle de temps $[t, t + s]$ ne dépend que de sa longueur s , non pas de sa position par rapport à l'axe temporel.
- Le processus $N(t)$ est à accroissements indépendants, ce qui signifie que pour tout système d'intervalles disjoints, les nombres d'événements s'y produisant sont des variables aléatoires indépendantes.
- La probabilité que deux évènements ou plus se produisent dans un petit intervalle de longueur Δt est négligeable par rapport à la probabilité qu'il n'y ait qu'un seul évènement.

Processus de naissance

Un processus de naissance est une généralisation du processus de Poisson, il s'agit de faire dépendre la probabilité de réalisation d'un évènement à un instant donné, du nombre d'événements déjà réalisés. On considère une suite de nombres positifs λ_k (taux de natalité). On définit un processus de naissance comme étant un processus de Markov satisfaisant le postulat suivant [9] :

1. $\mathbb{P}\{X_{t+\Delta t} - X_t = 1 | X_t = k\} = \lambda_k \Delta t + \Theta(\Delta t)$
2. $\mathbb{P}\{X_{t+\Delta t} - X_t = 0 | X_t = k\} = 1 - \lambda_k \Delta t + \Theta(\Delta t)$
3. $X_0 = 0$
4. $\mathbb{P}\{X_{t+\Delta t} - X_t < 0 | X_t = k\} = 0 ; k \geq 0$

Processus de mort

Un processus de mort se distingue d'un processus de naissance, simplement par le fait que le taux de natalité λ_t est remplacé par un taux de mortalité μ_k ; il est donc caractérisé par les hypothèses suivants [9] :

1. $\mathbb{P}\{X_{t+\Delta t} - X_t = -1 | X_t = k\} = \mu_k \Delta t + \Theta(\Delta t)$
2. $\mathbb{P}\{X_{t+\Delta t} - X_t = 0 | X_t = k\} = 1 - \mu_k \Delta t + \Theta(\Delta t)$
3. $X_0 = 0$
4. $\mathbb{P}\{X_{t+\Delta t} - X_t > 0 | X_t = k\} = 0 ; k \geq 0$

Processus de naissance et de mort

On dit qu'un processus est un processus de naissance et de mort s'il vérifie les conditions suivantes [9] :

1. $\mathbb{P}_{i,i+1}(\Delta t) = \lambda_i \Delta t + \Theta(\Delta t) \quad i \geq 0$
2. $\mathbb{P}_{i,i-1}(\Delta t) = \mu_i \Delta t + \Theta(\Delta t) \quad i \geq 1$
3. $\mathbb{P}_{i,i}(\Delta t) = -(\mu_i + \lambda_i) \Delta t + \Theta(\Delta t) \quad i \geq 0$
4. $\mathbb{P}_{i,j}(0) = \delta_{ij}$
5. $\mu_0 = 0, \lambda_0 > 0, \mu_i; \lambda_i > 0, i > 0$

Les paramètres λ_i et μ_i sont respectivement appelés taux de naissance et taux de décès.

3.5.4 Processus stationnaires

Il est intéressant de savoir si un processus va stabiliser ou non sa distribution de probabilité, si cette distribution stable est atteinte au bout d'un temps fini ou non et si elle dépend ou non de l'état initial du processus [9];

3.5.5 Processus récurrents

Ce sont des processus dans lesquels on peut trouver certains points de régénération, à partir desquels le comportement du processus ne dépend plus du passé (c'est le cas des processus de Markov) [9]

3.6 Les chaînes de Markov à temps discret

Une suite de variable aléatoires X_n qui satisfait la condition suivante est appelée chaîne de Markov à temps discret

$$P_{ij} = P(X_{n+1} = j | X_n = i) \quad (i, j \in E)$$

L'état présent du processus résume toute l'information utile pour connaître son évolution future.

$$P(X_{n+1} = j | X_n = i, X_{n-1} = i-1, X_0 = i_0) = P(X_{n+1} = j | X_n = i) \quad \forall n \geq 0$$

3.6.1 Matrice de transition

On peut présenter les probabilités conditionnelles P_{ij} sous forme matricielle [15][9].

$$P = \begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & \cdot & \cdot & \cdot & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & \cdot & \cdot & \cdot & P_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ P_{n1} & P_{n2} & \cdot & \cdot & \cdot & P_{nn} \end{pmatrix}$$

La matrice de probabilité de transition ou matrice de transitions $P = (P_{ij})$ $i, j = 1 \dots n$ possède les propriétés suivantes :

- tous les temps sont positifs ou nuls.
- la somme des termes de chaque ligne égale a 1.

3.6.2 Représentation graphique (graphe de transitions)

On représente une chaîne de Markov sous forme d'un graphe orienté, on associe a chaque état un nœud et a chaque transition possible entre deux états un arc pondéré par la probabilité de transition [4].

3.6.3 Propriétés fondamentales

Probabilités de transition à n étapes

Soit $P_{ij}(n)$ la probabilité qu'une chaîne de Markov passe de l'état i à l'état j en n transition ou étapes

$$P_{ij}^{(n)} = P(X_n = j | X_0 = i) = P(X_{n+k} = j | X_k = i) \quad n \geq 1, k \geq 1$$

où $P_{ij}^1 = p_{ij}$

Loi de probabilité de X_n

Les probabilités des états

$$\pi_k(n) = P(X_n = k) \quad (n = 0, 1, 2 \dots \text{ et } k = 1, 2 \dots)$$

Pour calculer les $\pi(n)$ il faut connaître soit la valeur prise par X_0 , c'est à dire l'état initial du processus, soit sa distribution initiale $\pi(0)$.

3.6.4 Classification des états d'une chaîne de Markov

Etats accessibles

Un état j est dit accessible de i lorsque :

$$\exists n \geq 1, P_{ij}(n) > 0$$

Etats communicants

Deux états i et j sont dits communiquant si chacun est accessible depuis l'autre [4].

3.6.5 Distribution irréductible

Une chaîne de Markov est dite irréductible si elle ne contient aucun sous ensemble fermé autre que celui de tous ses états, dans une chaîne irréductible tous les états sont communicants, tous les états sont de même nature [9].

3.6.6 Distribution stationnaire

Une distribution de probabilité discrète $\pi = (\pi_1, \pi_2, \dots)$ est appelée stationnaire par rapport à une matrice stochastique P si $\pi P = \pi$.

Pour calculer les composantes d'un vecteur ligne stationnaire $\pi = (\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n)$ d'une chaîne de Markov finie, on a les deux approches suivantes [15] :

- on résout le système d'équations linéaires formé de :

$$\pi = \pi P, \text{ c'est à dire } \pi(P - I) = 0$$

Avec la condition de normalisation.

$$\sum_{k \in E} \pi_k = 1 \quad (3.23)$$

- Dans le graphe des transitions, on interprète les probabilités π_k comme des masses associées aux états ($k \in E$) et les produits $\pi_k P_{kj}$ comme des flux de masses entre les deux états k et j . la répartition des masses π_k est stationnaire si, lors d'une transition, le flux d'entrée est égale au flux de sortie pour chacun des états. Ainsi, on trouve les équation d'états (de balance) suivantes :

$$\sum_{k \neq n} P_k \lambda_{kn} = P_n \sum_{j \neq n} \lambda_{nj} \quad (3.24)$$

3.6.7 Existence et unicité des distributions stationnaires

Pour l'existence de la distribution stationnaire, on a le théorème suivant :

Théorème 3 [15] *Pour une chaîne de Markov finie il existe toujours au moins une distribution stationnaire, ce qui n'est plus nécessairement vrai si l'espace des états est infini.*

Pour l'unicité, on a le théorème suivant :

Théorème 4 [15] *Une chaîne de Markov finie admet une unique distribution stationnaire si et seulement si elle comprend une seule classe réccurente.*

Conclusion

Au cours de ce chapitre, on a défini les différentes lois statistiques utilisées en fiabilité, et les différentes méthodes d'estimation et de validation des modèles paramétriques qui seront utilisés dans le traitement statistique des données. Puis, pour pouvoir modéliser le fonctionnement du système on a défini les chaînes de Markov à temps discret.

Analyse statistique des données

Introduction

Les données du retour d'expérience constituent une source extrêmement précieuse d'information sur la fiabilité, la maintenabilité et la disponibilité. Mais on ne pourra pas compter sur les données disponibles que dans la mesure où l'on aura étudié et soigneusement réalisé la collecte des informations à la source.

L'analyse statistique des données collectées au sein de l'entreprise nous a permis d'ajuster les lois de fiabilité par le modèles paramétriques, ainsi que l'ajustement des lois de maintenabilité .

4.1 Collecte des données

Dans le cadre de notre travail, le choix de la méthode dépend de la stratégie de collecte des données, du type de variable, et de la précision souhaitée, du point de collecte et des compétences des différents services pouvant les fournir. Les relations qui existent entre une variable, sa provenance, et les méthodes concrètement utilisées pour sa collecte peuvent aider à choisir la méthode appropriée. Nous avons considéré les données pour la période allant du 05/05/1981 au 15/04/2018.

Lors de la collecte, nous avons consulté plusieurs sources :

- Registre de suivi des opérations de maintenance au niveau du département maintenance.

Ces sources sont disponibles depuis l'installation du réseau en 1980, et les informations collectées concernent :

- Les instants de défaillance des équipements.
- Les dates de remise en service.
- Les durées d'intervention (réparation).

4.2 Choix des équipements à étudier

Vu le nombre des équipements du réseau, qui est constitué principalement des pompes, des unités de stockage et de dosage d'émulseur et autre équipements (Nourrice, vannes de sectionnement, circuit de pré mélange, circuit de refroidissement) on a constaté qu'une analyse de Pareto n'est pas nécessaire pour définir les éléments critiques du réseau, donc en se basant uniquement sur le nombre de pannes on a fait ressorti les équipements critiques qui sont donnés dans le tableau (4.1) :

Equipements	Désignation
V140-10-01	Pompe1
V140-10-02	Pompe2
V645-7-01	Pompe3
V645-7-02	Pompe4
V645-7-03	Pompe5
V645-7-04	Pompe6

TABLE 4.1 – Les équipements à étudier.

