

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université A. Mira de Béjaïa

Faculté des Sciences Exactes

Département de Recherche Opérationnelle

## Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master en Recherche Opérationnelle

Option : Modélisation Mathématique et Evaluation  
des performances des réseaux

### Thème

---

---

*Etude de fiabilité de la ligne de Fibre Optique Sonatrach  
(RTC Béjaïa-RTH).*

---

---

Présenté par :

Mr Boukhezar Fahem

Melle Hammouche Sabrina

Soutenues devant le jury composé de :

Présidente :	Mme	LEKADIR Ouiza	M.C.A	Université de Béjaïa
Rapporteur :	Mr	AISSANI Djamil	Professeur	Université de Béjaïa
Co-Rapporteur :	Melle	BOULFEKHAR Samra	M.C.A	Université de Béjaïa
Examinatrice :	Mme	ADEL Karima	M.C.A	Université de Béjaïa
Examinatrice :	Mme	TOUCHE Aïcha	M.A.A	Université de Béjaïa

Année Universitaire 2015 – 2016



# Dédicace

*Je Dédie Ce Travail à :*

*A la mémoire de mon grand père paternel*

*A mes très chers parents*

*A mon petit frère Sofiane*

*A Les Deux Famille HAMMOUCHE et HAMMADACHE*

*A Tous Les Amis et Tous Ceux Qui me Connaissent sans Exeption*

*A Tous Ceux Qui M'ont Aimé*

*A Et Qui Ne Méritent pas D'être Oubliés.*

*Sabrina*

# Dédicace

*Je Dédie Ce Travail à :*

*A la mémoire mes grands parents*

*A mes très chers parents*

*A mes frères*

*A Ma Nièces : Aya*

*A Les Deux Famille BOUKHEZAR et MEROINI*

*A Tous Les Amis et Tous Ceux Qui me Connaissent sans Exeption*

*A Tous Ceux Qui M'ont Aimé*

*A Et Qui Ne Méritent pas D'être Oubliés.*

*Fahem*

# *Remerciements*

*Nous Nos vifs remerciements vont d'emblée à Dieu tout puissant qui nous a doté d'une grande volonté et d'un savoir adéquat pour mener à bien cet humble travail.*

*Nous adressons nos remerciements tout particulièrement :*

*À nos chers parents, notre fierté et bien sur la source de notre réussite car ils se sont sacrifiés pour nous fournir une atmosphère de travail disposant de toutes les meilleures conditions, sans eux rien n'aurait pu être facile, que dieux nous les garde et les protège afin que l'on puisse leurs rendre un peu du beaucoup qu'ils nous ont procuré.*

*À notre Encadreur et Co-Encadreur en l'occurrence M<sup>r</sup> Djamil AISSANI et M<sup>lle</sup> Samra BOULFEKHAR.*

*Nos remerciements et nos appréciations sont aussi adressés à M<sup>me</sup> O.Lekadir pour avoir accepté de présider ce jury, à M<sup>me</sup> K.Adel et M<sup>me</sup> A.Touche qui ont accepté d'examiner notre modeste travail.*

*Au personnel de la Sonatrach de Béjaïa plus précisément M<sup>r</sup> A.Hanane pour son aide, M<sup>r</sup> Ait Idir à qui nous exprimons notre profonde reconnaissance pour leur disponibilité et leur précieuse aide qui nous a permit d'effectuer notre stage dans un environnement de travail d'exception.*

*À nos très chers ami (es) et à toutes les personnes qui ont contribué à la réussite de ce travail.*

*Enfin, nous tenons à remercier toute la promotion 2015-2016 master 2 Recherche Opérationnelle modélisation et réseau. Ainsi que tous nos enseignants et les membres du département Recherche Opérationnelle de Université Abderrahmane Mira, Bejaïa.*

# Table des matières

<b>Table des figures</b>	<b>iv</b>
<b>Liste des tableaux</b>	<b>iv</b>
<b>Notations &amp; Abréviations</b>	<b>vi</b>
<b>Introduction générale</b>	<b>1</b>
<b>Chapitre 1 Présentation de Sonatrach</b>	<b>3</b>
1.1 Historique de Sonatrach . . . . .	3
1.2 Description des principales activités de la Sonatrach . . . . .	3
1.3 La région transport centre de Bejaia . . . . .	4
1.4 Organisation structurelle et fonctionnelle de la RTC . . . . .	4
1.5 Présentation des différentes structures de RTC . . . . .	5
1.5.1 Sous-Direction Exploitation (SDE) . . . . .	5
1.5.2 Sous-Direction Administration (SDA) . . . . .	5
1.5.3 Sous-Direction Finance et Juridique (SDFJ) . . . . .	6
1.5.4 Sous-Direction Technique (SDT) . . . . .	6
1.5.5 Autre structures de la RTC . . . . .	9
1.6 Conclusion . . . . .	9
<b>Chapitre 2 Les réseaux de Télécommunication</b>	<b>10</b>
2.1 Introduction . . . . .	10
2.2 Généralités sur les réseaux de télécommunication . . . . .	10
2.3 Nature des informations transmises . . . . .	10
2.4 Classification des réseaux de télécommunication . . . . .	11
2.5 Topologie des réseaux . . . . .	11
2.6 Différents types de commutation . . . . .	14
2.7 Supports de transmission . . . . .	14

2.8	Présentation du Réseau de télécommunication . . . . .	15
2.9	Fiabilité dans les réseaux de Télécommunication . . . . .	16
2.9.1	Cause des pannes . . . . .	17
2.9.2	Détection des pannes . . . . .	17
2.9.3	Banque de données . . . . .	17
2.10	Conclusion . . . . .	17
<b>Chapitre 3 Principaux concepts de la théorie de fiabilité</b>		<b>18</b>
3.1	Introduction . . . . .	18
3.2	Objectifs et intérêts de la fiabilité . . . . .	18
3.3	Concepts généraux de la fiabilité . . . . .	19
3.3.1	Durée de vie . . . . .	19
3.3.2	La fonction fiabilité ou fonction de survie . . . . .	19
3.3.3	Taux de défaillance (ou taux de hasard) . . . . .	20
3.4	Principales lois de probabilité utilisées en fiabilité . . . . .	20
3.4.1	Loi exponentielle $exp(\lambda)$ . . . . .	21
3.4.2	Loi de Weibull $\mathcal{W}(\beta, \alpha)$ . . . . .	21
3.4.3	Loi Gamma $G(\alpha, \beta)$ . . . . .	21
3.4.4	Loi log-normale $Log.\mathcal{N}(\mu, \sigma^2)$ . . . . .	22
3.5	Fiabilité des systèmes . . . . .	22
3.5.1	Systèmes en série . . . . .	22
3.5.2	Systèmes en parallèle . . . . .	23
3.5.3	Systèmes $k$ parmi $n$ . . . . .	23
3.5.4	Redondances . . . . .	24
3.6	Conclusion . . . . .	24
<b>Chapitre 4 Méthodes statistiques</b>		<b>25</b>
4.1	Introduction . . . . .	25
4.2	Propriétés des estimateurs . . . . .	25
4.3	Méthode du Maximum de Vraisemblance . . . . .	27
4.4	Les tests d'ajustement . . . . .	28
4.4.1	Tests Kolmogorov-Smirnov . . . . .	28
4.4.2	Tests Khi-Deux . . . . .	29
4.5	Méthode statistique de la prévision . . . . .	30
4.5.1	Séries Chronologiques . . . . .	30

4.5.2	Lissage Exponentiel . . . . .	30
4.6	Conclusion . . . . .	32
<b>Chapitre 5</b>	<b>Analyse de la fiabilité de la ligne de fibre optique de Sonatrach</b>	<b>33</b>
5.1	Introduction . . . . .	33
5.2	Présentation du fonctionnement du réseau de Sonatrach . . . . .	33
5.3	Collecte de données . . . . .	35
5.4	Modélisation paramétrique de lois de fiabilité . . . . .	35
5.5	Evaluation des fonctions de fiabilité et du taux de défaillances des liens de transmission et des radios . . . . .	36
5.6	Calcul de fiabilité du réseau de télécommunication . . . . .	37
5.7	Application de la méthode du lissage exponentiel . . . . .	39
5.8	Interprétation des résultats . . . . .	57
5.9	Conclusion . . . . .	57
<b>Conclusion générale</b>		<b>58</b>

# Table des figures

1.1	Organigramme de la RTC -Bejaia . . . . .	4
1.2	Organigramme du Département maintenance . . . . .	7
2.1	<i>Réseau en Bus</i> . . . . .	12
2.2	<i>Réseau en Anneau</i> . . . . .	12
2.3	<i>Réseau en étoile</i> . . . . .	13
2.4	<i>Réseau maillé</i> . . . . .	13
2.5	Carte du réseau de Télécommunication . . . . .	16
3.1	Fonction de fiabilité . . . . .	20
5.1	Diagramme de fiabilité de la ligne de fibre optique de Sonatrach . . . . .	34
5.2	Graphe de la série originale du lien1 . . . . .	41
5.3	Graphe de la série originale du lien2 . . . . .	41
5.4	Graphe de la série originale du lien3 . . . . .	42
5.5	Graphe de la série originale du lien4 . . . . .	42
5.6	Graphe de la série originale du lien1 ainsi que ses différentes composantes . . .	43
5.7	Graphe de la série originale du lien2 ainsi que ses différentes composantes . . .	43
5.8	Graphe de la série originale du lien3 ainsi que ses différentes composantes . . .	44
5.9	Graphe de la série originale du lien4 ainsi que ses différentes composantes . . .	44
5.10	La série originale du lien1 et son ajustement . . . . .	46
5.11	Graphe de la série originale du lien1 et sa prévision . . . . .	47
5.12	La série originale du lien2 et son ajustement . . . . .	49
5.13	Graphe de la série originale du lien2 et sa prévision . . . . .	50
5.14	La série originale du lien3 et son ajustement . . . . .	52
5.15	Graphe de la série originale du lien3 et sa prévision . . . . .	53
5.16	La série originale du lien4 et son ajustement . . . . .	55
5.17	Graphe de la série originale du lien4 et sa prévision . . . . .	56

# Liste des tableaux

5.1	Les liens de transmission de Sonatrach . . . . .	34
5.2	Les équipements de transmission de Sonatrach . . . . .	34
5.3	Les radios de Sonatrach . . . . .	35
5.4	Résultat du traitement statistique des TBF des liens . . . . .	36
5.5	Résultat du traitement statistique des TBF des radios . . . . .	36
5.6	les indices de fiabilité pour les liens . . . . .	37
5.7	les indices de fiabilité pour les radios . . . . .	37
5.8	Nombre de panne mensuel du lien1 . . . . .	40
5.9	Nombre de panne mensuel du lien2 . . . . .	40
5.10	Nombre de panne mensuel du lien3 . . . . .	40
5.11	Nombre de panne mensuel du lien4 . . . . .	40
5.12	Les coefficients saisoniers . . . . .	45
5.13	Prévisions pour l'année 2016, 2017 et 2018 . . . . .	46
5.14	Les coefficients saisoniers . . . . .	48
5.15	Prévisions pour l'année 2016, 2017 et 2018 . . . . .	50
5.16	Les coefficients saisoniers . . . . .	51
5.17	Prévisions pour l'année 2016, 2017 et 2018 . . . . .	53
5.18	Les coefficients saisoniers . . . . .	54
5.19	Prévisions pour l'année 2016, 2017 et 2018 . . . . .	56
5.20	Temps de bon fonctionnement du lien1 (Bejaia-BéniMansour) . . . . .	60
5.21	Temps de bon fonctionnement du lien2 (BéniMansour-M'sila) . . . . .	61
5.22	Temps de bon fonctionnement du lien3 (M'sila-Biskra) . . . . .	62
5.23	Temps de bon fonctionnement du lien4 (Biskra-Djamaa(HEH)) . . . . .	62
5.24	Temps de bon fonctionnement de la radio R1 . . . . .	63
5.25	Temps de bon fonctionnement de la radio R2 . . . . .	64
5.26	Temps de bon fonctionnement de la radio R3 . . . . .	65
5.27	Temps de bon fonctionnement de la radio R4 . . . . .	66

5.28 Temps de bon fonctionnement de la radio R5 . . . . .	67
5.29 Valeurs critiques de $d_{(n,\alpha)}$ , pour une taille $n$ de l'échantillon et des niveaux de signification $\alpha$ . . . . .	68

# Notations & Abréviations

RTC	: Région Transport Centre-Béjaia ;
RTH	: Région Transport de Haoud el-Hamra ;
SBM	: Station de pompage de Beni Mansour ;
TRC	: Transport par Canalisation ;
ADSL	: Asymmetric Digital Subscriber Line ;
GNL1	: Gaz Naturel Liquifié ;
GPL2	: Gaz de Pétroles Liquifié ;
SDE	: Sous-Direction Exploitation ;
EXL	: EXploitation Liquide ;
EXG	: EXploitation Gaz ;
SDA	: Sous-Direction Administration ;
RHC	: Ressources Humaine et Communication ;
ASL	: Administratif et Social ;
MOG	: MOyen Généraux ;
SDFJ	: Sous-Direction Finance et Juridique ;
FIN	: FINance ;
BDG	: BuDGet ;
JUR	: JURidique ;
SDT	: Sous-Direction Technique ;
ATR	: Approvisionnement et TRansport ;
MTN	: MainTeNance ;
HT	: Hors Taxes ;

PTO : ProTectiOn des Ouvrages ;  
TNF : Travaux NeuF ;  
CI : Centre Informatique ;  
HSE : Hygiène Sécurité Environnement ;  
ASI : Assistante Sécurité Interne ;  
AFNOR : Association Française de Normalisation ;  
HEH : Haoud El-Hamra.

# Introduction générale

Les réseaux de télécommunications sont nés du besoin des hommes d'échanger de l'information comme le réseau Télex, réseau Téléphonique, réseau Informatique, etc. Ces réseaux ont connus plusieurs évolutions technologiques. Autrefois, le réseau téléphonique ne transportait que la voix. Maintenant, par les techniques ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line), il transporte aussi des données constituées de lettres et de nombres voire même de la vidéo constituée d'image et de sons. Nous assistons là à la convergence des réseaux. C'est également vrai dans le monde de l'entreprise où les réseaux informatiques peuvent transporter non seulement des données mais aussi de la voix ou des images.