4.3 Analyse de la fiabilité des équipements

4.3.1 Modélisation paramétrique de la fiabilité des équipements

Pour notre étude, cette démarche commence par une hypothèse que la variable aléatoire X : "durée de vie" obéit à un modèle d'usage courant, celui de Weibull, qui permet de prendre compte des différentes formes de la fonction taux de défaillance ; ou une distribution exponentielle qui est utilisée à chaque fois qu'il s'agit de modéliser une durée de vie associée à un processus de défaillance sans mémoire, c'est-à-dire, un processus dans lequel le nombre de défaillance sur un intervalle du temps est indépendant du choix de l'intervalle.

L'estimation des paramètres de chaque modèle a été réalisée par la méthode de maximum de vraisemblance à l'aide du logiciel de statistique EasyFit. EasyFit est à la fois un logiciel et un langage qui permet d'appliquer les techniques d'ajustement avec les lois paramétriques. Il permet de valider les modèles obtenus grâce aux tests classiques d'adéquation comme le test de «Kolmogorov-Smirnov» et «Khi-Deux» .

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau (4.2)

Il convient de noter que la variable à ajuster est le temps de bon fonctionnement (TBF) et que les données prises sont complètes car on dispose d'un nombre suffisant de données.

Equipement	n	Loi ajustée	Paramètres de la loi estimés	K.S	
				D_n	$D(n, 0.05)$
V140-10-01	49	Exponentielle	$\lambda = 0.00662$	0.12473	0.19028
		Weibull	$\beta = 0.79294, \eta = 131.51$	0.08169	0.19028
V140-10-02	37	Exponentielle	$\lambda = 0.00364$	0.14633	0.21826
		Weibull	$\beta = 1.1187, \eta = 258.42$	0.14114	0.21826
V645-7-01	59	Exponentielle	$\lambda = 0.00546$	0.11721	0.17373
		Weibull	$\beta = 0.85562, \eta = 166.91$	0.08041	0.17373
V645-7-02	22	Exponentielle	$\lambda = 0.00307$	0.18915	0.28087
		Weibull	$\beta = 0.84445, \eta = 358.64$	0.20044	0.28087
V645-7-03	34	Exponentielle	$\lambda = 0.00334$	0.20609	0.22743
		Weibull	$\beta = 1.2086, \eta = 343.29$	0.1295	0.22743
V645-7-04	13	Exponentielle	$\lambda = 0.00346$	0.1301	0.36143
		Weibull	$\beta = 0.74712, \eta = 305.6$	0.19824	0.36143

TABLE 4.2 – Résultats de l’ajustement des temps de bon fonctionnement

Où

n : Taille de l’échantillon.

β : Paramètre de forme de la loi de Weibull.

η : Paramètre d’échelle de la loi de Weibull.

D_n : Statistique empirique du test de Kolmogorov-Smirnov.

$D_{(n,0.05)}$: Statistique tabulé de test Kolmogorov-Smirnov avec un seuil de signification égal à 0.05.

Les résultats obtenus montrent que le modèle de Weibull à deux paramètres, ainsi que le modèle Exponentiel sont acceptés pour un niveau de signification $\alpha = 0.05$ pour tous les équipements.

4.3.2 Indices de fiabilité

On peut comparer la fiabilité des équipements en comparant leurs temps moyens de bon fonctionnement (MUT). On dira qu’un système est plus fiable qu’un autre si son MUT est plus grand.

Le tableau suivant présente, le classement décroissant des équipements par leur MUT.

Équipement	Paramètre de la loi exp estimée	MUT(j)
V645-7-02	$\lambda = 0.00307$	325.7329
V645-7-03	$\lambda = 0.00334$	299.4012
V645-7-04	$\lambda = 0.00346$	289.0173
V140-10-02	$\lambda = 0.00364$	274.7253
V645-7-01	$\lambda = 0.00546$	183.1502
V140-10-01	$\lambda = 0.00662$	151.0574

TABLE 4.3 – Résultats de calcul de la MUT des équipements

4.4 Modélisation de la maintenabilité

Pour la modélisation de la maintenabilité, nous avons utilisé les durées d'intervention qui représentent les temps de réparation des pannes (TTR).

Pour la validation des modèles ajustant ces lois de maintenabilité avec le logiciel EasyFit, nous avons utilisé le test de Khi-Deux. Le tableau suivant résume les résultats de la modélisation.

Équipement	n	Loi ajustée	Paramètres de la loi estimés	Khi-Deux χ^2	
				E	e
V140-10-01	49	Exponentielle	$\lambda = 0.30061$	10.969	11.07 $dl=5$
		Log-normal	$\mu = 0.98218, \sigma = 0.67662$	7.7396	9.4877 $dl=4$
V140-10-02	37	Exponentielle	$\lambda = 0.31897$	7.7537	9.4877 $dl=4$
		Log-normal	$\mu = 0.8474, \sigma = 0.74618$	0.85702	7.8147 $dl=3$
V645-7-01	59	Exponentielle	$\lambda = 0.25652$	7.7555	9.4877 $dl=4$
		Log-normal	$\mu = 1.0849, \sigma = 0.76322$	8.8779	9.4877 $dl=4$
V645-7-02	22	Exponentielle	$\lambda = 0.32836$	1.8397	5.9915 $dl=2$
		Log-normal	$\mu = 0.84817, \sigma = 0.71924$	1.447	7.8147 $dl=3$
V645-7-03	34	Exponentielle	$\lambda = 0.27869$	7.0308	9.4877 $dl=4$
		Log-normal	$\mu = 1.0462, \sigma = 0.70153$	5.123	9.4877 $dl=4$
V645-7-04	13	Exponentielle	$\lambda = 0.34211$	0.30005	3.8415 $dl=1$
		Log-normal	$\mu = 0.91548, \sigma = 0.55541$	0.02674	3.8415 $dl=1$

TABLE 4.4 – Résultats de l'ajustement des temps de réparation

Où

n : Taille de l'échantillon.

E : Valeur théorique de la statistique de Pearson ;

e : Valeur tabulée de la statistique de Pearson.

D'après les résultats de la modélisation de maintenabilité, on remarque que pour tous les équipements, les lois de maintenabilité s'ajustent par deux lois ; la loi Exponentielle et la loi Log-normale, avec une moyenne des temps de réparation très grande. Cela est dû à la nature des pannes et des réparations des équipements.

Conclusion

L'étude effectuée dans ce chapitre qui consiste en une analyse statistique des données nous a permis de modéliser les lois de fiabilité et de maintenabilité des équipements, qui seront utilisées dans le chapitre prochain, pour l'étude de la disponibilité.

Etude de la disponibilité du réseau anti-incendie

5.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons étudier la disponibilité des équipements du réseau anti-incendie. Car la fiabilité seule ne suffit pas à définir l'efficacité d'un système, il faut en mesurer la disponibilité lorsque le système est complexe (multi composants) et réparable.

Ce chapitre traite de la modélisation des différents systèmes et variantes sous forme d'une chaîne de Markov, et la résolution du problème afin de déterminer la disponibilité de chaque variante. Pour cela, l'analyse statistique effectuée dans le chapitre précédent nous a permis d'ajuster les lois de fiabilité des équipements par les lois Weibull et Exponentielle. On prend pour le calcul de la disponibilité la loi Exponentielle, car les résultats analytiques sont applicables dans ce cas.

5.2 Modélisation et résolution

Le réseau anti-incendie peut fonctionner en régime normal et en régime maximal selon les besoins de l'entreprise.

5.2.1 Fonctionnement en régime maximal

Le réseau associé :

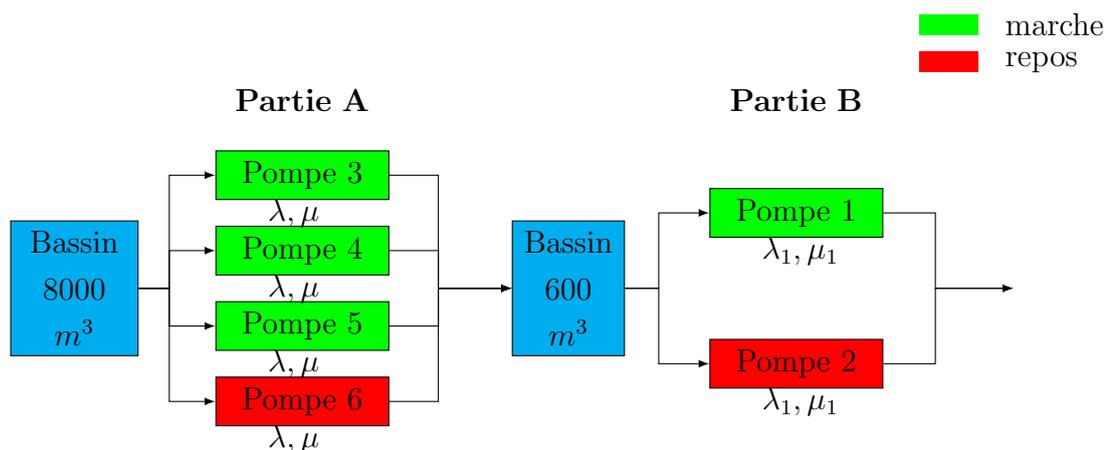


FIGURE 5.1 – Réseau anti-incendie en régime maximal

- Modélisation

Le réseau d'extinction (Fig 5.1) se compose de deux parties :

- Partie A : Quatre pompes montées en redondance passive.
- Partie B : Deux électropompes montées en redondance passive.

Le calcul de la disponibilité va se faire en étudiant d'abord la partie composée de quatre (04) pompes montées en redondance passive (trois pompes de base fonctionnent la pompe de réserve est à l'arrêt, cette pompe n'est mise en marche que lorsque l'une des (03) pompes du dispositif de base tombe en panne), puis la partie composée de deux (02) pompes en redondance passive (la pompe de base fonctionne la pompe de réserve est à l'arrêt, cette pompe n'est mise en marche que lorsque le dispositif de base tombe en panne). Pour cela, on distingue deux (02) étapes d'étude :

Partie A

Cette partie consiste à calculer la disponibilité des quatre pompes montées en redondance passive. Les durées des réparations respectivement (des pannes) suivent des lois exponentielles de paramètre μ respectivement λ .

Soit le processus X_t à espace d'état discret $E = \{0, 1, 2, 3, 4\}$ qui représente le nombre de pompes en pannes à la date t . Les états du système sont définis comme suit :

- 0 : les quatre pompes sont en bon état, le système fonctionne.
- 1 : l'une des quatre pompes est en panne et les trois autres sont en bon état. Le système fonctionne.
- 2 : deux des pompes sont en bon état et les deux autres sont en panne. Le système ne fonctionne pas.

- 3 : trois pompes sont tombées en panne et une pompe est en bon état. Le système ne fonctionne pas.
- 4 : les quatre pompes sont tombées en panne. Le système ne fonctionne pas.

Graphe de transition

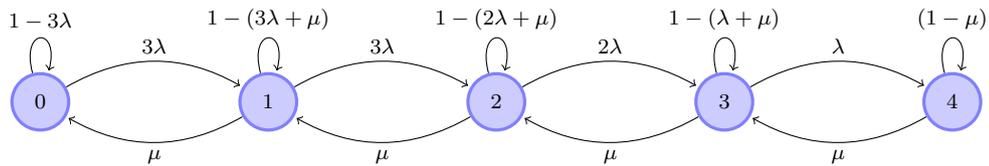


FIGURE 5.2 – Graphe de transition

- Résolution

Le graphe est irréductible, le régime stationnaire existe.

La matrice instantanée

$$P' = \begin{pmatrix} -3\lambda & 3\lambda & 0 & 0 & 0 \\ \mu & -(3\lambda + \mu) & 3\lambda & 0 & 0 \\ 0 & \mu & -(2\lambda + \mu) & 2\lambda & 0 \\ 0 & 0 & \mu & -(\lambda + \mu) & \lambda \\ 0 & 0 & 0 & \mu & -\mu \end{pmatrix}$$

$$P' * \pi = 0, \quad \pi = [\pi_0, \pi_1, \pi_2, \pi_3, \pi_4]^t$$

Pour le calcul du vecteur π , on a les équations d'états :

$$3\lambda\pi_0 = \mu\pi_1 \tag{5.1}$$

$$(3\lambda + \mu)\pi_1 = 3\lambda\pi_0 + \mu\pi_2 \tag{5.2}$$

$$(2\lambda + \mu)\pi_2 = 3\lambda\pi_1 + \mu\pi_3 \tag{5.3}$$

$$(\lambda + \mu)\pi_3 = 2\lambda\pi_2 + \mu\pi_4 \tag{5.4}$$

$$\mu\pi_4 = \lambda\pi_3 \tag{5.5}$$

Avec la condition de normalisation

$$\pi_0 + \pi_1 + \pi_2 + \pi_3 + \pi_4 = 1 \tag{5.6}$$

$$(5.1) \Rightarrow \pi_1 = \frac{3\lambda}{\mu} \pi_0$$

$$(5.2) \Rightarrow \pi_2 = \frac{(3\lambda+\mu)\pi_1 - 3\lambda\pi_0}{\mu} = \frac{(3\lambda+\mu)\frac{3\lambda}{\mu} - 3\lambda}{\mu} \pi_0 = \frac{9\lambda^2}{\mu^2} \pi_0 = \pi_2$$

$$(5.3) \Rightarrow \pi_3 = \frac{(2\lambda+\mu)\pi_2 - 3\lambda\pi_1}{\mu} = \frac{(2\lambda+\mu)\frac{9\lambda^2}{\mu^2} \pi_0 - \frac{3\lambda \cdot 3\lambda\pi_0}{\mu}}{\mu} = \frac{18\lambda^3}{\mu^3} \pi_0$$

$$(5.5) \Rightarrow \lambda \left(\frac{18\lambda^3}{\mu^3} \pi_0 \right) = \mu \pi_4$$

$$\Rightarrow \frac{18\lambda^4}{\mu^3} \pi_0 = \mu \pi_4$$

$$\Rightarrow \pi_4 = \frac{18\lambda^4}{\mu^4} \pi_0$$

On remplace $\pi_1, \pi_2, \pi_3, \pi_4$ dans (5.6) on aura :

$$\pi_0 \left(1 + \frac{3\lambda}{\mu} + \frac{9\lambda^2}{\mu^2} + \frac{18\lambda^3}{\mu^3} + \frac{18\lambda^4}{\mu^4} \right) = 1$$

$$\Rightarrow \pi_0 \left(\frac{\mu^4 + 3\lambda\mu^3 + 9\lambda^2\mu^2 + 18\lambda^3\mu + 18\lambda^4}{\mu^4} \right) = 1$$

$$\Rightarrow \pi_0 = \frac{\mu^4}{\mu^4 + 3\lambda\mu^3 + 9\lambda^2\mu^2 + 18\lambda^3\mu + 18\lambda^4}$$

On remplace π_0 dans l'expression de π_1 on aura :

$$\pi_1 = \frac{3\lambda}{\mu} \pi_0 = \frac{3\lambda}{\mu} * \frac{\mu^4}{\mu^4 + 3\lambda\mu^3 + 9\lambda^2\mu^2 + 18\lambda^3\mu + 18\lambda^4} = \frac{3\lambda\mu^3}{\mu^4 + 3\lambda\mu^3 + 9\lambda^2\mu^2 + 18\lambda^3\mu + 18\lambda^4}$$

On remplace π_0 dans l'expression de π_2 on aura :

$$\pi_2 = \frac{9\lambda^2}{\mu^2} * \frac{\mu^4}{\mu^4 + 3\lambda\mu^3 + 9\lambda^2\mu^2 + 18\lambda^3\mu + 18\lambda^4} = \frac{9\lambda^2\mu^2}{\mu^4 + 3\lambda\mu^3 + 9\lambda^2\mu^2 + 18\lambda^3\mu + 18\lambda^4}$$

On remplace π_0 dans l'expression de π_3 on aura :

$$\pi_3 = \frac{18\lambda^3\mu}{\mu^4 + 3\lambda\mu^3 + 9\lambda^2\mu^2 + 18\lambda^3\mu + 18\lambda^4}$$

On remplace π_0 dans l'expression de π_4 on aura :

$$\pi_4 = \frac{18\lambda^4}{\mu^4 + 3\lambda\mu^3 + 9\lambda^2\mu^2 + 18\lambda^3\mu + 18\lambda^4}$$

Le sous système fonctionne en régime maximal si au moins trois pompes fonctionnent. Donc, la disponibilité du système est :

$$D_A = \pi_0 + \pi_1 = \frac{\mu^4 + 3\lambda\mu^3}{\mu^4 + 3\lambda\mu^3 + 9\lambda^2\mu^2 + 18\lambda^3\mu + 18\lambda^4} \quad (5.7)$$

Partie B

Cette partie comporte deux pompes en redondance passive.

Soit le processus X_t à espace d'état discret E , qui représente le nombre de pompes en pannes à la date t . Dont les états sont :

- 0 : Les deux pompes sont en bon état, le système fonctionne.
- 1 : L'une des deux pompes est en bon état, l'autre est en panne. Le système fonctionne.
- 2 : Les deux pompes sont en panne. Le système ne fonctionne pas.

Graphe de transition

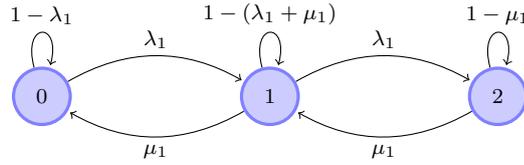


FIGURE 5.3 – Graphe de transition

- Résolution

Le graphe est irréductible, le régime stationnaire existe.

La matrice instantanée

$$P' = \begin{pmatrix} -\lambda_1 & \lambda_1 & 0 \\ \mu_1 & -(\lambda_1 + \mu_1) & \lambda_1 \\ 0 & \mu_1 & -\mu_1 \end{pmatrix}$$

$$P' * \pi = 0, \quad \pi = [\pi_0, \pi_1, \pi_2]^t$$

Pour le calcul de vecteur π on a les équations d'états suivantes :

$$\lambda_1 \pi_0 = \mu_1 \pi_1 \tag{5.8}$$

$$(\lambda_1 + \mu_1) \pi_1 = \lambda_1 \pi_0 + \mu_1 \pi_2 \tag{5.9}$$

$$\lambda_1 \pi_1 = \mu_1 \pi_2 \tag{5.10}$$

avec la condition de normalisation

$$\pi_0 + \pi_1 + \pi_2 = 1 \tag{5.11}$$

$$(5.7) \Rightarrow \pi_1 = \frac{\lambda_1}{\mu_1} \pi_0$$

$$(5.8) \Rightarrow \pi_2 = \frac{\lambda_1}{\mu_1} \pi_1 \Rightarrow \pi_2 = \frac{\lambda_1^2}{\mu_1^2} \pi_0$$