Nous désignons par le terme de réseaux de télécommunication, l'ensemble des moyennes mis en œuvre pour permettre à des usagé distance d'échanger entre eux des informations avec un délai aussi court que possible. Selon la nature du service de base rendu, on distingue en général le réseau téléphonique (échange et parole) et les réseaux de données (échange de message codés, y compris télégraphiques). Un réseau est composé de centres de communication ou nœuds reliés entre eux par des lignes de transmission : les nœuds transmettent les messages aux autres nœuds du réseau [1].

Les réseaux de télécommunications représentent pour l'entreprise Sonatrach, particulièrement le secteur du transport des hydrocarbures, un moyen indispensable au contrôle des mouvements des produits (pétrole et Gaz) et la consolidation quotidienne de gestion. C'est surtout la voie qui permet d'assurer le transport des hydrocarbures dans les conditions de sécurité adéquates.

L'objet de notre application est l'étude de fiabilité du réseau de télécommunication de Sonatrach (la ligne de fibre optique). Sa structure est modélisée par un diagramme de fiabilité.

La fiabilité est née, sans doute, au cours de la 2<sup>ème</sup> guerre mondiale. Actuellement, l'étude de fiabilité devient une discipline à part entière. Les problèmes économiques (cout de défaillance, gestion de personnel de maintenance, etc) rendent nécessaire la connaissance de fiabilité du système. L'analyse de la fiabilité constitue une phase indispensable dans toute étude de sûreté de fonctionnement d'un système. Il est à signaler que l'analyse de fiabilité dans n'importe quel domaine est un outil très important pour caractériser le comportement d'un système dans les différentes phases de vie.

À fin d'avoir une idée précise et claire de la manière de mise en œuvre des outils statistique, le stage pratique effectué au sein de Sonatrach, nous a permis de mettre la pratique à nos connaissances théorique acquises en statistique. Nous nous somme intéressés à la modélisation du nombre de pannes des liens de transmission de la fibre optique dans la période 2011 jusqu'au 2015.

Ce mémoire comprend une introduction, cinq chapitres, une conclusion, une annexe et une bibliographie.

Le premier chapitre est consacré à la présentation de la RTC Sonatrach Béjaïa.

Dans le deuxième chapitre, nous présentons le réseau de télécommunication de Sonatrach (la ligne de fibre optique) et nous donnons un aperçu sur les différents types.

Dans le troisième chapitre, nous définissons les concepts de base de fiabilité ainsi que les différentes configurations des systèmes de fiabilité.

Le quatrième chapitre concerne le concept des méthodes statistiques ainsi que la prévision.

Dans le dernier chapitre, nous évoquons l'évaluation de la fiabilité et en utilisant le test paramétrique. Nous nous intéressons à la modélisation du nombre de pannes des liens de transmission de la fibre optique dans la période 2011 jusqu'au 2015, cette prévision à court terme par la méthode de lissage exponentielle, nous a permis de déterminer le lien critique.

# Chapitre 1

## Présentation de Sonatrach

### 1.1 Historique de Sonatrach

L'entreprise Sonatrach (société nationale pour le transport et la commercialisation des hydrocarbures) a été créée par décret N°63/491 du 31 décembre 1963. Le 22 octobre 1966 le statut de Sonatrach ont été modifiés par le décret N°66/292 pour devenir "Société Nationale pour la Recherche, la Production, le Transport, la Transformation et la Commercialisation des hydrocarbures".

Sonatrach est la première entreprise du continent africain. Elle est classée 11<sup>ème</sup> compagnie pétrolière mondiale, 2<sup>ème</sup> exportateur de GNL1 et de GPL2 et 3<sup>ème</sup> exportateur en gaz naturel [2].

### 1.2 Description des principales activités de la Sonatrach

Sonatrach exerce ses activités dans quatre principaux domaines à savoir :

- **L'activité Amont** : recouvre les métiers de recherche, d'exploration, de développement et de production des hydrocarbures.
- **L'activité Transport** : assure l'acheminement des différents hydrocarbures par canalisation.
- **L'activité Aval** : a en charge le développement et l'exploitation des complexes hydrocarbures (liquéfaction, raffinerie, etc).
- **L'activité Commercialisation** : a pour mission l'élaboration et l'application de la stratégie commerciales de Sonatrach sur le marché national et international.

### 1.3 La région transport centre de Bejaia

La Région Transporte Centre (RTC) est l'une des sept Régions de Transport par Canalisations (TRC) des hydrocarbures. Elle est rattachée directement à la division exploitation. Son effectif est d'environ quatre cent quatre vingt (480) travailleurs répartis sur onze (11) sites géographiques. Sa mission consiste en le transport, le stockage, et la livraison des hydrocarbures liquides et gazeux (pétrole brut et gaz naturel) de la région centre du pays via les pipelines.

### 1.4 Organisation structurelle et fonctionnelle de la RTC

La RTC est composée de quatre sous direction qui sont elle même composée de départements. Les différents sous direction et départements de la RTC sont représentés dans l'organigramme suivant :

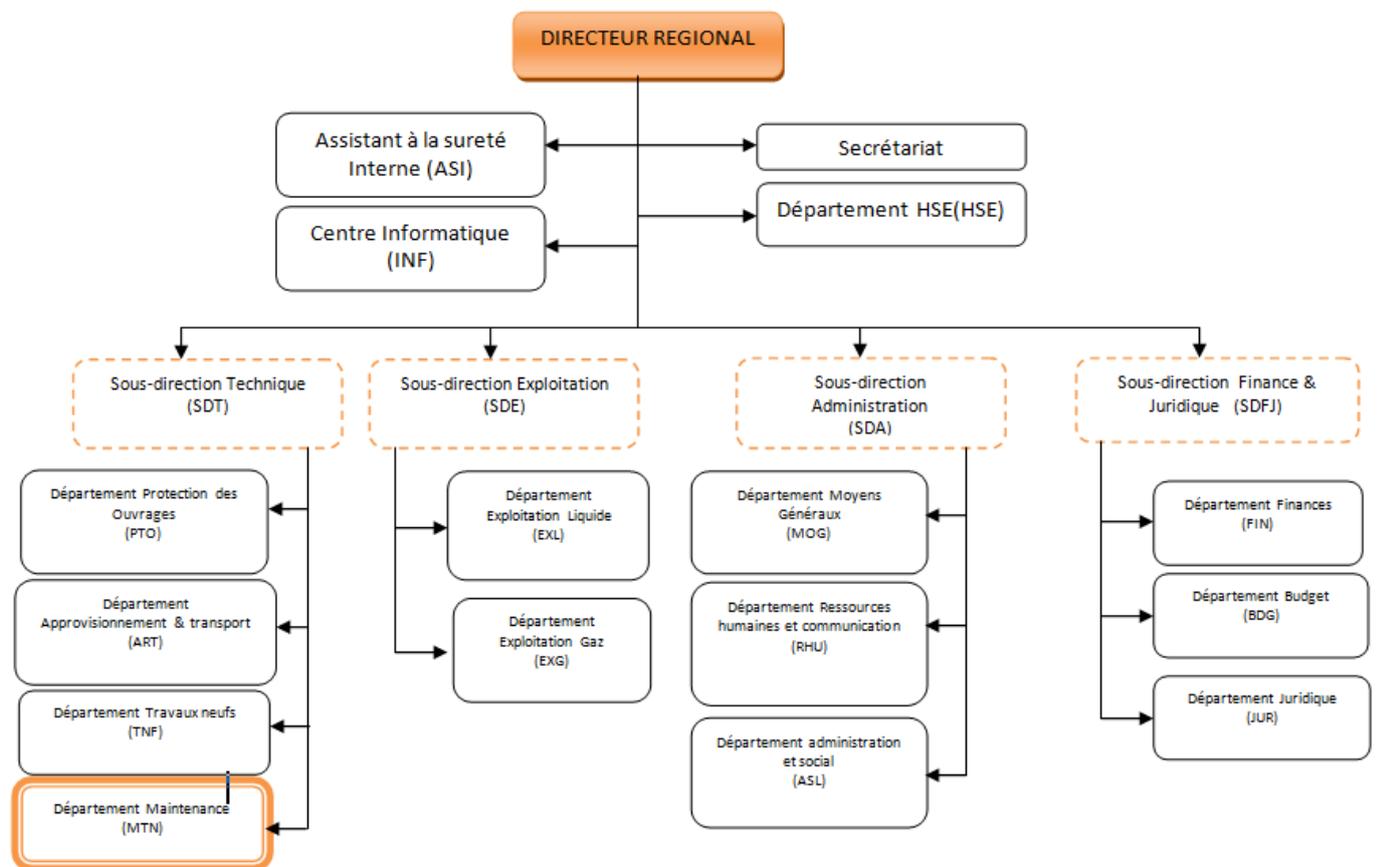


FIGURE 1.1 – Organigramme de la RTC -Bejaia

## **1.5 Présentation des différentes structures de RTC**

Dans ce qui suit, nous allons présenter les différentes sous-directions de RTC :

### **1.5.1 Sous-Direction Exploitation (SDE)**

La sous-direction Exploitation chapeaute deux départements qui sont :

#### **Département EXploitation Liquide (EXL)**

Ce département est chargé des missions suivantes :

- Transport de pétrole brut et du condensât de Haoud El Hamra vers les terminaux de Béjaïa et de la raffinerie de Sidi Arcine-Alger.
- Chargement de bateaux en pétrole brut et de condensât
- Livraison de pétrole à la raffinerie de Sidi Arcine-Alger.
- Stockage de pétrole brut et condensât.
- Gestion des stations de pompage et des terminaux.

#### **Département EXploitation Gaz (EXG)**

Ce département, créé à partir de 2004, est chargé de l'exploitation du gazoduc allant de Hassi R'mel à Bordj Menaiel. Le gaz est livré directement à la SONALGAZ pour l'alimentation des centrales électriques et pour les consommations domestiques. Il gère deux stations qui sont :

- Station de compression Medjedel
- Terminal GG1 Bordj Menaiel

### **1.5.2 Sous-Direction Administration (SDA)**

Elle est composée de trois départements qui sont :

#### **Département Ressources Humaine et Communication (RHC)**

La mission de ce département est d'acquiescer des ressources humaines en nombre et en qualité, d'assurer l'évolution de leur carrières et de planifier les besoins à court et moyen terme, tant en effectif qu'en besoins de formation, de perfectionnement et de recyclage. Pour ses besoins, ce département dispose d'un cadre de communication qui anime une cellule de communication.

### **Département Administratif et Social (ASL)**

Ce département veille au respect des lois en vigueur qui régissent les relations de travail. Il est aussi chargé de la gestion du personnel de RTC.

### **Département MOyen Généraux (MOG)**

Ce département assure le soutien logistique de l'entreprise (restauration, hébergement des missionnaires, entretien des bâtiments et des espaces verts, achat de fournitures de bureau, etc).

## **1.5.3 Sous-Direction Finance et Juridique (SDFJ)**

La sous direction finance et juridique est composée de trois départements :

### **Département FINance (FIN)**

Il prend en charge la gestion comptable et financière de RTC, il assure l'enregistrement chronologique des informations de comptabilité " et la gestion de la trésorerie comme il fait des appels de fonds à la division de commercialisation des hydrocarbures.

### **Département BuDGet (BDG)**

Ce département était l'un des services du département finances, devenu département dans la cadre du nouvel organigramme.

Il est chargé :

- D'élaborer le budget prévisionnel de l'année à venir, en se basant sur les prévisions élaborées par chaque structure de la RTC.
- D'élaborer le plant de gestion à court moyen et terme.

### **Département JURidique (JUR)**

Ce département veille sur la légalité des transactions, lance des appels d'offre nationaux et internationaux, les litiges née entre RTC et les tiers et s'occupe aussi des assurances du patrimoine de l'entreprise.

## **1.5.4 Sous-Direction Technique (SDT)**

Elle se compose de quatre départements :

### Département Approvisionnement et TRansport (ATR)

Ce département comme son nom l'indique assure les approvisionnements nécessaires pour la bonne exploitation des installations, le stockage des pièces de rechange nécessaires pour une année minimum d'utilisation et le transport en tout genre.

### Département MainTeNance (MTN)

La mission principale de ce département est de veiller au maintien du bon état de fonctionnement des équipements et des installations techniques de la région.

Ce département est actuellement structuré comme suit :

- Service Mécanique,
- Service Instrument ;
- Service Méthode ;
- Service Télécommunication ;
- Service Electricité.

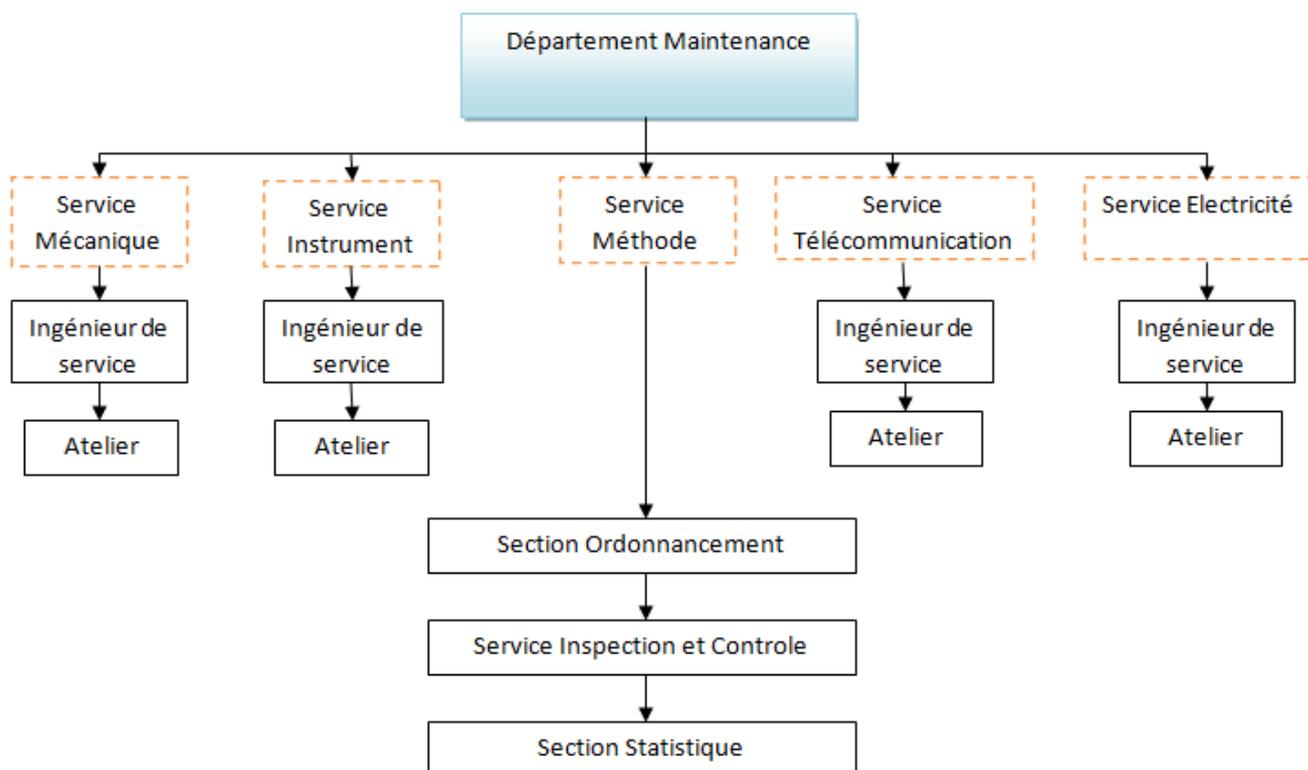


FIGURE 1.2 – Organigramme du Département maintenance

### **a. Service Mécanique**

Ce service s'occupe, essentiellement, de la maintenance des parties mécaniques des équipements principaux des stations de pompage. Il est constitué d'un atelier de réparation, doté de toutes les machines nécessaires pour les révisions, dépannages et modifications.