On remplace π_1, π_2 dans (5.10) on aura :

$$\pi_0 \left(1 + \frac{\lambda_1}{\mu_1} + \frac{\lambda_1^2}{\mu_1^2} \right) = 1 \Rightarrow \frac{\mu_1^2 + \mu_1 \lambda_1 + \lambda_1^2}{\mu_1^2} \pi_0 = 1$$

$$\pi_0 = \frac{\mu_1^2}{\mu_1^2 + \mu_1 \lambda_1 + \lambda_1^2}$$

On remplace π_0 dans l'expression de π_1 on aura :

$$\pi_1 = \frac{\lambda_1}{\mu_1} \pi_0 = \frac{\lambda_1}{\mu_1} \frac{\mu_1^2}{\mu_1^2 + \mu_1 \lambda_1 + \lambda_1^2} = \frac{\lambda_1 \mu_1}{\mu_1^2 + \mu_1 \lambda_1 + \lambda_1^2}$$

$$\pi_1 = \frac{\lambda_1 \mu_1}{\mu_1^2 + \mu_1 \lambda_1 + \lambda_1^2}$$

On remplace π_0 dans l'expression de π_2 on aura :

$$\pi_2 = \frac{\lambda_1^2}{\mu_1^2} \pi_0 = \frac{\lambda_1^2}{\mu_1^2} \frac{\mu_1^2}{\mu_1^2 + \mu_1 \lambda_1 + \lambda_1^2} = \frac{\lambda_1^2}{\mu_1^2 + \mu_1 \lambda_1 + \lambda_1^2}$$

$$\pi_2 = \frac{\lambda_1^2}{\mu_1^2} + \frac{\lambda_1}{\mu_1} + 1$$

Le sous système fonctionne si au moins une pompe est en bon état. Donc, la disponibilité est donnée par :

$$D_B = \pi_0 + \pi_1 = \frac{\mu_1^2 + \lambda_1 \mu_1}{\mu_1^2 + \mu_1 \lambda_1 + \lambda_1^2} \quad (5.12)$$

La disponibilité du système

la disponibilité du système est donnée par :

$$D_s = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{D_i} - (n-1)} \quad (5.13)$$

on a

$$D_A = \frac{\mu^4 + 3\lambda\mu^3}{\mu^4 + 3\lambda\mu^3 + 9\lambda^2\mu^2 + 18\lambda^3\mu + 18\lambda^4} \quad (5.14)$$

$$D_B = \frac{\mu_1^2 + \lambda_1 \mu_1}{\mu_1^2 + \mu_1 \lambda_1 + \lambda_1^2} \quad (5.15)$$

D'où

$$D_s = \frac{1}{D_A^{-1} + D_B^{-1} - (2-1)} \quad (5.16)$$

$$D_s = \frac{1}{\left[\frac{\mu^4 + 3\lambda\mu^3}{\mu^4 + 3\lambda\mu^3 + 9\lambda^2\mu^2 + 18\lambda^3\mu + 18\lambda^4}\right]^{-1} + \left[\frac{\mu_1^2 + \lambda_1 \mu_1}{\mu_1^2 + \mu_1 \lambda_1 + \lambda_1^2}\right]^{-1} - 1} \quad (5.17)$$

5.2.2 Fonctionnement en régime minimal

Le réseau associé :

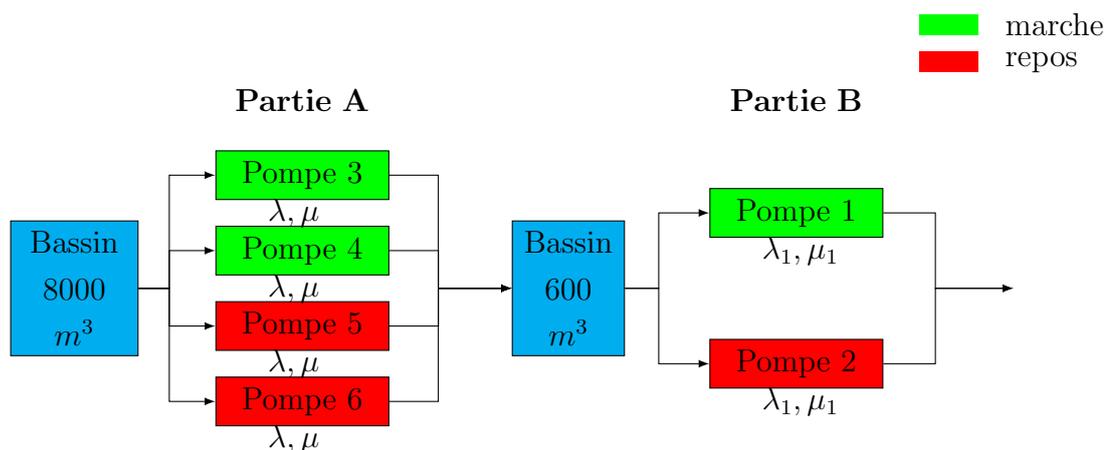


FIGURE 5.4 – Réseau anti-incendie en régime minimal

- Modélisation

Le réseau d'extinction (Fig 5.4) se compose de deux parties :

- Partie A : Quatre pompes montées en redondances passive.
- Partie B : Deux électropompes montées en redondance passive.

Le calcul de la disponibilité va se faire en étudiant d'abord la partie composée de quatre (04) pompes montées en redondance passive (trois pompes de base fonctionnent la pompe de réserve est à l'arrêt, cette pompe n'est mise en marche que lorsque l'une des (03) pompes du dispositif de base tombe en panne), puis la partie composée de deux (02) pompes en redondance passive (la pompe de base fonctionne la pompe de réserve est à l'arrêt, cette pompe n'est mise en marche que lorsque le dispositif de base tombe en panne) pour cela, on distingue deux (02) étapes d'étude :

Partie A

Cette partie consiste à calculer la disponibilité des quatre pompes montées en redondance passive. Les durées des réparations respectivement (des pannes) suivent des lois exponentielles de paramètre (μ) respectivement (λ).

Soit le processus X_t à espace d'état discret $E = \{0, 1, 2, 3, 4\}$ qui représente le nombre de pompes en pannes à la date t . Les états du système sont définis comme suit :

- 0 : les quatre pompes sont en bon état, le système fonctionne.
- 1 : l'une des quatre pompes est en panne les trois autres sont en bon état. Le système fonctionne.
- 2 : deux des pompes sont en bon état les deux autres sont en panne. Le système fonctionne.

- 3 : trois pompes sont tombées en panne et une pompe est en bon état. Le système ne fonctionne pas.
- 4 : les quatre pompes sont tombées en panne. Le système ne fonctionne pas.

Graphe de transition

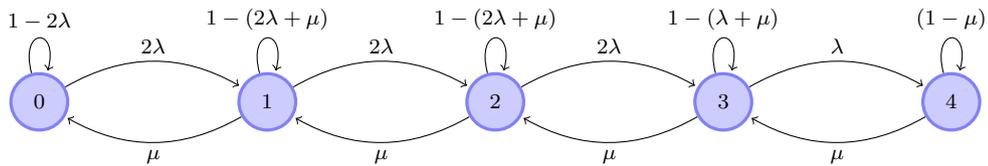


FIGURE 5.5 – Graphe de transition

- Résolution

Le graphe est irréductible, le régime stationnaire existe.

La matrice instantanée

$$P' = \begin{pmatrix} -2\lambda & 2\lambda & 0 & 0 & 0 \\ \mu & -(2\lambda + \mu) & 2\lambda & 0 & 0 \\ 0 & \mu & -(2\lambda + \mu) & 2\lambda & 0 \\ 0 & 0 & \mu & -(\lambda + \mu) & \lambda \\ 0 & 0 & 0 & \mu & -\mu \end{pmatrix}$$

$$P' * \pi = 0, \quad \pi = [\pi_0, \pi_1, \pi_2, \pi_3, \pi_4]^t$$

Pour le calcul du vecteur π , on a les équations d'états :

$$2\lambda\pi_0 = \mu\pi_1 \tag{5.18}$$

$$(2\lambda + \mu)\pi_1 = 2\lambda\pi_0 + \mu\pi_2 \tag{5.19}$$

$$(2\lambda + \mu)\pi_2 = 2\lambda\pi_1 + \mu\pi_3 \tag{5.20}$$

$$(2\lambda + \mu)\pi_3 = 2\lambda\pi_2 + \mu\pi_4 \tag{5.21}$$

$$\mu\pi_4 = \lambda\pi_3 \tag{5.22}$$

avec la condition de normalisation

$$\pi_0 + \pi_1 + \pi_2 + \pi_3 + \pi_4 = 1 \tag{5.23}$$

$$(5.11) \Rightarrow \pi_1 = \frac{2\lambda}{\mu} \pi_0$$

$$(5.12) \Rightarrow \pi_2 = \frac{(2\lambda+\mu)\pi_1 - 2\lambda\pi_0}{\mu} = \frac{(2\lambda+\mu)\frac{2\lambda}{\mu}\pi_0 - 2\lambda\pi_0}{\mu} = \frac{4\lambda^2}{\mu^2} \pi_0$$

$$(5.13) \Rightarrow \pi_3 = \frac{(2\lambda+\mu)\pi_2 - 2\lambda\pi_1}{\mu} = \frac{(2\lambda+\mu)\frac{4\lambda^2}{\mu^2}\pi_0 - 2\lambda\frac{2\lambda}{\mu}\pi_0}{\mu} = \frac{8\lambda^3}{\mu^3} \pi_0$$

$$(5.15) \Rightarrow \pi_4 = \frac{\lambda\pi_3}{\mu} = \frac{\lambda\frac{8\lambda^3}{\mu^3}\pi_0}{\mu} = \frac{8\lambda^4}{\mu^4} \pi_0$$

On remplace les valeurs de π_1, π_2, π_3 et π_4 dans (5.16) on aura :

$$\pi_0(1 + \pi_1 + \pi_2 + \pi_3 + \pi_4) = 1 \Rightarrow \pi_0\left(1 + \frac{2\lambda}{\mu} + \frac{4\lambda^2}{\mu^2} + \frac{8\lambda^3}{\mu^3} + \frac{8\lambda^4}{\mu^4}\right) = 1$$

$$\Rightarrow \pi_0\left(\frac{\mu^4 + 2\lambda\mu^3 + 4\lambda^2\mu^2 + 8\lambda^3\mu + 8\lambda^4}{\mu^4}\right) = 1$$

$$\Rightarrow \pi_0 = \frac{\mu^4}{\mu^4 + 2\lambda\mu^3 + 4\lambda^2\mu^2 + 8\lambda^3\mu + 8\lambda^4}$$

On remplace π_0 dans l'expression de π_1 on aura :

$$\pi_1 = \frac{2\lambda}{\mu} \pi_0 = \frac{2\lambda\mu^3}{\mu^4 + 2\lambda\mu^3 + 4\lambda^2\mu^2 + 8\lambda^3\mu + 8\lambda^4}$$

On remplace π_0 dans l'expression de π_2 on aura :

$$\pi_2 = \frac{4\lambda^2}{\mu^2} \pi_0 = \frac{4\lambda^2\mu^2}{\mu^4 + 2\lambda\mu^3 + 4\lambda^2\mu^2 + 8\lambda^3\mu + 8\lambda^4}$$

On remplace π_0 dans l'expression de π_3 on aura :

$$\pi_3 = \frac{8\lambda^3}{\mu^3} \pi_0 = \frac{8\lambda^3\mu}{\mu^4 + 2\lambda\mu^3 + 4\lambda^2\mu^2 + 8\lambda^3\mu + 8\lambda^4}$$

On remplace π_0 dans l'expression de π_4 on aura :

$$\pi_4 = \frac{8\lambda^4}{\mu^4} \pi_0 = \frac{8\lambda^3}{\mu^4 + 2\lambda\mu^3 + 4\lambda^2\mu^2 + 8\lambda^3\mu + 8\lambda^4}$$

Le sous système fonctionne si au moins deux pompes sont en bon état. Donc, la disponibilité du sous système est donnée par :

$$D_A = \pi_0 + \pi_1 + \pi_2 = \frac{\mu^4 + 2\lambda\mu^3 + 4\lambda^2\mu^2}{\mu^4 + 2\lambda\mu^3 + 4\lambda^2\mu^2 + 8\lambda^3\mu + 8\lambda^4} \quad (5.24)$$

Partie B

Cette partie comporte deux pompes en redondance passive.

Soit le processus X_t à espace d'état discret E , qui représente le nombre de pompes en pannes à la date t . Dont les états sont :

- 0 : Les deux pompes sont en bon état, le système fonctionne.
- 1 : L'une des deux pompes est en bon état, l'autre est en panne. Le système fonctionne.
- 2 : Les deux pompes sont en panne. Le système ne fonctionne pas.

Graphe de transition

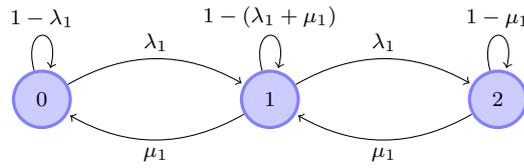


FIGURE 5.6 – Graphe de transition

- Résolution

Le graphe est irréductible, le régime stationnaire existe.

La matrice instantanée

$$P' = \begin{pmatrix} -\lambda_1 & \lambda_1 & 0 \\ \mu_1 & -(\lambda_1 + \mu_1) & \lambda_1 \\ 0 & \mu_1 & -\mu_1 \end{pmatrix}$$

$$P' * \pi = 0, \quad \pi = [\pi_0, \pi_1, \pi_2]^t$$

Pour le calcul de vecteur π , on a les équations d'états suivantes :

$$\lambda_1 \pi_0 = \mu_1 \pi_1 \quad (5.25)$$

$$(\lambda_1 + \mu_1) \pi_1 = \lambda_1 \pi_0 + \mu_1 \pi_2 \quad (5.26)$$

$$\lambda_1 \pi_1 = \mu_1 \pi_2 \quad (5.27)$$

avec la condition de normalisation

$$\pi_0 + \pi_1 + \pi_2 = 1 \quad (5.28)$$

$$(5.22) \Rightarrow \pi_1 = \frac{\lambda_1}{\mu_1} \pi_0$$

$$(5.23) \Rightarrow \pi_2 = \frac{\lambda_1}{\mu_1} \pi_1 \Rightarrow \pi_2 = \frac{\lambda_1^2}{\mu_1^2} \pi_0$$

On remplace π_1, π_2 dans (5.25) on aura :

$$\pi_0 \left(1 + \frac{\lambda_1}{\mu_1} + \frac{\lambda_1^2}{\mu_1^2} \right) = 1 \Rightarrow \frac{\mu_1^2 + \mu_1 \lambda_1 + \lambda_1^2}{\mu_1^2} \pi_0 = 1$$

$$\pi_0 = \frac{\mu_1^2}{\mu_1^2 + \mu_1 \lambda_1 + \lambda_1^2}$$

On remplace π_0 dans l'expression de π_1 on aura :

$$\pi_1 = \frac{\lambda_1}{\mu_1} \pi_0 = \frac{\lambda_1}{\mu_1} \frac{\mu_1^2}{\mu_1^2 + \mu_1 \lambda_1 + \lambda_1^2} = \frac{\lambda_1 \mu_1}{\mu_1^2 + \mu_1 \lambda_1 + \lambda_1^2}$$

$$\pi_1 = \frac{\lambda_1 \mu_1}{[\mu_1^2 + \mu_1 \lambda_1 + \lambda_1^2]}$$

On remplace π_0 dans l'expression de π_2 on aura :

$$\pi_2 = \frac{\lambda_1^2}{\mu_1^2} \pi_0 = \frac{\lambda_1^2}{\mu_1^2} \frac{\mu_1^2}{\mu_1^2 + \mu_1 \lambda_1 + \lambda_1^2} = \frac{\lambda_1^2}{\mu_1^2 + \mu_1 \lambda_1 + \lambda_1^2}$$

$$\pi_2 = \frac{\lambda_1^2}{\mu_1^2} + \frac{\lambda_1}{\mu_1} + 1$$

Le système fonctionne si au moins une pompe est en bon état. Donc, la disponibilité est donnée par :

$$D_B = \pi_0 + \pi_1 = \frac{\mu_1^2 + \lambda_1 \mu_1}{\mu_1^2 + \mu_1 \lambda_1 + \lambda_1^2} \quad (5.29)$$

La disponibilité du système

La disponibilité du système est donnée par :

$$D_s = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{D_i} - (n-1)} \quad (5.30)$$

On a

$$D_A = \frac{\mu^4 + 2\lambda\mu^3 + 4\lambda^2\mu^2}{\mu^4 + 2\lambda\mu^3 + 4\lambda^2\mu^2 + 8\lambda^3\mu + 8\lambda^4} \quad (5.31)$$

$$D_B = \frac{\mu_1^2 + \lambda_1 \mu_1}{\mu_1^2 + \mu_1 \lambda_1 + \lambda_1^2} \quad (5.32)$$

D'où

$$D_s = \frac{1}{D_A^{-1} + D_B^{-1} - (2-1)} \quad (5.33)$$

$$D_s = \frac{1}{\left[\frac{\mu^4 + 2\lambda\mu^3 + 4\lambda^2\mu^2}{\mu^4 + 2\lambda\mu^3 + 4\lambda^2\mu^2 + 8\lambda^3\mu + 8\lambda^4}\right]^{-1} + \left[\frac{\mu_1^2 + \lambda_1 \mu_1}{\mu_1^2 + \mu_1 \lambda_1 + \lambda_1^2}\right]^{-1} - 1} \quad (5.34)$$

5.3 Calcul de la disponibilité

Le tableau (5.1) résume les taux moyens de réparation et de panne des équipements :

Equipement	Taux de panne λ	Taux de réparation μ	Taux moyen λ	Taux moyen μ
V140-10-01	0.00662	0.30061	0.00531	0.30979
V140-10-02	0.00364	0.31897		
V645-7-01	0.00546	0.25652	0.0038325	0.30142
V645-7-02	0.00307	0.32836		
V645-7-03	0.00334	0.27869		
V645-7-04	0.00346	0.34211		

TABLE 5.1 – Taux moyens de réparation et de panne des équipements

- La disponibilité du réseau anti incendie en régime maximal est donnée par :

$$D_s = \frac{1}{D_A^{-1} + D_B^{-1} - 1} \quad (5.35)$$

Où

D_A : La disponibilité du sous système composé des quatre (04) pompes montées en redondance passive, trois (03) fonctionnent une en stand-by.

D_B : La disponibilité du sous système composé des deux (02) pompes montées en redondance passive, une fonctionne l'autre en stand-by.

On a

$$D_A = \frac{\mu^4 + 3\lambda\mu^3}{\mu^4 + 3\lambda\mu^3 + 9\lambda^2\mu^2 + 18\lambda^3\mu + 18\lambda^4} = 0.99823484 \quad (5.36)$$

$$D_B = \frac{\mu_1^2 + \lambda_1\mu_1}{\mu_1^2 + \mu_1\lambda_1 + \lambda_1^2} = 0.99971119 \quad (5.37)$$

$$D_s = \frac{1}{\left[\frac{\mu^4 + 3\lambda\mu^3}{\mu^4 + 3\lambda\mu^3 + 9\lambda^2\mu^2 + 18\lambda^3\mu + 18\lambda^4}\right]^{-1} + \left[\frac{\mu_1^2 + \lambda_1\mu_1}{\mu_1^2 + \mu_1\lambda_1 + \lambda_1^2}\right]^{-1} - 1} = 0.99794705 \quad (5.38)$$

- La disponibilité du réseau anti incendie en régime minimal est donnée par :

$$D_s = \frac{1}{D_A^{-1} + D_B^{-1} - 1} \quad (5.39)$$

Où

D_A : La disponibilité du sous système composé des quatre (04) pompes montées en redondance passive, deux (02) fonctionnent deux (02) en stand-by.

D_B : La disponibilité du sous système composé des deux (02) pompes montées en redondance passive, une fonctionne l'autre en stand-by.

On a

$$D_A = \frac{\mu^4 + 2\lambda\mu^3 + 4\lambda^2\mu^2}{\mu^4 + 2\lambda\mu^3 + 4\lambda^2\mu^2 + 8\lambda^3\mu + 8\lambda^4} = 0.99998371 \quad (5.40)$$

$$D_B = \frac{\mu_1^2 + \lambda_1 \mu_1}{\mu_1^2 + \mu_1 \lambda_1 + \lambda_1^2} = 0.99971119 \quad (5.41)$$

$$D_s = \frac{1}{\left[\frac{\mu^4 + 2\lambda\mu^3 + 4\lambda^2\mu^2}{\mu^4 + 2\lambda\mu^3 + 4\lambda^2\mu^2 + 8\lambda^3\mu + 8\lambda^4}\right]^{-1} + \left[\frac{\mu_1^2 + \lambda_1\mu_1}{\mu_1^2 + \mu_1\lambda_1 + \lambda_1^2}\right]^{-1} - 1} = 0.99969491 \quad (5.42)$$

Les résultats de la disponibilité du réseau sont données dans le tableau suivant :

Régime	Maximal	Minimal
Disponibilité	0.99794705	0.99969491

5.4 Interprétation des résultats

On remarque que la disponibilité des équipements est très grande pour les deux régimes de fonctionnement du réseau. Cela est dû essentiellement :

- Le mode de fonctionnement du réseau (Stand-by), qui offre une meilleure disponibilité.
- La qualité des équipements, qui sont conçus pour fonctionner 24h/24h.