### **b. Service Instrument**

Ce service s'occupe, essentiellement, des appareils de mesure.

### **c. Service Méthode**

C'est un service de coordination entre les autres services. Ses fonctions principales sont :

- Suivi des approvisionnements en matière première (pièce de rechange) ;
- Etablissement deux plan de production ;
- Elaboration des rapports d'incident ;
- Analyse des dossiers techniques et historiques des équipements ;
- Etablissement des mises à jour des catalogues constituant le dossier équipement.

### **d. Service Télécommunication**

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

- Radio HT fixe, HT mobile.
- Réseau téléphonique de 400 lignes extensible à 1000 lignes.
- Réseau télégraphique.

### **e. Service Electricité**

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

- Equipement industriels.
- Equipements Electromécanique.
- Equipement de conditionnement.

### **Département ProTection des Ouvrages (PTO)**

Ce département est chargé de la réparation des canalisations et des ouvrages de génie civil y afférent ainsi que de la protection cathodique des installations.

### **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 de la région.

Le département travaux neufs gère environ quatre vingt pourcent (80%) du budget global de région.

### **1.5.5 Autre structures de la RTC**

Les structures suivantes sont rattachées directement à la direction régionale :

#### **Centre Informatique (CI)**

Il a pour mission de :

- Développer, installer et exploiter des applications informatiques.
- Maintenance du parc informatique de la région.

#### **Département Hygiène Sécurité Environnement (HSE)**

Il a pour mission de :

- Protection et sauvegarde du patrimoine humain et matériel de la région ;
- Veille au respect, stricte des normes et standards en matière d'hygiène.

#### **Assistante sécurité interne (ASI)**

Il veille à la sécurité et à l'intégrité des installations et des personnes de la région.

## **1.6 Conclusion**

Notre stage de fin cycle s'est déroulé à la sous-direction technique et plus exactement au département de MTN qui a pour mission de veiller au maintien du bon état de fonctionnement des équipements et des installations techniques de la région.

Durant notre stage au service Télécommunication, on s'est intéressé au réseau de télécommunication (la ligne de Fibre Optique) allant de la RTH vers RTC, qu'on présentera dans le chapitre suivant.

# Chapitre 2

## Les réseaux de Télécommunication

### 2.1 Introduction

La naissance des réseaux de télécommunication fournit un puissant média de communication entre équipements véhiculant différents types d'informations (voix, données, etc), qui peuvent faire intervenir de multiples autres équipements et provoquer la transmission des signaux de nature variée sur des supports également variés.

Ce chapitre est consacré à la présentation des réseaux de télécommunication. Nous donnons un aperçu sur les différents types, en particulier, le réseau télécommunication de Sonatrach (la ligne de fibre optique).

### 2.2 Généralités sur les réseaux de télécommunication

Un réseau de télécommunication est une notion générale, qui est un ensemble d'objets interconnectés les uns avec les autres. Il permet de faire circuler des éléments entre chacun de ces objets selon des règles bien définies. Selon le type d'objet, on parlera parfois de :

**Réseau téléphonique :** Qui permet de faire circuler la voix entre plusieurs postes de téléphone.

**Réseau informatique :** Ensemble d'ordinateurs reliés entre eux grâce à des lignes physiques et échangeant des informations sous forme de données binaires.

### 2.3 Nature des informations transmises

Nous parlerons d'applications téléphoniques, informatiques et téléinformatiques quelconques dans la mesure où la nature des informations peut être très variée :

- Parole humaine.
- Données alphanumériques (textes, données structurées, caractères, etc).
- Images fixes ou animées en noir et blanc ou en couleur.
- Informations multimédia qui intègrent plusieurs informations (textes, sons, images fixes ou animées, etc).

### 2.4 Classification des réseaux de télécommunication

La classification des réseaux de télécommunications dépend généralement de plusieurs critères de choix dont :

1. Distance séparant l'émetteur du récepteur.
2. Taille du réseau (en termes de nombre de machines interconnectées).
3. Niveau de sécurité nécessaire.
4. Type d'activité.
5. Topologie de connexion.
6. Volume du trafic sur le réseau.
7. Besoins des utilisateurs du réseau.

### 2.5 Topologie des réseaux

L'arrangement physique des terminaux qui constituent le réseau est appelé *topologie du réseau*. On distingue plusieurs types de topologie : en bus, en anneau, en étoile, etc [3].

**Topologie en bus :** Dans la topologie en bus (Figure 2.1), tous les équipements sont reliés à un support commun. Les topologies en bus sont conçues de façon à ce qu'il n'y ait qu'un seul chemin entre deux éléments du réseau, l'information transmise par équipement propage sur tout le bus, chaque équipement reçoit une copie de l'information, le support est de type bidirectionnel. Il permet l'émission d'informations sur les bus vers les stations "amont" et "aval".

L'avantage de cette topologie est la simplicité de l'installation et son inconvénient réside dans le fait que la rupture de câble, engendre le blocage de tout le réseau.

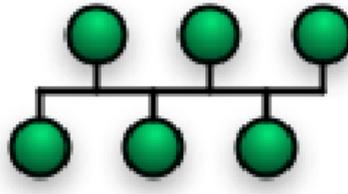


FIGURE 2.1 – Réseau en Bus

**Topologie en anneau :** Dans la topologie en anneau (Figure 2.2), le support relie tous les équipements deux à deux, de façon à former un anneau. Le support est utilisé de façon unidirectionnelle et l'information circule dans un seul sens. Chaque équipement est un élément actif du réseau car il permet la propagation de l'information par retransmission à son voisin.

Le problème de cette topologie est son manque de fiabilité en cas de rupture du support, c'est pour cette raison que l'on double parfois le support, les deux anneaux peuvent transmettre dans le même sens ou en sens inverse. La seconde solution est préférable car elle permet de reconfigurer le réseau en cas de rupture des deux anneaux.

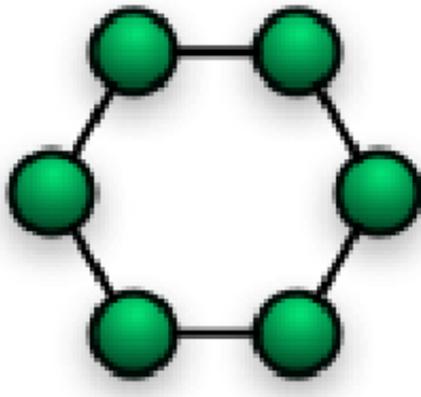


FIGURE 2.2 – Réseau en Anneau

**Topologie en étoile :** Dans la topologie en étoile (Figure 2.3), qui est aussi la topologie des centraux, tous les éléments di réseau sont reliés à un nœuds central.

Cette topologie relativement la plus économique, la majorité des réseaux locaux fonctionnent sur ce principe, mais il présente également des fragilités : en cas de panne du nœuds central engendre la dégradation des performances de tous le réseau.

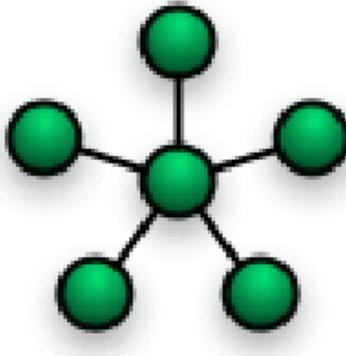


FIGURE 2.3 – Réseau en étoile

**Topologie maillé :** Tous les terminaux sont reliés entre eux (Figure 2.4) d'un lien direct, c'est la topologie la plus fiable, mais présente un coût d'installation très élevé.

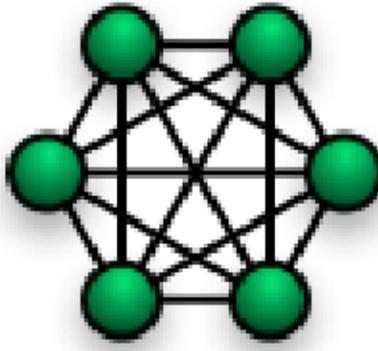


FIGURE 2.4 – Réseau maillé

## 2.6 Différents types de commutation

La commutation est un principe simple qui consiste à établir ou modifier des connexions entre deux points d'un réseau. Elle repose essentiellement sur la nécessité de tirer profit d'une infrastructure commune alors qu'il est peu probable que tous les utilisateurs soient connectés en même temps. Elle introduit ainsi une autre notion fondamentale des réseaux modernes : le partage.

**Commutation de circuits :** Pour échanger des informations entre deux équipements terminaux, il est nécessaire de déterminer un chemin à travers le réseau et de réserver un support de transmission entre chaque paire de commutateurs situés sur ce chemin. Les nœuds par lesquels passe la communication sont appelés "Commutateurs". Ce type de commutation présente l'inconvénient de monopoliser les circuits entre commutateurs pendant la durée entière du dialogue. Il est donc nécessaire de multiplier les circuits entre commutateurs. En revanche, il présente l'avantage d'être assez simple, la commutation de circuits peut s'appliquer sur un réseau analogique ou bien numérique.

**Commutation de messages :** La commutation de messages s'applique aux seuls réseaux numériques. Un message est défini comme une suite de données binaires (un fichier complet, un courrier électronique, etc), qui transite ainsi à travers le réseau par réémission successive entre les commutateurs (on utilise quelque fois le terme anglais store-and-forward). Cette technique a été utilisée pour le télex et la télégraphie. Les inconvénients de la commutation de messages sont liés à la taille des messages.

**Commutation par paquets :** La commutation par paquets consiste à découper les messages en morceaux appelés paquets (*frames*). A chaque paquet sont ajoutées des informations permettant d'identifier l'expéditeur et le destinataire. La taille maximale d'un paquet est fonction du réseau, les paquets sont acheminés par le réseau comme dans un réseau à commutation de messages jusqu'au destinataire, celui-ci attend la réception de tous les paquets pour reconstituer le message et le traiter, cette opération est le réassemblage.

## 2.7 Supports de transmission

Pour permettre la transmission des différents types d'informations (voix, données, etc), il est nécessaire de disposer d'une liaison entre la source et la destination [10].

**Fibre optique :** Une fibre optique est semblable à un câble coaxial sans tresse métallique, au centre de la fibre se trouve le cœur en verre, à l'intérieur duquel se propagent les signaux

lumineux. Le coeur d'une fibre multimode à un diamètre d'environ 50 microns, il est équivalent à l'épaisseur d'un cheveu ; celui d'une monomode varie entre 8 et 10 microns.

Lorsqu'un signal lumineux traverse un milieu, par exemple le verre, il subit une perte de puissance, c'est l'atténuation, qui dépend très étroitement de la longueur d'onde du signal. L'atténuation de la lumière selon la longueur d'onde dans une fibre optique est exprimée en décibels par kilomètre de fibre.

**Le faisceau hertzien :** Le faisceau hertzien est un système de transmission aérien par ondes radioélectriques entre une station d'émission et une station de réception. Le système comporte des stations intermédiaires espacées de 50 kms. La propagation des ondes ne doit pas être gênée par des obstacles naturels, une liaison suppose un trajet en ligne droite.

**Câblage à paire torsadée :** Dans sa forme la plus simple, le câble à paire torsadée (en anglais Twisted-pair cable) est constitué de deux câbles en cuivre d'un millimètre de diamètre isolés l'un de l'autre et enroulés l'un sur l'autre de façon hélicoïdale.

**Câble coaxial :** Le câble coaxial (coaxial câble) a longtemps été le câblage de prédilection, pour la simple raison qu'il est peu coûteux et facilement manipulable (poids, flexibilité, etc). Un câble coaxial est constitué d'une partie centrale (appelée âme), c'est-à-dire un fil de cuivre, enveloppé dans un isolant, puis d'un blindage métallique tressé et enfin d'une gaine extérieure.

## 2.8 Présentation du Réseau de télécommunication

Le réseau de télécommunication (la ligne de fibre optique) de Sonatrach est configuré tel qu'il est donné par la carte suivante (partant de Haoud-El-Hamra vers Béjaia (ligne verte)) :



FIGURE 2.5 – Carte du réseau de Télécommunication

Le type d'information qui sont acheminées par ce réseau appartiennent aux réseaux suivant :

1. Réseau Téléphonie,
2. Réseau Télex,
3. Réseau Internet,
4. Réseau Transmission de données.

C'est à dire toutes les informations de ces réseaux passe, par le même chemin (support de transmission).

## 2.9 Fiabilité dans les réseaux de Télécommunication

Un réseau de télécommunication est un réseau complexe destiné à transmettre des informations entre deux paires de noeuds (centraux où destinataires comme les banques, postes, etc) à travers des liens de transmission. Une défaillance de quelques composantes du réseau (support de transmission, équipement de distribution d'information, etc) peut influencer sur ses performances et ainsi sur la qualité de service délivré à ses utilisateurs (perte d'information, augmentation de la durée de transmission des données).

### 2.9.1 Cause des pannes

L'origine de la panne peut être présente dès le début de la vie opérationnelle du réseau. La panne peut survenir accidentellement d'une imperfection physique du matériel, qui peut être due à des mauvais fonctionnements intermittents des composants ; ces pannes peuvent avoir des causes internes au système (séquençement critique des circuits, tolérance trop faible, mauvaises connexions, etc) ou externes (perturbation provenant de l'environnement, etc).

### 2.9.2 Détection des pannes

La détection des pannes se fait par des systèmes de contrôle. Sonatrach utilise des logiciels spéciaux, on citera le Alcatel-Lucent pour détecter les pannes soit au niveau des supports de transmission (Cable de transmission) soit au niveau des équipements de transmission.

### 2.9.3 Banque de données

La construction d'une base de données de fiabilité des composants électroniques est nécessaire pour l'étude de la sûreté de fonctionnement des équipements des réseaux de télécommunications.

Au sein de l'entreprise Sonatrach, les données des pannes sont enregistrées suivant : date et heure de la panne et réparation, type d'équipement tombant en panne (support de transmission), endroit de la coupure et la cause de la coupure.

Ces données sont stockées sur une base de données au service de télécommunication .

## 2.10 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons donné un aperçu général sur les réseaux de télécommunication, puis nous avons présenté le réseau de télécommunication (la ligne de Fibre Optique) de Sonatrach. Enfin, nous avons présenté la fiabilité dans les réseaux de télécommunication.

Dans le chapitre suivant, nous allons donner un aperçu des principaux concepts de la théorie de fiabilité.

# Chapitre 3

## Principaux concepts de la théorie de fiabilité

### 3.1 Introduction

La performance d'une entreprise est dépendante de la fiabilité de son système, ce dernier subit une défaillance quand il ne peut plus délivrer le service attendu, alors la panne est l'état du système résultant d'une défaillance, qui se produit de façon aléatoire. Il est logique, alors, de faire appel au calcul des probabilités pour étudier les problèmes de fiabilité. Ainsi, nous définissons la fiabilité d'un dispositif comme étant sa probabilité de fonctionner correctement pendant une durée donnée, autrement dit la probabilité qu'aucune défaillance ne se produise pendant cette durée. Dans ce qui suit, nous allons présenter quelques notions de la théorie de la fiabilité ainsi que son intérêt et ses propriétés.

### 3.2 Objectifs et intérêts de la fiabilité

L'analyse de la fiabilité constitue une phase indispensable dans toute étude de sûreté de fonctionnement d'un système. A l'origine, la fiabilité concernait les systèmes à haute technologie (centrales nucléaires, aérospatial). Aujourd'hui, la fiabilité est devenue un paramètre clé de la qualité et d'aide à la décision, dans l'étude de la plupart des composants, produits et processus "grand public" : transport, énergie, bâtiments, composants électroniques, composants informatiques, etc.

De nombreux industriels travaillent à l'évaluation et l'amélioration de la fiabilité de leurs produits au cours de leur cycle de développement, de la conception à la mise en service (conception, fabrication et exploitation) afin de développer leurs connaissances sur le rapport Coût/Fiabilité et maîtriser les sources de défaillance [5].

### 3.3 Concepts généraux de la fiabilité

Le néologisme *Fiabilité*, la traduction en Français du terme Anglo-saxon *Reliability*, exprime la confiance de l'utilisateur dans l'appareil qu'il utilise ou qui lui est proposé. Ce n'est que le 9 Avril 1962 que ce néologisme a été admis par l'Académie des sciences qui en a donné la définition suivante : *Grandeur caractérisant la sécurité de fonctionnement, ou mesure de la probabilité de fonctionnement d'un appareillage selon des normes prescrites* [6].

Cette définition fait intervenir plusieurs concepts : la probabilité de bon fonctionnement, les performances à accomplir, les conditions d'opérations et enfin la durée de vie.

#### 3.3.1 Durée de vie

On appelle durée de vie d'un équipement le temps qui s'écoule entre sa mise en exploitation jusqu'à la première panne. Elle sera assimilée par une variable aléatoire non négative  $T$  [7]. Sa fonction de répartition :

$$F(t) = P(T \leq t)$$

Représente la probabilité de défaillance de l'équipement avant l'instant  $t$  où la probabilité de défaillance dans l'intervalle  $[0, t]$ . Si  $F(t)$  est absolument continue, alors elle est dérivable, de dérivée

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

#### 3.3.2 La fonction fiabilité ou fonction de survie

##### • Définition

Selon l'Association Française de Normalisation AFNOR, la fiabilité est l'aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise, dans des conditions données, pendant une durée donnée. Elle correspond à la probabilité pour qu'un dispositif n'ait pas de défaillance entre 0 et l'instant  $t$ .

La fiabilité s'exprime par la fonction  $R(t)$  telle que :

$R(t) = \text{Prob}(\text{qu'une entité } E \text{ soit non défaillante sur la durée } [0, t], \text{ en supposant qu'elle n'est pas défaillante à l'instant } t = 0).$

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

• **Propriétés**

En général, la fonction de fiabilité a la forme suivante :

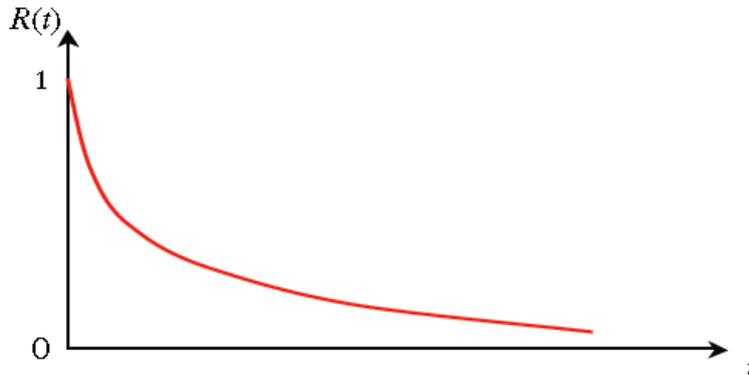


FIGURE 3.1 – Fonction de fiabilité

$$R(0) = 1 .$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} R(t) = 0.$$

$$P(t_1 < T \leq t_2) = R(t_1) - R(t_2).$$

**3.3.3 Taux de défaillance (ou taux de hasard)**

Le taux de défaillance est la probabilité par unité de temps pour que le système tombe en panne dans  $[t_i, t_{i+1}]$   $i = 1, 2, \dots$ . Il caractérise la vitesse de variation de la fiabilité au cours du temps.[4] Il est alors défini par :

$$\lambda(t) = \frac{F'(t)}{1 - F(t)},$$

*ou bien*  $\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)},$

*ou bien*  $\lambda(t) = \frac{-R'(t)}{R(t)}.$

**3.4 Principales lois de probabilité utilisées en fiabilité**

La fiabilité nécessite la connaissance des distributions de durée de vie afin de l’estimer. Nous présentons les lois et les modèles de fiabilité susceptibles, selon l’expérience, de représenter des distributions de durée de vie qui interviennent le plus fréquemment dans l’analyse de la fiabilité.

Nous rappelons les principales propriétés de ces lois, les fonctions de fiabilité associées, les densités de probabilité ainsi que les taux de défaillance [4].

### 3.4.1 Loi exponentielle $exp(\lambda)$

Une loi exponentielle de paramètre  $\lambda > 0$  modélise la durée de vie d'un élément sans mémoire, ou sans vieillissement ( le fait que l'élément ait duré pendant  $t$  unité de temps ne change rien à son espérance de vie à partir du temps  $t$ ). Elle décrit le temps écoulé jusqu'à l'apparition d'une défaillance, ou l'intervalle de temps entre deux défaillances.

\* Fonction de répartition :  $F(x) = 1 - e^{-\lambda x}$  ,  $x \geq 0$ .

\* Fonction de densité :  $f(x) = \lambda e^{-\lambda x}$  ,  $x \geq 0$ .

\* Fiabilité :  $R(x) = e^{-\lambda x}$  ,  $x \geq 0$ .

\* Taux de défaillance :  $\lambda(x) = \lambda$  constant.

### 3.4.2 Loi de Weibull $\mathcal{W}(\beta, \alpha)$

La loi de Weibull est définie par un paramètre de forme  $\beta > 0$  et un paramètre d'échelle  $\alpha > 0$ . Elle est souvent utilisée en mécanique pour caractériser le comportement d'un élément dans les trois phases de vie selon la valeur du paramètre de forme  $\beta$  : période de jeunesse ( $\beta < 1$ ), période de vie utile ( $\beta = 1$ ) et période d'usure ou vieillissement ( $\beta > 1$ ).

\* Fonction de répartition :  $F(x) = 1 - e^{-(\frac{x}{\alpha})^\beta}$  ,  $x \geq 0$ .

\* Fonction de densité :  $f(x) = \frac{\beta}{\alpha} (\frac{x}{\alpha})^{\beta-1} e^{-(\frac{x}{\alpha})^\beta}$  ,  $x \geq 0$ .

\* Fiabilité :  $R(x) = e^{-(\frac{x}{\alpha})^\beta}$  ,  $x \geq 0$ .

\* Taux de défaillance :  $\lambda(x) = \frac{\beta}{\alpha} (\frac{x}{\alpha})^{\beta-1}$  ,  $x \geq 0$ .

Si  $X \rightarrow \mathcal{W}(\beta = 1, \alpha)$  alors  $X \rightarrow exp(\lambda = 1/\alpha)$ .

### 3.4.3 Loi Gamma $G(\alpha, \beta)$

La loi Gamma est définie par un paramètre de forme  $\alpha > 0$  et un paramètre d'échelle  $\beta > 0$ . Elle est utilisée pour modéliser le temps de défaillance d'un élément.

\* Fonction de densité :  $f(x) = \frac{e^{-\frac{x}{\beta}} x^{\alpha-1}}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)}$  ,  $x \geq 0$ .

\* Taux de défaillance :  $\lambda(x) = \frac{x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}}}{\beta^\alpha \int_x^\infty \Gamma(\alpha) f(t) dt}$  ,  $x \geq 0$  ,

avec

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} e^{-t} t^{\alpha-1} dt.$$

La fonction de répartition de la loi gamma n'a pas d'expression explicite, ce qui est de même pour la fiabilité.

Si  $X \rightarrow G(\alpha = 1, \beta = 1/\lambda)$  alors  $X \rightarrow \exp(\lambda)$ .

### 3.4.4 Loi log-normale $Log \mathcal{N}(\mu, \sigma^2)$

Une variable aléatoire continue et positive est distribuée selon une loi log-normale si son logarithme est distribué suivant une loi normale. Cette distribution est utilisée en fiabilité pour modéliser les défaillances par fatigue.

\* Fonction de densité :  $f(x) = \frac{1}{x\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln(x)-\mu)^2}{2\sigma^2}}$  ,  $x \geq 0$ .

\* Fiabilité :  $R(x) = 1 - \Phi\left(\frac{\ln(x)-\mu}{\sigma}\right)$  ,  $x \geq 0$ ,

où  $\Phi$  est la fonction de répartition de la loi normale centrée réduite.

## 3.5 Fiabilité des systèmes

Nous pouvons calculer la fiabilité d'un système par le biais du calcul de la fiabilité par structure (ou architecture). Le principe est de considérer qu'un système est constitué de composants élémentaires, et que sa fiabilité dépend à la fois de la fiabilité de ses composants et de la façon dont le bon fonctionnement ou la panne de chaque composant influe sur le bon fonctionnement ou la panne du système tout entier [4].

### 3.5.1 Systèmes en série

Pour une telle configuration, le système fonctionne si tous ses éléments fonctionnent.

La durée de vie du système sera alors :

$$X = \min_{i=1,n} X_i ,$$

où  $X_i$  est la durée de vie de l'élément  $i$ .

La fiabilité du système est alors

$$\begin{aligned}
 R(x) &= P(X > x) = P(\min_{i=1,n} X_i > x) \\
 &= P(\forall i, X_i > x) \\
 &= \prod_{i=1}^n P(X_i > x) \\
 &= \prod_{i=1}^n R_i(x).
 \end{aligned}$$

### 3.5.2 Systèmes en parallèle

Pour une telle configuration, le système fonctionne si au moins un de ses  $n$  composants qui le constitue fonctionne.

La durée de vie du système sera alors :

$$X = \max_{i=1,n} X_i ,$$

où  $X_i$  est la durée de vie de l'élément  $i$ .

La fiabilité du système est alors

$$\begin{aligned}
 R(x) &= P(X > x) = P(\max_{i=1,n} X_i > x) \\
 &= 1 - P(\max_{i=1,n} X_i \leq x) \\
 &= 1 - P(\forall i, X_i \leq x) \\
 &= 1 - \prod_{i=1}^n P(X_i \leq x) \\
 &= 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P(X_i > x)) \\
 &= 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i(x)).
 \end{aligned}$$

### 3.5.3 Systèmes $k$ parmi $n$

Pour une telle configuration, le système fonctionne si au moins  $k$  éléments parmi ses  $n$  éléments fonctionnent.

### Cas particuliers

- Si  $k = 1$  correspond à un système en parallèle.
- si  $k = n$  correspond à un système en série.

### 3.5.4 Redondances

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 assurant les mêmes fonctions et travaillant en même temps. On a à faire un système appelé " système parallèle " [8].

#### • Redondance passive (Stand-by)

Nous considérons un système dans lequel un seul élément est en service à la fois. L'ors qu'il tombe en panne, un dispositif de commutation détecte la défaillance et effectue le branchement d'un élément de réserve [9].

#### • 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 [8].

## 3.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons donné quelques définitions de base et quelques notions de fiabilité ainsi que les différentes lois usuelles de fiabilité susceptibles, selon l'expérience, de représenter des distributions de durée de vie qui interviennent le plus fréquemment dans l'analyse de la fiabilité.

Dans le chapitre suivant, nous allons donner un aperçu de quelques méthodes statistiques.

# Chapitre 4

## Méthodes statistiques

### 4.1 Introduction

Nous nous plaçons dans le cadre de l'observation répétée de façon indépendante d'un phénomène aléatoire dont on voudrait découvrir la loi. De fait, on suppose connu le type de la loi, et inconnus ses paramètres, que l'on veut estimer et tester. On parle de **statistique paramétrique**.