On remarque aussi une légère différence entre les valeurs de la disponibilité des variantes du réseau en régime minimal et en régime maximal, en raison de ressource supplémentaire que possède la variante en régime minimal. Elle possède deux pompes en Stand-by. Par contre, l'autre variante ne possède qu'une seule pompe en réserve.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons modélisé le fonctionnement des deux variantes du réseau, en faisant appel aux chaînes de Markov à temps discret.

Le calcul de la disponibilité en régime stationnaire nous a permis d'évaluer la disponibilité des deux variantes du réseau, et les résultats obtenus montrent que les valeurs de disponibilité sont très proches de 1, ce qui signifie que le réseau anti incendie est prêt à fonctionner à tout moment.

Conclusion générale

L'objectif de cette étude est l'analyse de la disponibilité du réseau anti incendie, en se basant sur le calcul de la fiabilité et de maintenabilité du réseau de manière à déterminer l'efficacité du système et permettre aux responsables de l'entreprise de conclure sur la nécessité de mettre en place un nouveau système plus performant.

Ainsi, dans une première étape, nous avons dégagé les équipements sensibles du réseau. Ces équipements considérés comme le cœur du réseau et un arrêt imprévisible d'un ou plusieurs de ces derniers engendre la défaillance du système.

Dans un second lieu, nous avons réalisé une analyse statistique des données relative au temps de bon fonctionnement des équipements choisis pour notre étude. Cette étude nous a permis de déterminer les caractéristiques de fiabilité et de maintenabilité des pompes en utilisant l'ajustement par les lois classiques avec le logiciel easyFit. La méthode de maximum de vraisemblance a été utilisée pour l'estimation des paramètres, et la validation des lois obtenues a été faite par le test de Kolmogorov-Smirnov pour les lois de fiabilité, et le test de Khi-2 pour celles de maintenabilité.

La troisième étape consiste au calcul de la maintenabilité des équipements en modélisant les temps de réparation TTR (Time To Repair) des pompes afin de déterminer leurs lois de maintenabilité.

La quatrième et dernière étape a porté sur l'étude de la disponibilité du réseau selon ses deux régimes de fonctionnement, à savoir le régime de fonctionnement maximal et le régime de fonctionnement minimal.

Les résultats obtenus dans les parties précédentes nous ont permis d'obtenir les lois des pannes (qui ont été ajustées par la loi exponentielle et la loi de Weibull) et des réparations (qui ont été ajustées par la loi exponentielle et la loi log-normale) des pompes, nous

avons opté pour la loi exponentielle pour pouvoir ensuite évaluer la disponibilité des deux variantes en modélisant leur fonctionnement par les chaînes de Markov à temps discret. Cette étude a révélé que la disponibilité du réseau anti incendie est très élevée, donc est prêt à fonctionner.

Cette étude nous a permis de clarifier la relation existante entre la fiabilité, la maintenabilité, et disponibilité. Et de répondre à la question qui porte sur l'efficacité, et la nécessité ou pas d'envisager un remplacement du réseau anti incendie existant. Elle nous a permis aussi de conclure que pour avoir une grande disponibilité d'un système, il faut soit augmenter la fiabilité ou diminuer les temps de réparation de ses équipements, selon l'importance du système étudié.

En terme de perspectives, nous proposons une étude basée sur l'analyse approfondie de fiabilité au niveau des équipements constituant le réseau, et ce, afin de déterminer le stade de vie des équipements qui peut être complété ensuite par la comparaison de quelques tests non paramétriques. Cette étude est intéressante pour l'entreprise car elle permet d'agir directement sur les problèmes rencontrés. Il est également intéressant de réaliser une étude économique dans le but de d'implanter une politique de maintenance adéquate. Pour ce faire, il est nécessaire de disposer d'informations précises (diagnostic de l'équipement, coût de réparation de chaque pièce, définir un code pour les pièces pour faciliter la collecte de données, durées d'attente jusqu'à l'arrivée de la pièce de rechange) c'est pourquoi nous proposons aux responsables du service maintenance d'améliorer la collecte des données.

Bibliographie

- [1] : F. Acheuk, M. Hassaim. *Etude de la Disponibilité de la chaufferie au niveau de l'entreprise CO.G.B (Complexe Corps Gras de Béjaia)*. Mémoire d'ingénieur, Département de Recherche Opérationnelle, Université de Béjaia, 2004.
- [2] : S. Adjabi. *Cours de probabilités et statistiques*. Département de Recherche Opérationnelle, Université de Béjaia, 2008-2009.
- [3] : A. Aïssani. *Modèle stochastiques de la théorie de fiabilité*. O.P.U édition, 1992.
- [4] : D. Aïssani. *Cours de processus aléatoire appliqués et prévisions*. Département de Recherche Opérationnelle, Université de Béjaia, 2002-2003.
- [5] : A. Benouareth. *Contribution à l'étude de la fiabilité des postes de distribution électrique (application des processus semi-markoviens)*. Thèse de Magister, Université M'Hamed Bougara de Boumerdes, 2005.
- [6] : J-L. Bon. *Fiabilité des systèmes méthodes mathématiques*. Paris, Masson édition, 1995.
- [7] : S. Chahboune, R. Hammou. *Etude de la fiabilité et de la disponibilité des équipements au niveau de l'entreprise MAC-SOUM*. Mémoire de Master, Département de Recherche Opérationnelle, Université de Béjaia, 2016.
- [8] : M. Dinker, P. Breult, and G. Sevestre. *Aspects modernes de fiabilité*. Les presses de l'université Montréal édition, 1974.
- [9] : R. Faure and P. Chretienne. *Processus stochastiques leurs graphes, leurs usages*. Paris, France, Gauthier-Villars édition, 1994.
- [10] : S. Hakmi. *Evaluation des Performances des Systèmes Prioritaire à l'aide des RdPSG (Réseaux de Pétri Stochastiques Généralisés)*. Mémoire de Magister en Mathématiques Appliquées, Département de Recherche Opérationnelle, Université de Béjaia, Juin 2011.

- [11] : S. Kadi. *Ordonnancement de projet à l'aide d'un algorithme génétique : réalisation d'une caserne de sécurité au terminal marin sud, RTC Sonatrach*. Mémoire de Master, Département de Recherche Opérationnelle, Université de Béjaia, Juin 2013.
- [12] : B. Klefsjo. Some tests against ageing based on the total time on test transform. *Communications in Statistics-Theory and Methods*, Vol.12(8) :907-927, 1983.
- [13] : P. Lyonnet. *La maintenance mathématiques et méthodes*. Tec et doc édition, 2000.
- [14] : C. Marcovici et Ci. Legeron. *Utilisation des Techniques de Fiabilité en Mécanique*. Techniques et documentation édition, 1974.
- [15] : A. Ruegg. *Processus stochastiques*. Presses polytechniques romandes édition, 1989.
- [16] : N. Touche, A. Anzi. *Nouveaux éléments pour l'étude de la disponibilité de la chaufferie au niveau de l'entreprise COGB (Complexe des Corps Gras de Béjaia)*. Mémoire d'ingénieur, Département de Recherche Opérationnelle, Université de Béjaia, 2006.