### 4.2 Propriétés des estimateurs

L'un des problèmes de la statistique est le suivant : On désire étudier une population de densité  $f(x, \theta)$  où la forme de  $f$  est connue mais on ignore la valeur du paramètre  $\theta$ . Il suffit de trouver la valeur de  $\theta$  pour que  $f$  soit entièrement déterminée, pour cela on dispose d'un  $n$ -échantillon issu de la population.

Soit  $X$  la variable aléatoire de densité  $f(x, \theta)$ ;  $X_1, X_2, \dots, X_n$  le  $n$ -échantillon issu de  $X$ .

On cherche alors  $\hat{\theta} = t(X_1, X_2, \dots, X_n)$ .  $\hat{\theta}$  ne doit pas dépendre de  $\theta$  mais on aura jamais la  $P(\hat{\theta} = \theta) = 1$

Pour cela on fait intervenir la fonction perte (loss). C'est la perte que l'on fait quand on prend la décision  $\hat{\theta}(X_1, X_2, \dots, X_n)$ , alors que le vrai paramètre est  $\theta$ , on note cette perte  $l(\theta, \hat{\theta})$  [12].

#### • Perte quadratique

Soit  $\hat{\theta}$  un estimateur de  $\theta$ , on appelle perte quadratique

$$l(\theta, \hat{\theta}) = |\hat{\theta} - \theta|^2$$

• **Risque d'un estimateur**

C'est le risque qu'en prend quant on estime  $\theta$  par  $\hat{\theta}$

$$R(\theta, \hat{\theta}) = E[l(\theta, \hat{\theta})]$$

Si on considère la perte quadratique

$$l(\theta, \hat{\theta}) = |\hat{\theta} - \theta|^2$$

Le risque quadratique sera

$$R(\theta, \hat{\theta}) = E[|\theta - \hat{\theta}|^2]$$

• **Estimateur sans biais**

Soit  $\hat{\theta}$  un estimateur de  $\theta$ , on dit que  $\hat{\theta}$  est un estimateur sans biais si :

$E(\hat{\theta}) = \theta$ , ( $E(\hat{\theta}) - \theta = 0$ ) sinon  $\hat{\theta}$  est dit avec biais ou biaisé.

• **Meilleur Estimateur**

Soit  $\hat{\theta}_1, \hat{\theta}_2$  deux estimateur de  $\theta$ , on dit que  $\hat{\theta}_1$  est meilleur que  $\hat{\theta}_2$  si :

$$R(\theta, \hat{\theta}_1) \leq R(\theta, \hat{\theta}_2)$$

• **Estimateur admissible**

Un estimateur est dit admissible s'il n'existe pas de meilleur que lui, on va s'intéresser aux propriétés asymptotiques de l'estimateur.

• **Estimateur asymptotiquement sans biais**

Un estimateur  $\hat{\theta}$  de  $\theta$  est dit asymptotiquement sans biais si :

$$\lim_{n \rightarrow +\infty} E(\hat{\theta}) = \theta$$

• **Estimateur convergent**

Un estimateur  $\hat{\theta}$  de  $\theta$  est dit convergent si :

$$\lim_{n \rightarrow +\infty} R(\theta, \hat{\theta}) = 0$$

• **Estimateur consistant**

On dit que  $\hat{\theta}$  est un estimateur consistant si :

$$\lim_{n \rightarrow +\infty} \hat{\theta} = \theta$$

• **Estimateur efficace**

On dit que  $\hat{\theta}$  est un estimateur efficace s'il est convergent, sans biais et de variance minimale.

• **Estimateur exhaustif**

On dit que  $\hat{\theta}$  est exhaustif si toute l'information d'un échantillon sur le paramètre est contenue dans la valeur de l'estimateur de  $\hat{\theta}$ .

### 4.3 Méthode du Maximum de Vraisemblance

Etant donné un échantillon de valeurs  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , la méthode du Maximum de Vraisemblance [13] consiste à prendre comme estimation de  $\theta$ , la valeur de  $\theta$  qui rend maximale la vraisemblance  $L(x_1, x_2, \dots, x_n, \theta)$  avec

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

Intuitivement, puisque  $L$  représente une densité de probabilité, cela revient à supposer que l'événement qui s'est produit était le plus probable.

Les justifications mathématiques sont les suivantes :

En fait, on prend comme estimation de  $\theta$  la solution de l'équation :

$$\frac{\partial \log L(x, \theta)}{\partial \theta} = 0, \text{ équation de la vraisemblance.}$$

S'il existe une statistique exhaustive  $U$ , alors l'estimateur du maximum de la vraisemblance en dépend. En effet  $L(x, \theta) = g(u, \theta)h(x)$  et résoudre

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

Revient à résoudre  $\frac{\partial \log(g)}{\partial \theta} = 0$  donc  $\hat{\theta} = f(u)$ .

Si  $\hat{\theta}$  est sans biais, ce qui n'est pas toujours réalisé,  $\hat{\theta}$  sera le meilleur estimateur possible de  $\theta$  s'il est convergent et de variance minimale.

## 4.4 Les tests d'ajustement

Ces tests ont pour but de vérifier qu'une variable aléatoire, dont on possède un n-échantillon indépendant, suit bien une loi donnée (au moins dans sa forme, sinon dans ses paramètres). Il s'agit d'un test portant sur la validité d'un modèle aléatoire. Il a pour but de légitimer le choix du modèle théorique [11].

On teste :

$$H_0 \text{ "}F \text{ est la loi de } X\text{"} \quad \text{contre} \quad H_1 \text{ "}F \text{ n'est pas la loi de } X\text{"}$$

### 4.4.1 Tests Kolmogorov-Smirnov

Soit  $X_1, X_2, \dots, X_n$  un n-échantillon issu de  $X$  de fonction de répartition  $F$ . On cherche à tester l'ajustement de la loi de  $X$  par une loi théorique fixée  $F_0$ . C'est-à-dire :

$$H_0 \text{ "}F = F_0\text{"} \quad \text{contre} \quad H_1 \text{ "}F \neq F_0\text{"}$$

#### • Principe du test

Le test de K.S [12] implique le calcul de :

1. fonction de répartition empirique de l'échantillon c'est-à-dire :

$$F_n(x) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n 1_{X_j < x} = \frac{\text{nombre d'observation} < x}{\text{taille de l'échantillon}}$$

2. Calculer le plus grand écart entre la distribution empirique  $F(x)$  et la distribution théorique  $F_0(x)$  c'est-à-dire :

$$D = \max_{x \in \mathbb{R}} |F(x) - F_0(x)|$$

3. On fixe un seuil de signification  $\alpha$  et on compare cet écart  $D$  à des valeurs critiques particulières qu'on note  $d_{(n,\alpha)}$  obtenus à partir de la table de Kolmogorov-Smirnov. La décision sera :

$$\begin{cases} \text{On accepte } H_0 & \text{si } D < d_{(n,\alpha)} \\ \text{On rejette } H_0 & \text{sinon} \end{cases}$$

### 4.4.2 Tests Khi-Deux

Posé par Karl Pearson en 1900, le test  $\chi^2$  est sûrement le test le plus répandu pour tester l'adéquation d'une loi, continue ou discrète, à des données.

Le problème qui se pose est de savoir si les écarts entre la distribution observée et la loi théorique peuvent être jugés faible [12].

#### • Principe du test

Soit  $X_1, X_2, \dots, X_n$  un n-échantillon issue de  $X$  de fonction de répartition  $F$ .

C'est-à-dire :

On cherche à tester l'ajustement de la loi de  $X$  par une loi théorique fixé  $F_0$ .

C'est-à-dire :

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

#### • Construction du test

Soit  $X_1, X_2, \dots, X_n$  un n-échantillon issue de  $X$  de fonction de répartition  $F$ .

On partage le domaine de  $X$  en  $r$  intervalles  $I_1, I_2, \dots, I_r$ .

Soit  $n_i$  l'effectif de la classe  $I_i$ .

On note  $p_i$  la probabilité théorique liée à la classe  $I_i$ .

Le test est basé sur la statistique (sous l'hypothèse  $H_0$ ) :

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

#### • Règle de décision

##### Remarque :

Si  $K_n^2$  est très petit, c'est que la distribution théorique est Proche de la distribution empirique. Alors qu'au contraire, si  $K_n^2$  est grand, l'écart entre les deux distributions est importants, par conséquent :

1. Si  $K_n^2 > \chi_{(r-1-q, \alpha)}^2$  on rejette  $H_0$ .
2. Si  $K_n^2 < \chi_{(r-1-q, \alpha)}^2$  on rejette pas  $H_0$ .

##### Donc :

L'ajustement est validé.

$q$  : étant le nombre de paramètre estimés.

Mais pour effectuer le test de Khi-deux il faut vérifier certaines conditions :

1. Le nombre de classe  $r \geq 7$ .
2. L'effectif théorique  $np_i \geq 8$ .
3. Avoir dans la mesure du possible des classes d'effectifs théoriques comparables.

## 4.5 Méthode statistique de la prévision

### 4.5.1 Séries Chronologiques

On appelle série chronologique (ou série temporelle) toute suite d'observations  $(X_t, t \in T)$  indexées par un ensemble ordonné dans le temps  $T$ .

### 4.5.2 Lissage Exponentiel

On regroupe sous le nom de lissage exponentiel, un ensemble de méthodes qui ont pour caractéristique de donner un poids important à valeurs récentes de la série.

Leur domaine d'application est le court terme. Ces méthodes se caractérisent par la simplicité de leur mise en œuvre et la simplicité de calcul.

Ces méthodes ont été développées par Brown, Holt, Winter.

#### • Lissage Exponentiel Simple

Soit  $Y_1, Y_2, \dots, Y_T$  la série chronologique, le modèle va s'écrire :

$$y_t = a_t + \varepsilon_t$$

Elle calcule la série lissée comme une moyenne pondérée entre la prévision  $\hat{Y}_{T-1}$ , faite à l'instant  $(T-1)$  et la dernière observation  $Y_T$ . La série lissée extrapolée est une constante qui est égale à la dernière valeur de la série lissée pendant la période quand les données actuelles sur la série sous-jacente étaient disponibles.

C'est-à-dire que la série ne présente ni tendance ni saisonnalité.

La prévision s'écrit sous la forme suivante :

$$\hat{Y}_T = \alpha Y_T + (1 - \alpha) \hat{Y}_{T-1}$$

• **Lissage exponentiel double**

Cette méthode [14] est adaptée quand la série présente une tendance linéaire (différence entre deux niveaux consécutif).

Le modèle s'écrit comme suit :

$$Y_t = a_0 + (t - T)a_1 + \varepsilon_t$$

La prévision sera :

$$\hat{Y}_t(k) = \hat{a}_0(T) + k\hat{a}_1(T)$$

• **Lissage exponentiel de Holt**

On l'utilise [14] quand notre série  $Y_t$  présente qu'une tendance, cette tendance est définie comme étant la différence entre le niveau actuel et niveau précédent.

Les formules de mise à jour par lissage sont :

Pour le niveau :

$$\hat{a}_0(T) = aY_t + (1 - a)[\hat{a}_0(T - 1) + \hat{a}_1(T - 1)]$$

Pour la tendance :

$$\hat{a}_1(T) = \mu[\hat{a}_0(T) - \hat{a}_0(T - 1)] + (1 - \mu)\hat{a}_1(T - 1)$$

Les paramètres  $\lambda$  et  $\mu$  sont entre 0 et 1.

La prévision pour l'horizon  $k$  dans le futur est :

$$\hat{Y}_t(k) = \hat{a}_0(T) + k\hat{a}_1(T)$$

les valeurs initiales (de départ) sont :  $\hat{a}_0(2) = Y_2$  et  $\hat{a}_1(2) = Y_2 - Y_1$ .

• **Lissage exponentiel de Holt-Winters**

Cette méthode [14] est une généralisation de la méthode de Holt. Holt et Winters proposent la prévision suivante pour l'horizon  $k$  :

– Modèle additif :

$$\widehat{Y}_t(k) = \widehat{a}_0(T) + k\widehat{a}_1(T) + \widehat{S}_{T+k}$$

– Modèle multiplicatif :

$$\widehat{Y}_t(k) = [\widehat{a}_0(T) + k\widehat{a}_1(T)]\widehat{S}_{T+k}$$

## 4.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons donné quelques propriétés des estimateurs, ainsi qu'une méthode d'estimation paramétriques que nous avons utilisée dans notre étude de fiabilité. Il existe différentes méthodes de prévision (lissage exponentiel, Box et Jenkins), nous avons présenté la méthode de lissage exponentiel que nous avons utilisées lors de notre étude de cas.

# **Chapitre 5**

## **Analyse de la fiabilité de la ligne de fibre optique de Sonatrach**

### **5.1 Introduction**

Dans le but d'être toujours en communication avec les différentes stations de pompage de pétrole allant de Haoud El-Hamra vers Béjaia, Sonatrach a pris ces dispositions (communication par radio, ou bien en passant par Algérie Télécom) en cas de coupure au niveau des liens de transmission.

Toute étude de fiabilité débute par une collecte de données, qui seront exploitées par la suite pour modéliser et analyser la fiabilité des équipements.

Pour bien mener cette étude, nous commencerons par une collecte de données concernant les liens de transmissions et les radios, en vue d'évaluer leur indice de fiabilité.

### **5.2 Présentation du fonctionnement du réseau de Sonatrach**

La modélisation du réseau de télécommunication (la ligne de fibre optique) de Sonatrach nous mène à définir neuf systèmes qui sont dépendants l'un de l'autre dans leur fonctionnement, et dans chaque système est composé de deux éléments en parallèle (Fig. 5.1). On peut configurer les neuf systèmes en série vu que la panne de l'un d'eux implique la défaillance de tout le système. Ainsi que les trois tableaux (Tab. 5.1, Tab. 5.2 et Tab. 5.3) représentent la clé de notre diagramme de fiabilité.

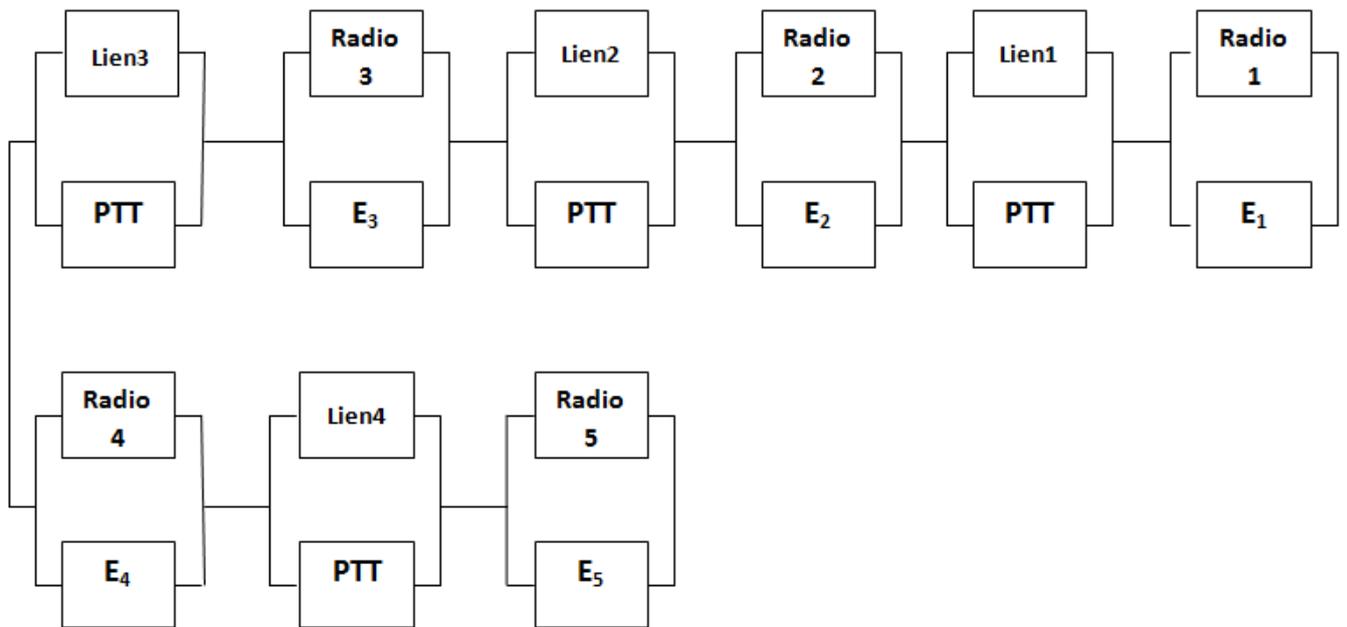


FIGURE 5.1 – Diagramme de fiabilité de la ligne de fibre optique de Sonatrach

<b>Lien1</b>	Lien de transmission Béjaia-BéniMansour
<b>Lien2</b>	Lien de transmission BéniMansour-M'sila
<b>Lien3</b>	Lien de transmission M'sila-Biskra
<b>Lien4</b>	Lien de transmission Biskra-Djamaa(HEH)
<b>PTT</b>	Lien de transmission Algérie Télécom

TABLE 5.1 – Les liens de transmission de Sonatrach

$E_1$	Equipement de transmission de Béjaia
$E_2$	Equipement de transmission de BéniMansour
$E_3$	Equipement de transmission de M'sila
$E_4$	Equipement de transmission de Biskra
$E_5$	Equipement de transmission de Djamaa(HEH)

TABLE 5.2 – Les équipements de transmission de Sonatrach

<i>Radio</i> <sub>1</sub>	Radio de Bejaia
<i>Radio</i> <sub>2</sub>	Radio de BéniMansour
<i>Radio</i> <sub>3</sub>	Radio de M'sila
<i>Radio</i> <sub>4</sub>	Radio de Biskra
<i>Radio</i> <sub>5</sub>	Radio de Djamaa(HEH)

TABLE 5.3 – Les radios de Sonatrach

### 5.3 Collecte de données

Le retour d'expériences relatives aux liens de transmissions et les radios a été obtenu par confrontation de plusieurs sources (fiches historiques, rapports d'intervention).

Sachant que la précision d'une étude de fiabilité se mesure par le nombre de données collectées, nous avons dépouillé les différents fichiers cités ci-dessus, pour la période allant de 2011 à 2015.

Nous aurions aimé pour plus d'exactitude rallonger la période d'observation, mais vue que la recherche ne peut être faite que manuellement, donc la recherche est longue, fastidieuse et présente un grand risque d'erreurs. Par ailleurs, les rapports d'interventions qui précèdent 2011 sont irréguliers et ambigus, ce qui nous a contraints à se limiter à la période citée ci-dessus.

L'exploitation de ces différentes fiches, nous a permis de prélever les heures et les dates du début et fin de défaillance.

### 5.4 Modélisation paramétrique de lois de fiabilité

Les seuls éléments qui tombent fréquemment en panne, les liens de transmission ainsi que la radio.

Soit  $\{T\}_{t>0}$  la variable aléatoire désignant "la durée de bon fonctionnement du lien (resp. de la radio)". Basant sur l'échantillon qui représente les durées de bon fonctionnement des liens (resp. des radios) (voir l'annexe).

Nous avons choisi la loi de Weibull [4] car elle est largement utilisée comme modèle probabiliste dans des études sur les temps de survie en raison de sa grande flexibilité. Nous avons estimé ces deux paramètres par la méthode de maximum de vraisemblance et ce par le logiciel Matlab et nous avons fait l'ajustement avec le test de Kolmogorov-Smirnov [12] avec le logiciel R.

Les résultats sont représentés dans les tableaux suivants (Tab. 5.4 et Tab. 5.5).

Les liens	$n$	Loi ajustée	Paramètres	$D_n$	$d_{(n,0.05)}$	Validité du test
lien1	112	Weibull	$\beta = 2, \alpha = 1118.9$	0.0989	0.1258	Accepté
lien2	52	Weibull	$\beta = 1.6, \alpha = 1056.4$	0.1568	0.1885	Accepté
lien3	12	Weibull	$\beta = 2.3, \alpha = 1409.8$	0.3398	0.375	Accepté
lien4	10	Weibull	$\beta = 1.30, \alpha = 746.94$	0.1645	0.410	Accepté

TABLE 5.4 – Résultat du traitement statistique des TBF des liens

Les radios	$n$	Loi ajustée	Paramètres	$D_n$	$d_{(n,0.05)}$	Validité du test
radio1	15	Weibull	$\beta = 1.36, \alpha = 963.12$	0.2029	0.338	Accepté
radio2	15	Weibull	$\beta = 1.08, \alpha = 899.66$	0.1642	0.338	Accepté
radio3	15	Weibull	$\beta = 1.38, \alpha = 985.17$	0.1827	0.338	Accepté
radio4	15	Weibull	$\beta = 1.35, \alpha = 961.52$	0.1967	0.338	Accepté
radio5	15	Weibull	$\beta = 1.39, \alpha = 967.19$	0.1886	0.338	Accepté

TABLE 5.5 – Résultat du traitement statistique des TBF des radios

\*  $[D_n :]$  statistique empirique de test de Kolmogorov-Smirnov ;

\*  $[d_{(n,0.05)} :]$  statistique tabulée du test de Kolmogorov-Smirnov avec un seuil signification égal à 0,05(voir l'annexe).

D'après les résultats obtenus, nous constatons que le modèle de Weibull à deux paramètres est accepté pour la plupart (les liens de transmission, les radios) et dans le paramètre de la forme  $\beta$  est supérieur à 1.

## 5.5 Evaluation des fonctions de fiabilité et du taux de défaillances des liens de transmission et des radios

Les expressions de la fonction fiabilité ainsi que le taux de défaillance après validation du modèle de Weibull, s'écrivent pour les liens de transmission et les radios sous forme suivante (Tab. 5.6 et Tab. 5.7).

Les liens	Taux de défaillance $\lambda(t)$	Fiabilité $R(t)$
lien1	$\lambda(t) = \frac{2}{1118.9} \left(\frac{t}{1118.9}\right)^{2-1}, t \geq 0$	$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{1118.9}\right)^2}, t \geq 0$
lien2	$\lambda(t) = \frac{1.6}{1056.4} \left(\frac{t}{1056.4}\right)^{1.6-1}, t \geq 0$	$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{1056.4}\right)^{1.6}}, t \geq 0$
lien3	$\lambda(t) = \frac{2.3}{1409.8} \left(\frac{t}{1409.8}\right)^{2.3-1}, t \geq 0$	$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{1409.8}\right)^{2.3}}, t \geq 0$
lien4	$\lambda(t) = \frac{1.30}{746.94} \left(\frac{t}{746.94}\right)^{1.30-1}, t \geq 0$	$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{746.94}\right)^{1.30}}, t \geq 0$

TABLE 5.6 – les indices de fiabilité pour les liens

Les radios	Taux de défaillance $\lambda(t)$	Fiabilité $R(t)$
radio1	$\lambda(t) = \frac{1.36}{963.12} \left(\frac{t}{963.12}\right)^{1.36-1}, t \geq 0$	$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{963.12}\right)^{1.36}}, t \geq 0$
radio2	$\lambda(t) = \frac{1.08}{899.66} \left(\frac{t}{899.66}\right)^{1.08-1}, t \geq 0$	$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{899.66}\right)^{1.08}}, t \geq 0$
radio3	$\lambda(t) = \frac{1.38}{985.17} \left(\frac{t}{985.17}\right)^{1.38-1}, t \geq 0$	$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{985.17}\right)^{1.38}}, t \geq 0$
radio4	$\lambda(t) = \frac{1.35}{961.52} \left(\frac{t}{961.52}\right)^{1.35-1}, t \geq 0$	$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{961.52}\right)^{1.35}}, t \geq 0$
radio5	$\lambda(t) = \frac{1.39}{967.19} \left(\frac{t}{967.19}\right)^{1.39-1}, t \geq 0$	$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{967.19}\right)^{1.39}}, t \geq 0$

TABLE 5.7 – les indices de fiabilité pour les radios

## 5.6 Calcule de fiabilité du réseau de télécommunication

On considère que les équipements de transmission **E** ainsi que les liens **PTT** de notre diagramme de fiabilité sont fiable avec une probabilité de 0,95.

### • Etude de fiabilité du sous-système $E_1$ /Radio1

Notre sous-système a deux composants en parallèle, la fonction de fiabilité s'écrit sous la forme suivante :

$$\begin{aligned}
 R_{E_1/Radio1}(t) &= 1 - ((1 - R_{radio1}(t))(1 - R_{E_1}(t))) \\
 R_{E_1/Radio1}(t) &= 1 - ((1 - e^{-\left(\frac{t}{963.12}\right)^{1.36}})(1 - 0.95)) \\
 R_{E_1/Radio1}(t) &= 1 - (0.05(1 - e^{-\left(\frac{t}{963.12}\right)^{1.36}})).
 \end{aligned}$$

### • Etude de fiabilité du sous-système Lien1/PTT

Notre sous-système a deux composants en parallèle, la fonction de fiabilité s'écrit sous la forme suivante :

$$\begin{aligned}
 R_{Lien1/PTT}(t) &= 1 - ((1 - R_{lien1}(t))(1 - R_{PTT}(t))) \\
 R_{Lien1/PTT}(t) &= 1 - ((1 - e^{-\left(\frac{t}{1118.9}\right)^2})(1 - 0.95)) \\
 R_{Lien1/PTT}(t) &= 1 - (0.05(1 - e^{-\left(\frac{t}{1118.9}\right)^2})).
 \end{aligned}$$

• **Etude de fiabilité du sous-système  $E_2/$ Radio2**

Notre sous-système a deux composants en parallèle, la fonction de fiabilité s'écrit sous la forme suivante :

$$\begin{aligned} R_{E_2/}Radio2(t) &= 1 - ((1 - R_{radio2}(t))(1 - R_{E_2}(t))) \\ R_{E_2/}Radio2(t) &= 1 - ((1 - e^{-\left(\frac{t}{899.66}\right)^{1.08}})(1 - 0.95)) \\ R_{E_2/}Radio2(t) &= 1 - (0.05(1 - e^{-\left(\frac{t}{899.66}\right)^{1.08}})). \end{aligned}$$

• **Etude de fiabilité du sous-système  $Lien2/$ PTT**

Notre sous-système a deux composants en parallèle, la fonction de fiabilité s'écrit sous la forme suivante :

$$\begin{aligned} R_{Lien2/}PTT(t) &= 1 - ((1 - R_{lien2}(t))(1 - R_{PTT}(t))) \\ R_{Lien2/}PTT(t) &= 1 - ((1 - e^{-\left(\frac{t}{1056.4}\right)^{1.6}})(1 - 0.95)) \\ R_{Lien2/}PTT(t) &= 1 - (0.05(1 - e^{-\left(\frac{t}{1056.4}\right)^{1.6}})). \end{aligned}$$

• **Etude de fiabilité du sous-système  $E_3/$ Radio3**

Notre sous-système a deux composants en parallèle, la fonction de fiabilité s'écrit sous la forme suivante :

$$\begin{aligned} R_{E_3/}Radio3(t) &= 1 - ((1 - R_{radio3}(t))(1 - R_{E_3}(t))) \\ R_{E_3/}Radio3(t) &= 1 - ((1 - e^{-\left(\frac{t}{985.17}\right)^{1.38}})(1 - 0.95)) \\ R_{E_3/}Radio3(t) &= 1 - (0.05(1 - e^{-\left(\frac{t}{985.17}\right)^{1.38}})). \end{aligned}$$

• **Etude de fiabilité du sous-système  $Lien3/$ PTT**

Notre sous-système a deux composants en parallèle, la fonction de fiabilité s'écrit sous la forme suivante :

$$\begin{aligned} R_{Lien3/}PTT(t) &= 1 - ((1 - R_{lien1}(t))(1 - R_{PTT}(t))) \\ R_{Lien3/}PTT(t) &= 1 - ((1 - e^{-\left(\frac{t}{1409.8}\right)^{2.3}})(1 - 0.95)) \\ R_{Lien3/}PTT(t) &= 1 - (0.05(1 - e^{-\left(\frac{t}{1409.8}\right)^{2.3}})). \end{aligned}$$

• **Etude de fiabilité du sous-système  $E_4/$ Radio4**

Notre sous-système a deux composants en parallèle, la fonction de fiabilité s'écrit sous la forme suivante :

$$\begin{aligned}
 R_{E_4/Radio4}(t) &= 1 - ((1 - R_{radio4}(t))(1 - R_{E_4}(t))) \\
 R_{E_4/Radio4}(t) &= 1 - ((1 - e^{-\left(\frac{t}{961.52}\right)^{1.35}})(1 - 0.95)) \\
 R_{E_4/Radio4}(t) &= 1 - (0.05(1 - e^{-\left(\frac{t}{961.52}\right)^{1.35}})).
 \end{aligned}$$