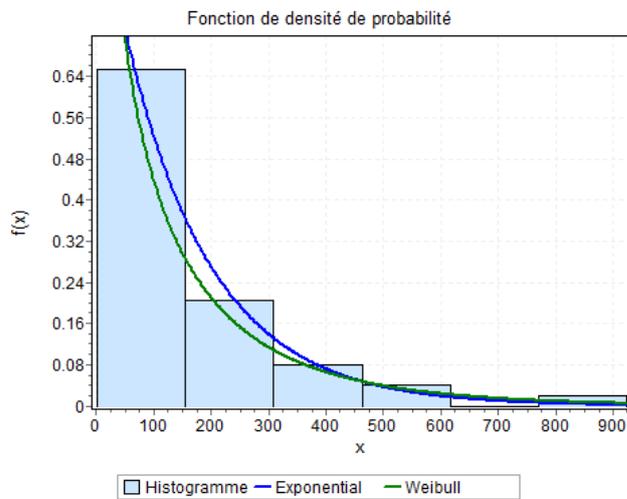


FIGURE 1 – Résultat d'ajustement de loi de fiabilité de Pompe N°1

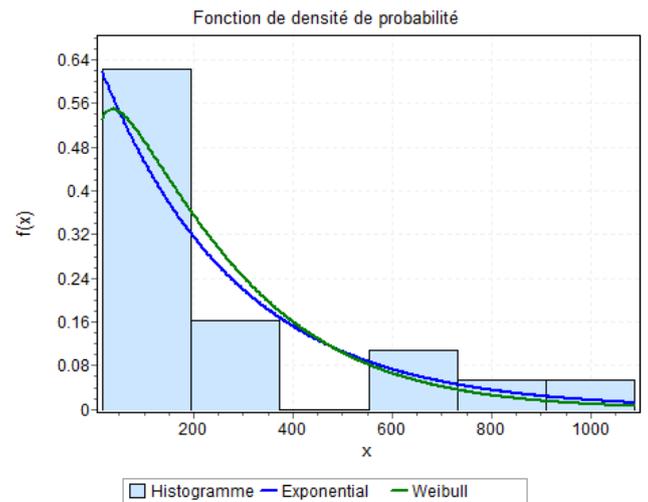


FIGURE 2 – Résultat d'ajustement de loi de fiabilité de Pompe N°2

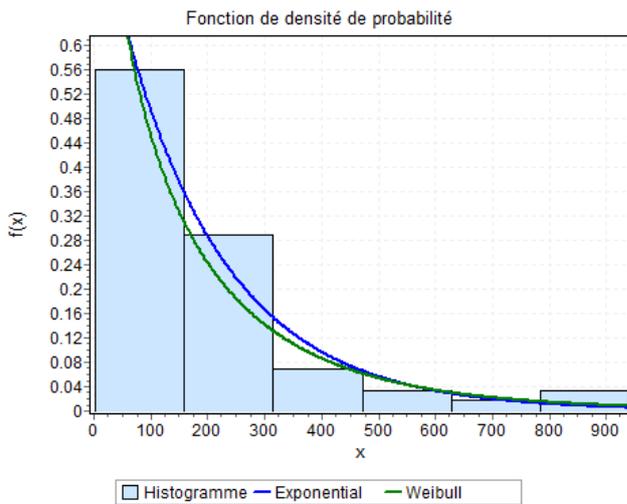


FIGURE 3 – Résultat d'ajustement de loi de fiabilité de Pompe N°3

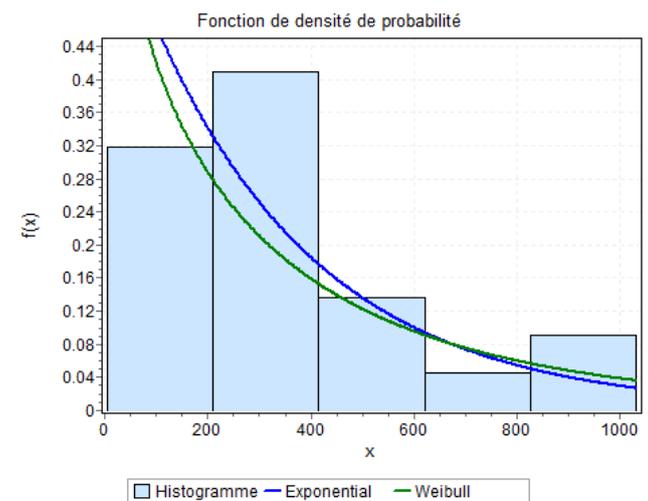


FIGURE 4 – Résultat d'ajustement de loi de fiabilité de Pompe N°4

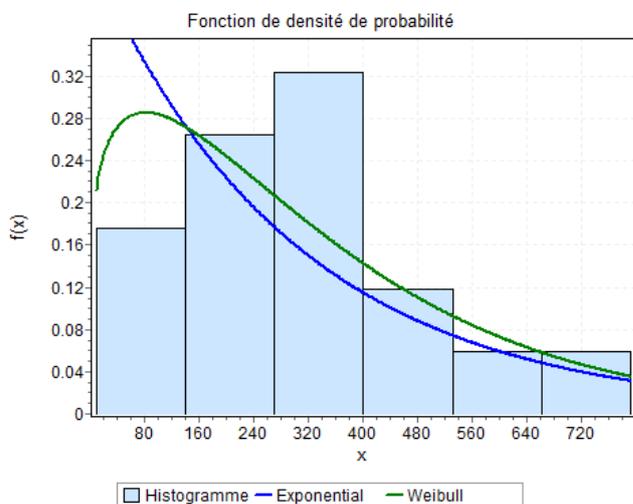


FIGURE 5 – Résultat d’ajustement de loi de fiabilité de Pompe N°5

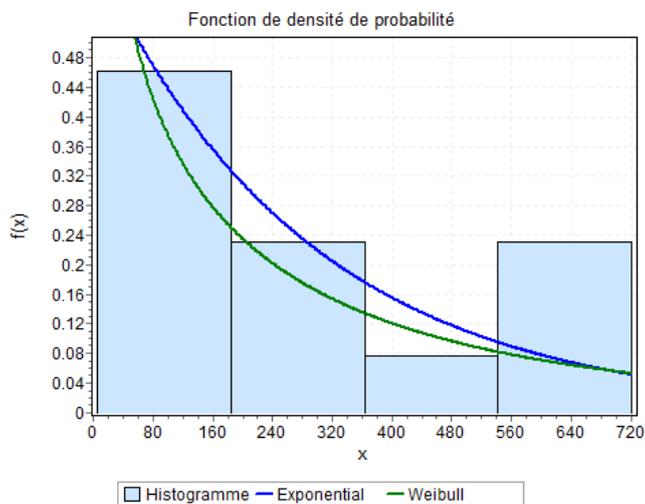


FIGURE 6 – Résultat d’ajustement de loi de fiabilité de Pompe N°6

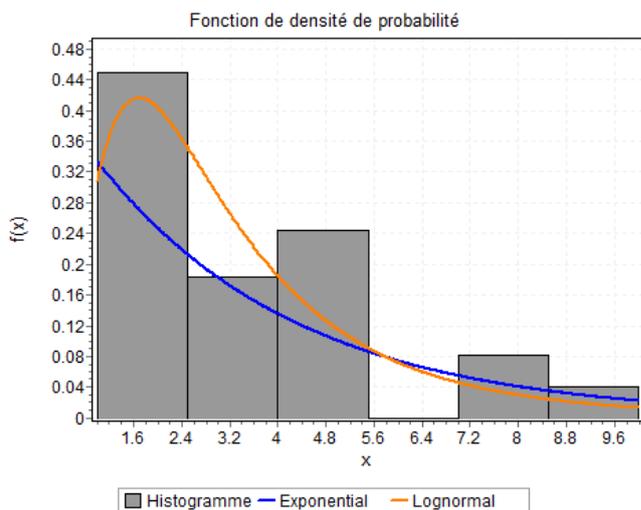


FIGURE 7 – Résultat d’ajustement de loi de maintenabilité de Pompe N°1

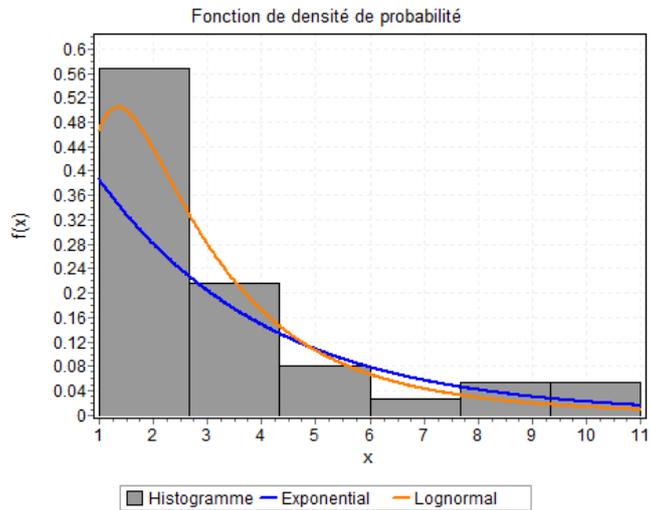


FIGURE 8 – Résultat d’ajustement de loi de maintenabilité de Pompe N°2

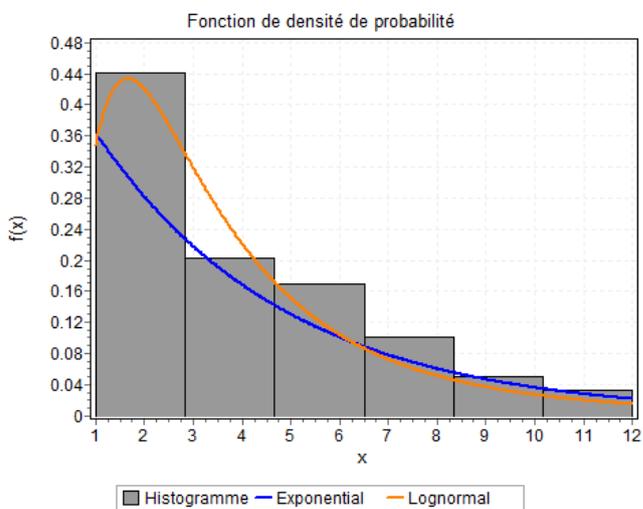


FIGURE 9 – Résultat d’ajustement de loi de maintenabilité de Pompe N°3

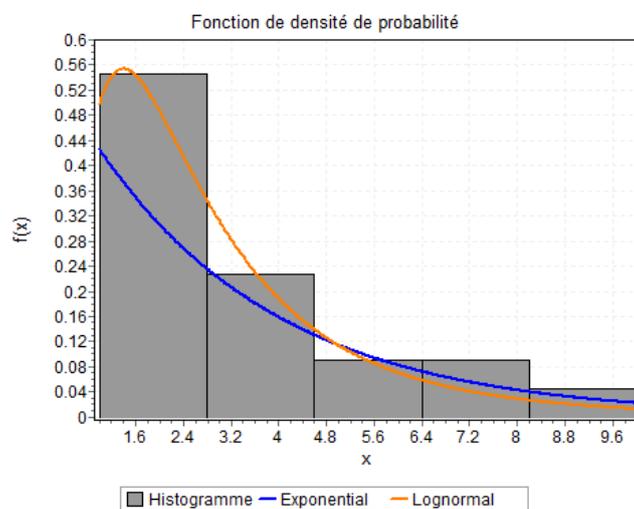


FIGURE 10 – Résultat d’ajustement de loi de maintenabilité de Pompe N°4

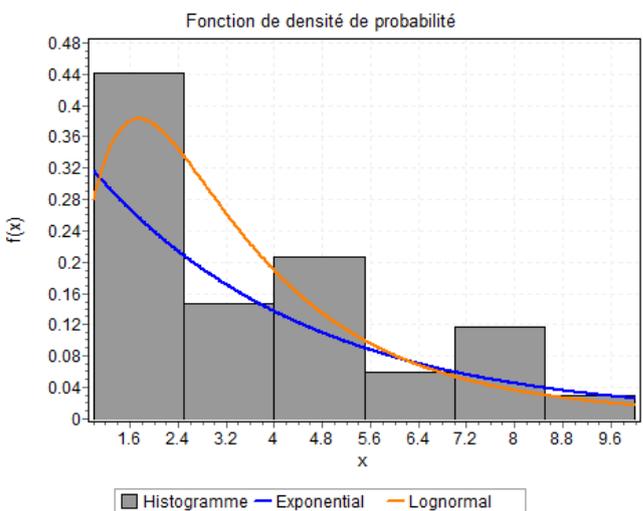


FIGURE 11 – Résultat d’ajustement de loi de maintenabilité de Pompe N°5

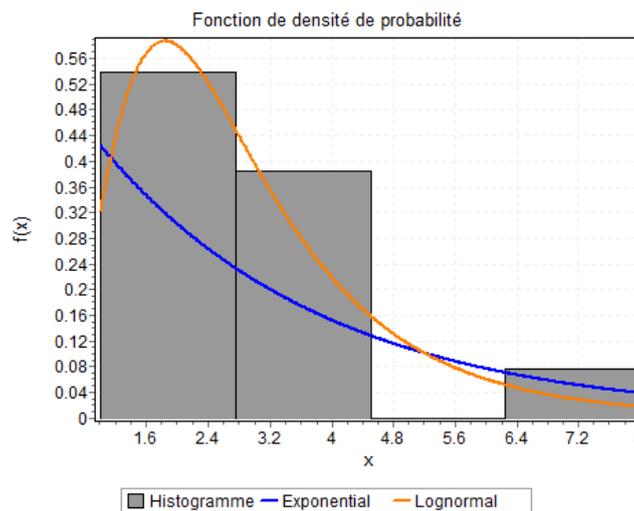


FIGURE 12 – Résultat d’ajustement de loi de maintenabilité de Pompe N°6

dl	$\chi^2_{0.005}$	$\chi^2_{0.01}$	$\chi^2_{0.025}$	$\chi^2_{0.05}$	$\chi^2_{0.1}$	$\chi^2_{0.9}$	$\chi^2_{0.95}$	$\chi^2_{0.975}$	$\chi^2_{0.99}$	$\chi^2_{0.995}$
1	.0000	.0002	.0010	.0039	.0158	2.706	3.841	5.024	6.635	7.879
2	.0100	.0201	.0506	.1026	.2107	4.605	5.991	7.378	9.210	10.60
3	.0717	.1148	.2158	.3518	.5844	6.251	7.815	9.348	11.34	12.84
4	.2070	.2971	.4844	.7107	1.064	7.779	9.488	11.14	13.28	14.86
5	.4117	.5543	.8312	1.145	1.610	9.236	11.07	12.83	15.09	16.75
6	.6757	.8721	1.237	1.635	2.204	10.64	12.59	14.45	16.81	18.55
7	.9893	1.239	1.690	2.167	2.833	12.02	14.07	16.01	18.48	20.28
8	1.344	1.646	2.180	2.733	3.490	13.36	15.51	17.53	20.09	21.95
9	1.735	2.088	2.700	3.325	4.168	14.68	16.92	19.02	21.67	23.59
10	2.156	2.558	3.247	3.940	4.865	15.99	18.31	20.48	23.21	25.19
11	2.603	3.053	3.816	4.575	5.578	17.28	19.68	21.92	24.72	26.76
12	3.074	3.571	4.404	5.226	6.304	18.55	21.03	23.34	26.22	28.30
13	3.565	4.107	5.009	5.892	7.042	19.81	22.36	24.74	27.69	29.82
14	4.075	4.660	5.629	6.571	7.790	21.06	23.68	26.12	29.14	31.32
15	4.601	5.229	6.262	7.261	8.547	22.31	25.00	27.49	30.58	32.80
16	5.142	5.812	6.908	7.962	9.312	23.54	26.30	28.85	32.00	34.27
17	5.697	6.408	7.564	8.672	10.09	24.77	27.59	30.19	33.41	35.72
18	6.265	7.015	8.231	9.390	10.86	25.99	28.87	31.53	34.81	37.16
19	6.844	7.633	8.907	10.12	11.65	27.20	30.14	32.85	36.19	38.58
20	7.434	8.260	9.591	10.85	12.44	28.41	31.41	34.17	37.57	40.00
22	8.643	9.542	10.98	12.34	14.04	30.81	33.92	36.78	40.29	42.80
24	9.886	10.86	12.40	13.85	15.66	33.20	36.42	39.36	42.98	45.56
26	11.16	12.20	13.84	15.38	17.29	35.56	38.89	41.92	45.64	48.29
28	12.46	13.56	15.31	16.93	18.94	37.92	41.34	44.46	48.28	50.99
30	13.79	14.95	16.79	18.49	20.60	40.26	43.77	46.98	50.89	53.67
35	17.19	18.51	20.57	22.47	24.80	46.06	49.80	53.20	57.34	60.27
40	20.71	22.16	24.43	26.51	29.05	51.81	55.76	59.34	63.69	66.77
45	24.31	25.90	28.37	30.61	33.35	57.51	61.66	65.41	69.96	73.17
50	27.99	29.71	32.36	34.76	37.69	63.17	67.50	71.42	76.15	79.49
60	35.53	37.48	40.48	43.19	46.46	74.40	79.08	83.30	88.38	91.95

FIGURE 13 – Table de la loi Khi-deux χ^2

$n \setminus \alpha$	0.001	0.01	0.02	0.05	0.1	0.15	0.2
1		0.99500	0.99000	0.97500	0.95000	0.92500	0.90000
2	0.97764	0.92930	0.90000	0.84189	0.77639	0.72614	0.68377
3	0.92063	0.82900	0.78456	0.70760	0.63604	0.59582	0.56481
4	0.85046	0.73421	0.68887	0.62394	0.56522	0.52476	0.49265
5	0.78137	0.66855	0.62718	0.56327	0.50945	0.47439	0.44697
6	0.72479	0.61660	0.57741	0.51926	0.46799	0.43526	0.41035
7	0.67930	0.57580	0.53844	0.48343	0.43607	0.40497	0.38145
8	0.64098	0.54180	0.50654	0.45427	0.40962	0.38062	0.35828
9	0.60846	0.51330	0.47960	0.43001	0.38746	0.36006	0.33907
10	0.58042	0.48895	0.45662	0.40925	0.36866	0.34250	0.32257
11	0.55588	0.46770	0.43670	0.39122	0.35242	0.32734	0.30826
12	0.53422	0.44905	0.41918	0.37543	0.33815	0.31408	0.29573
13	0.51490	0.43246	0.40362	0.36143	0.32548	0.30233	0.28466
14	0.49753	0.41760	0.38970	0.34890	0.31417	0.29181	0.27477
15	0.48182	0.40420	0.37713	0.33760	0.30397	0.28233	0.26585
16	0.46750	0.39200	0.36571	0.32733	0.29471	0.27372	0.25774
17	0.45440	0.38085	0.35528	0.31796	0.28627	0.26587	0.25035
18	0.44234	0.37063	0.34569	0.30936	0.27851	0.25867	0.24356
19	0.43119	0.36116	0.33685	0.30142	0.27135	0.25202	0.23731
20	0.42085	0.35240	0.32866	0.29407	0.26473	0.24587	0.23152
25	0.37843	0.31656	0.30349	0.26404	0.23767	0.22074	0.20786
30	0.34672	0.28988	0.27704	0.24170	0.21756	0.20207	0.19029
35	0.32187	0.26898	0.25649	0.22424	0.20184	0.18748	0.17655
40	0.30169	0.25188	0.23993	0.21017	0.18939	0.17610	0.16601
45	0.28482	0.23780	0.22621	0.19842	0.17881	0.16626	0.15673
50	0.27051	0.22585	0.21460	0.18845	0.16982	0.15790	0.14886
OVER 50	1.94947	1.62762	1.51743	1.35810	1.22385	1.13795	1.07275
	\sqrt{n}	\sqrt{n}	\sqrt{n}	\sqrt{n}	\sqrt{n}	\sqrt{n}	\sqrt{n}

FIGURE 14 – Table de loi Kolmogorov-Smirnov

Résumé

Actuellement, l'entreprise RTC-Béjaia a en projet la mise en place d'un nouveau système de protection contre les incendies au Terminal Marin de Béjaia pour augmenter la sécurité du site.

L'objectif principal de notre étude est d'évaluer la fiabilité, maintenabilité et la disponibilité des équipements du réseau anti incendie existant pour aider les décideurs à justifier la nécessité de mettre en place un nouveau système de protection. La première étape concerne l'approche statistique pour construire les lois de fiabilité et de maintenabilité des équipements. La seconde étape concerne la modélisation des lois de maintenabilité en utilisant les lois paramétriques. La troisième étape concerne la modélisation du fonctionnement du réseau étudié par les chaînes de Markov, afin de déterminer la disponibilité. Les résultats obtenus montrent une disponibilité très grande du réseau anti incendie.

Mots clés : disponibilité, fiabilité, maintenabilité, lois et tests paramétriques, chaînes de Markov.

Abstract

Currently, the company RTC-Bejaia is planning to set up a new fire protection system at the Terminal Marin of Bejaia to increase the security of the site.

The main objective of our study is to evaluate the reliability, maintainability and the availability of fire fighting equipment existing to help decision-makers justify the need to place a new protection system. The first step concerns the statistical approach to build the laws of reliability and maintainability equipment. The second step is modeling maintainability laws using parametric laws. The third step concerns modeling the operation of the network studied by Markov chains, to determine availability. The results obtained show a very high availability of the network fireproof.

Key words: availability, reliability, maintainability, laws and parametric tests, Markov chains.

— « *Chapitre 1* » —

Présentation de la Région de
Transport Centre de Sonatrach
(RTC) de Béjaia

— « *Chapitre 2* » —

Généralités sur la fiabilité et la
disponibilité

— « *Chapitre 3* » —

Méthodes de traitement statistique
des données

— « *Chapitre 4* » —

Analyse statistique des données

— « *Chapitre 5* » —

Etude de la disponibilité du réseau
anti-incendie

— « *Annexe* » —

— « *Bibliographie* » —

— « *Conclusion générale* » —

— « *Introduction générale* » —