• **Etude de fiabilité du sous-système Lien4/PTT**

Notre sous-système a deux composants en parallèle, la fonction de fiabilité s'écrit sous la forme suivante :

$$\begin{aligned}
 R_{Lien4/PTT}(t) &= 1 - ((1 - R_{lien4}(t))(1 - R_{PTT}(t))) \\
 R_{Lien4/PTT}(t) &= 1 - ((1 - e^{-\left(\frac{t}{746.94}\right)^{1.30}})(1 - 0.95)) \\
 R_{Lien4/PTT}(t) &= 1 - (0.05(1 - e^{-\left(\frac{t}{746.94}\right)^{1.30}})).
 \end{aligned}$$

• **Etude de fiabilité du sous-système E5/Radio5**

Notre sous-système a deux composants en parallèle, la fonction de fiabilité s'écrit sous la forme suivante :

$$\begin{aligned}
 R_{E_5/Radio5}(t) &= 1 - ((1 - R_{radio5}(t))(1 - R_{E_5}(t))) \\
 R_{E_5/Radio5}(t) &= 1 - ((1 - e^{-\left(\frac{t}{967.19}\right)^{1.39}})(1 - 0.95)) \\
 R_{E_5/Radio5}(t) &= 1 - (0.05(1 - e^{-\left(\frac{t}{967.19}\right)^{1.39}})).
 \end{aligned}$$

• **Etude de fiabilité du système Béjaia-HEH**

Notre système a neuf sous-système en série, la fonction de fiabilité s'écrit sous la forme suivante :

$$\begin{aligned}
 R(t) &= R_{E_1/Radio1}(t) * R_{Lien1/PTT}(t) * R_{E_2/Radio2}(t) * R_{Lien2/PTT}(t) * R_{E_3/Radio3}(t) * \\
 &\quad R_{Lien3/PTT}(t) * R_{E_4/Radio4}(t) * R_{Lien4/PTT}(t) * R_{E_5/Radio5}(t) \\
 R(t) &= 1 - (0.05(1 - e^{-\left(\frac{t}{963.12}\right)^{1.36}})) * 1 - (0.05(1 - e^{-\left(\frac{t}{1118.9}\right)^2})) * 1 - (0.05(1 - e^{-\left(\frac{t}{899.66}\right)^{1.08}})) * \\
 &\quad 1 - (0.05(1 - e^{-\left(\frac{t}{1056.4}\right)^{1.6}})) * 1 - (0.05(1 - e^{-\left(\frac{t}{985.17}\right)^{1.38}})) * 1 - (0.05(1 - e^{-\left(\frac{t}{1409.8}\right)^{2.3}})) * 1 - \\
 &\quad (0.05(1 - e^{-\left(\frac{t}{961.52}\right)^{1.35}})) * 1 - (0.05(1 - e^{-\left(\frac{t}{746.94}\right)^{1.30}})) * 1 - (0.05(1 - e^{-\left(\frac{t}{967.19}\right)^{1.39}})).
 \end{aligned}$$

## 5.7 Application de la méthode du lissage exponentiel

Dans cette section, nous appliquons la méthode du lissage exponentiel dans le but de prévoir le nombre de panne de différents liens de transmission pour l'année 2016,2017 et 2018.

Le tableau ci-dessous représente nos données :

CHAPITRE 5. ANALYSE DE LA FIABILITÉ DE LA LIGNE DE FIBRE OPTIQUE DE SONATRACH

Année Mois	Janv	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aôut	Sept	Oct	Nov	Déc
2011	0	2	2	0	3	0	3	2	2	0	1	0
2012	0	1	2	1	0	0	0	1	1	3	5	3
2013	4	3	1	3	12	4	0	0	1	2	0	1
2014	4	1	2	1	1	1	2	2	4	1	3	1
2015	2	0	1	1	3	6	2	1	3	3	2	2

TABLE 5.8 – Nombre de panne mensuel du lien1

Année Mois	Janv	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aôut	Sept	Oct	Nov	Déc
2011	0	0	1	3	3	4	0	0	0	0	0	0
2012	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	5	2
2013	0	0	2	0	0	0	1	2	0	2	0	0
2014	0	1	2	1	2	1	0	0	2	0	3	1
2015	0	0	2	1	0	0	1	1	3	1	2	0

TABLE 5.9 – Nombre de panne mensuel du lien2

Année Mois	Janv	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aôut	Sept	Oct	Nov	Déc
2011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
2012	0	1	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0
2013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2015	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0

TABLE 5.10 – Nombre de panne mensuel du lien3

Année Mois	Janv	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aôut	Sept	Oct	Nov	Déc
2011	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1
2012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
2013	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2014	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

TABLE 5.11 – Nombre de panne mensuel du lien4

Nous allons tracer les graphes de la série originale grâce au logiciel R :

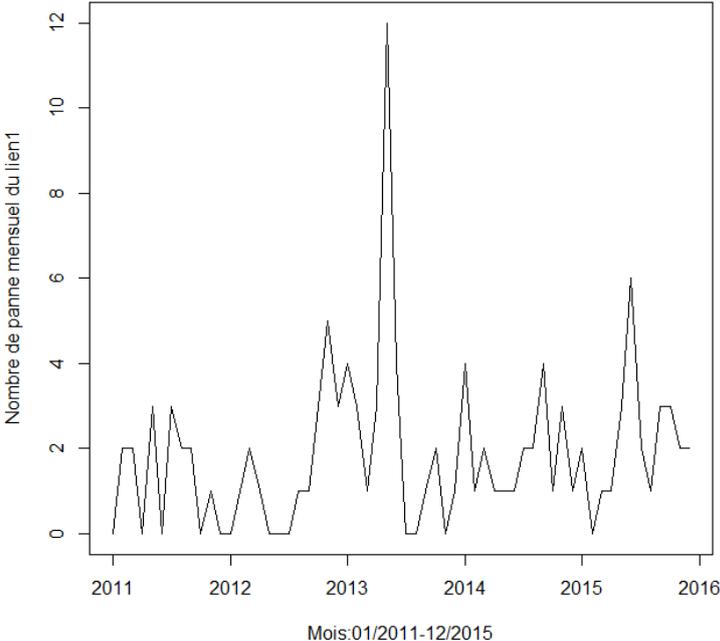


FIGURE 5.2 – Graphe de la série originale du lien1

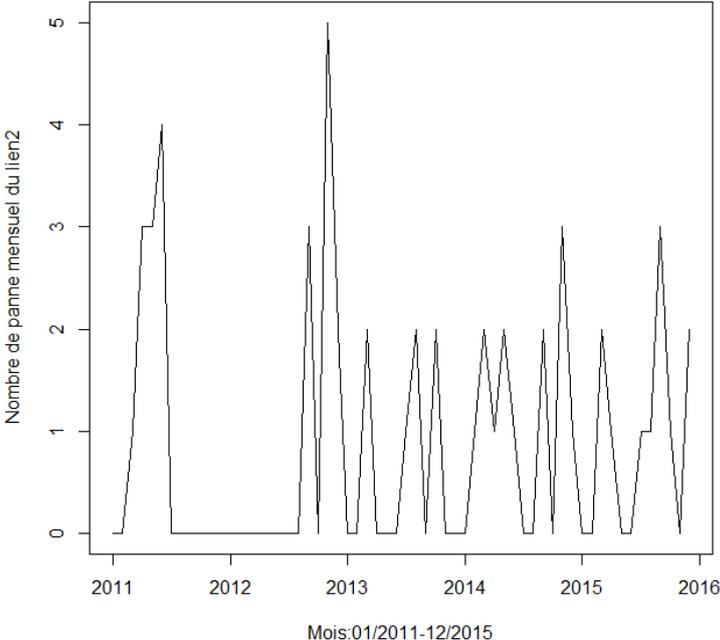


FIGURE 5.3 – Graphe de la série originale du lien2

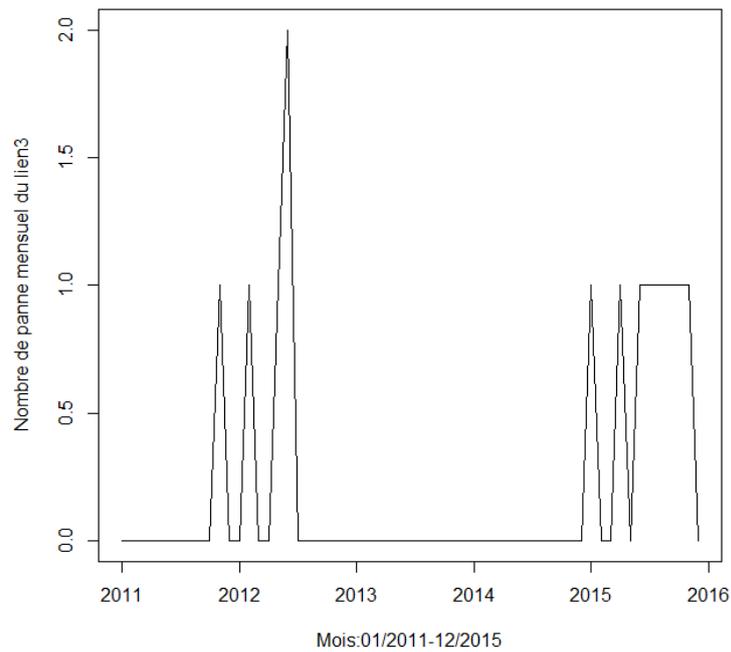


FIGURE 5.4 – Graphe de la série originale du lien3

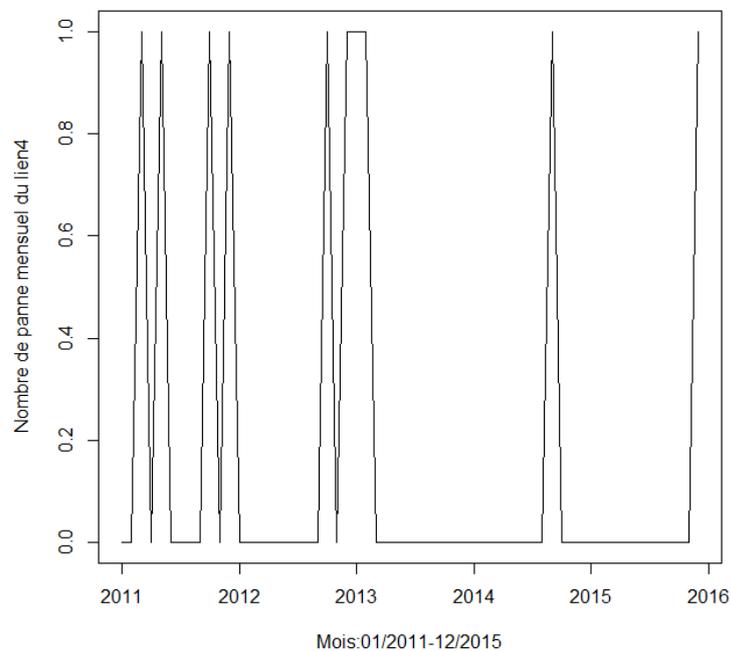


FIGURE 5.5 – Graphe de la série originale du lien4

Les graphes des séries originales (Fig. 5.2, Fig. 5.3, Fig. 5.4, Fig. 5.5) nous montre que cella comporte une saisonnalité d'ordre 12. Pour illustrer cela nous allons décomposer nos séries

originales en différents composants :

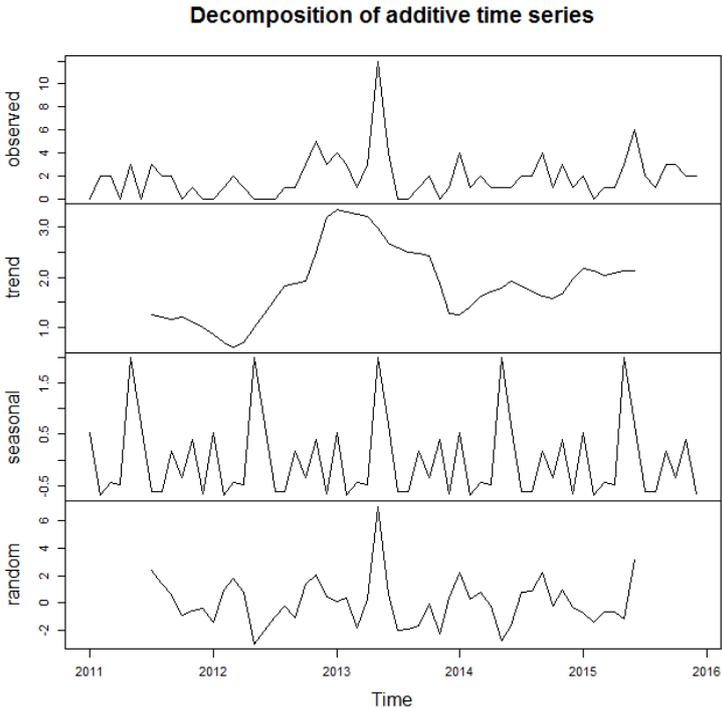


FIGURE 5.6 – Graphe de la série originale du lien1 ainsi que ses différentes composantes

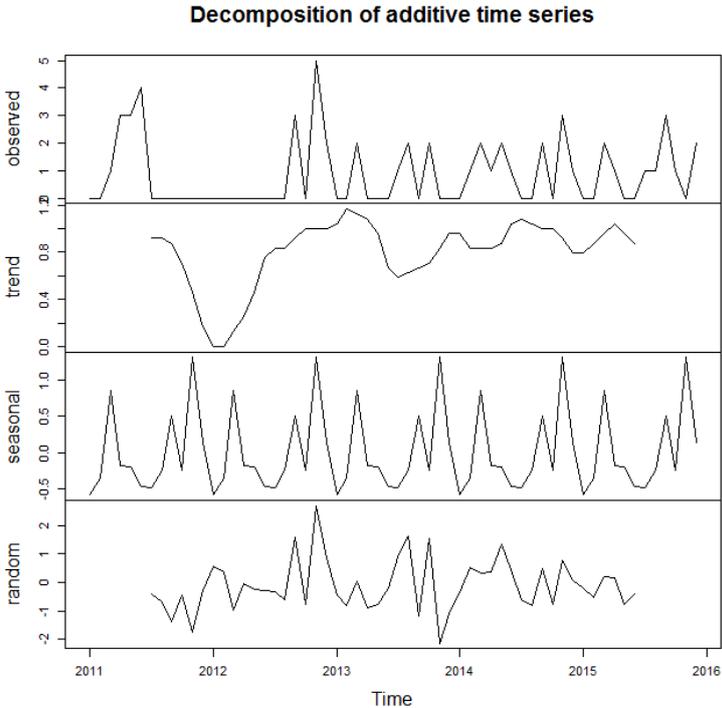


FIGURE 5.7 – Graphe de la série originale du lien2 ainsi que ses différentes composantes

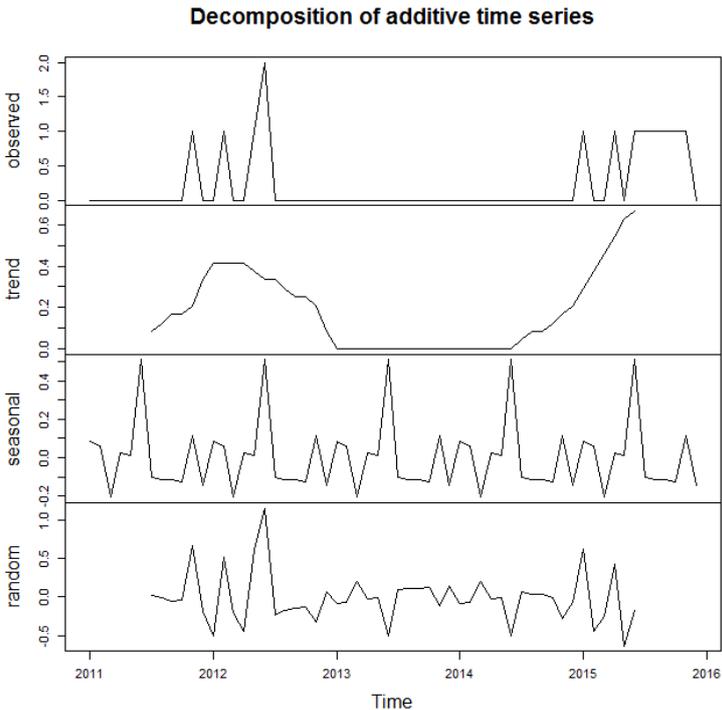


FIGURE 5.8 – Graphe de la série originale du lien3 ainsi que ses différentes composantes

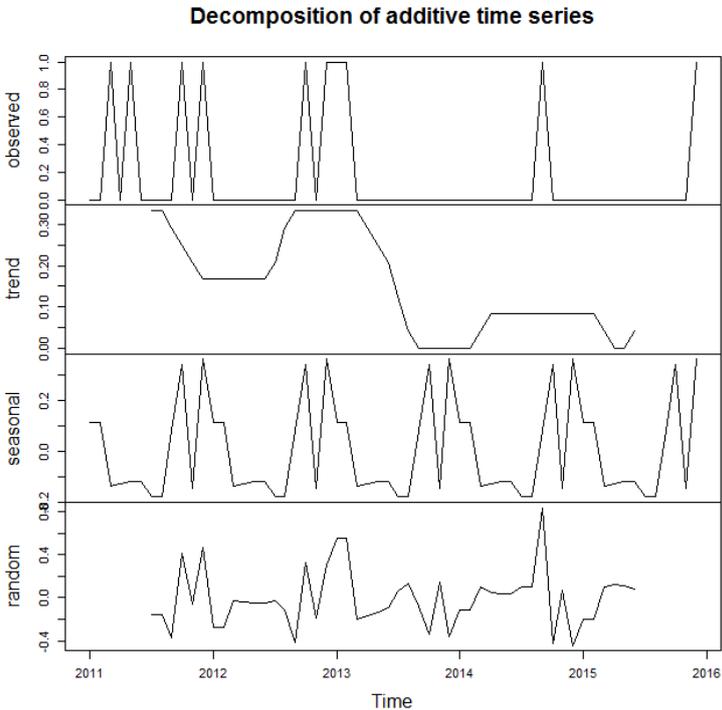


FIGURE 5.9 – Graphe de la série originale du lien4 ainsi que ses différentes composantes

D’après les (Fig. 5.6, Fig. 5.7, Fig. 5.8, Fig. 5.9) nous confirmons la saisonnalité de nos séries originales.

Le modèle du lissage exponentiel adéquat est alors celui de Holt Winters, et comme les graphes des séries ne sont pas entonnoir, donc on applique le lissage exponentiel de winters additif.

D'après le logiciel R, les résultats sont comme suit :

• *Pour le lien1*

Les valeurs des paramètres  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\gamma$  et qui minimisent la somme des carrés de l'erreur :

$$\Theta(\alpha, \beta, \gamma) = \sum_{t=1}^{T-h} (y_{t+y} - \hat{y}_h)^2$$

$\alpha = 0.1073431.$

$\beta = 0.002286304.$

$\gamma = 0.2509819.$

Les coefficients saisonniers sont :

S1	0.41243518
S2	-0.24051464
S3	0.45867796
S4	0.14626398
S5	1.27228638
S6	0.63293810
S7	0.31576786
S8	-0.04980652
S9	0.97294944
S10	0.04891883
S11	0.43928826
S12	-0.30664581

TABLE 5.12 – Les coefficients saisonniers

Les coefficients  $\hat{a}$  et  $\hat{b}$  sont respectivement :

$\hat{a} = 1.79598966.$

$\hat{b} = -0.02668313.$

Le modèle s'écrit sous la forme :

$$\hat{y}_t = 1.79598966 - (T - t)0.02668313 + \varepsilon_t$$

Nous allons représenter la série originale du lien1 et son ajustement par la méthode de Holt-Winters additive : Nous avons l'ajustement, nous pouvons ainsi faire des prévisions.

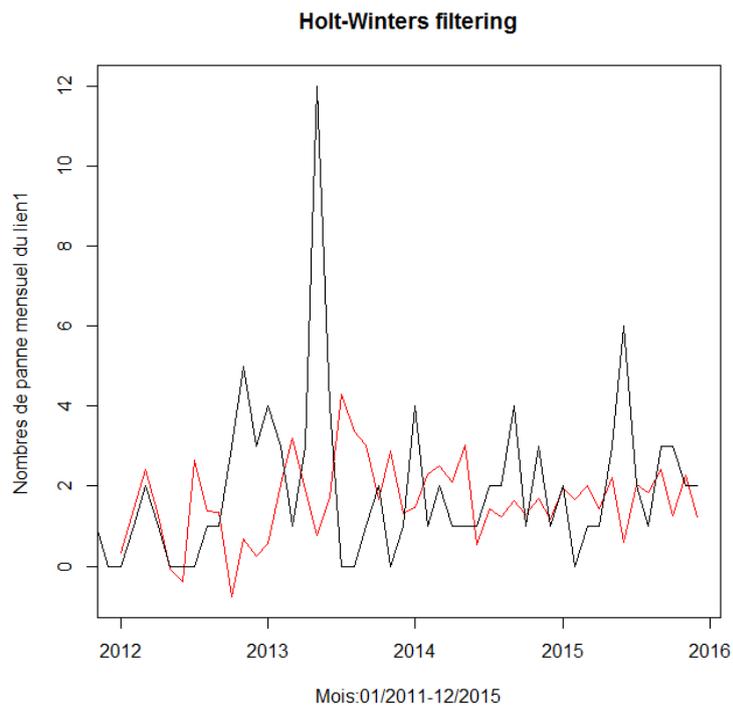


FIGURE 5.10 – La série originale du lien1 et son ajustement

Le tableau. 5.10 et la figure. 5.11 représentent les prévisions obtenues par la méthode de Holt Winters additive pour l’année 2016, 2017 et 2018 :

Mois	Valeur-prévue pour 2016	Valeur-prévue pour 2017	Valeur-prévue pour 2018
Janvier	2.1817417	1.8615442	1.5413467
Février	1.5021088	1.1819112	0.8617137
Mars	2.1746182	1.8544207	1.5342232
Avril	1.8355211	1.5153236	1.1951261
Mai	2.9348604	2.6146629	2.2944653
Juin	2.2688290	1.9486315	1.6284339
Juillet	1.9249756	1.6047781	1.2845806
Aout	1.5327181	1.2125206	0.8923231
Septembre	2.5287910	2.2085934	1.8883959
Octobre	1.5780772	1.2578797	0.9376822
Novembre	1.9417635	1.6215660	1.3013685
Décembre	1.1691463	0.8489488	0.5287513

TABLE 5.13 – Prévisions pour l’année 2016, 2017 et 2018

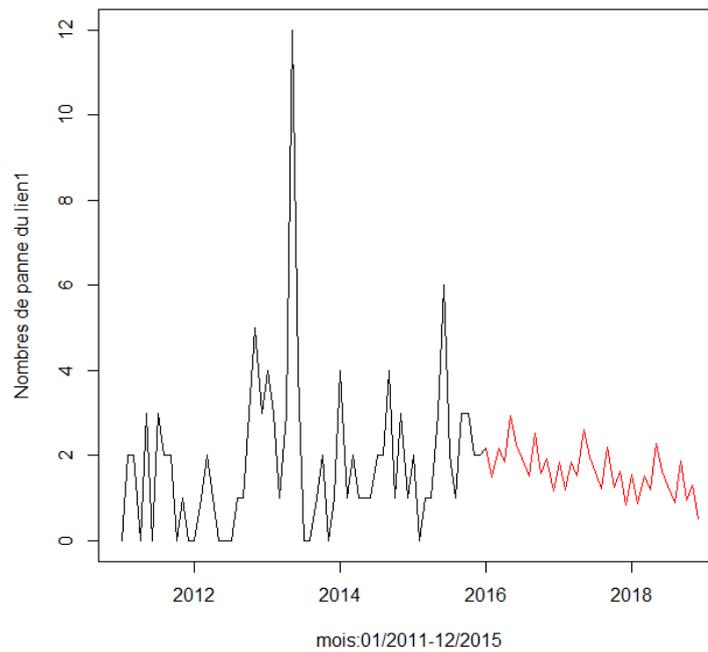


FIGURE 5.11 – Graphe de la série originale du lien1 et sa prévision

• *Pour le lien2*

Les valeurs des paramètres  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\gamma$  et qui minimisent la somme des carrés de l'erreur :

$$\Theta(\alpha, \beta, \gamma) = \sum_{t=1}^{T-h} (y_{t+y} - \hat{y}_h)^2$$

$\alpha = 0.09031997$ .

$\beta = 0.07538408$ .

$\gamma = 0.1534669$ .

Les coefficients saisonniers sont :

S1	-0.072396328
S2	0.093465243
S3	0.666633356
S4	0.112114614
S5	-0.008596797
S6	-0.279137892
S7	-0.238973015
S8	-0.143804236
S9	0.443239363
S10	-0.105577469
S11	0.481740014
S12	0.389748247

TABLE 5.14 – Les coefficients saisonniers

Les coefficients  $\hat{a}$  et  $\hat{b}$  sont respectivement :

$$\hat{a} = 0.964481279.$$

$$\hat{b} = 0.013558426.$$

Le modèle s'écrit sous la forme :

$$\hat{y}_t = 0.964481279 + (T - t)0.013558426 + \varepsilon_t$$

Nous allons représenter la série originale du lien2 et son ajustement par la méthode de Holt-Winters additive :

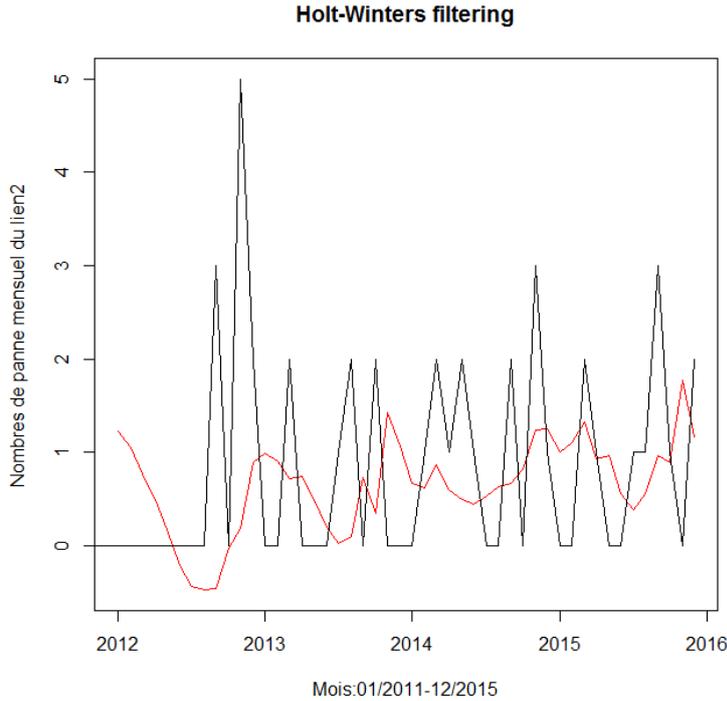


FIGURE 5.12 – La série originale du lien2 et son ajustement

Nous avons l’ajustement, nous pouvons ainsi faire des prévisions.

Le tableau.5.12 et la figure.5.13 représentent les prévisions obtenues par la méthode de Holt Winters additive pour l’année 2016, 2017 et 2018 :

## CHAPITRE 5. ANALYSE DE LA FIABILITÉ DE LA LIGNE DE FIBRE OPTIQUE DE SONATRACH

Mois	Valeur-prévue pour 2016	Valeur-prévue pour 2017	Valeur-prévue pour 2018
Janvier	0.9056434	1.0683445	1.2310456
Février	1.0850634	1.2477645	1.4104656
Mars	1.6717899	1.8344910	1.9971921
Avril	1.1308296	1.2935307	1.4562318
Mai	1.0236766	1.1863777	1.3490788
Juin	0.7666939	0.9293951	1.0920962
Juillet	0.8204172	0.9831184	1.1458195
Aout	0.9291445	1.0918456	1.2545467
Septembre	1.5297465	1.6924476	1.8551487
Octobre	0.9944881	1.1571892	1.3198903
Novembre	1.5953640	1.7580651	1.9207662
Décembre	1.5169306	1.6796318	1.8423329

TABLE 5.15 – Prévisions pour l'année 2016, 2017 et 2018

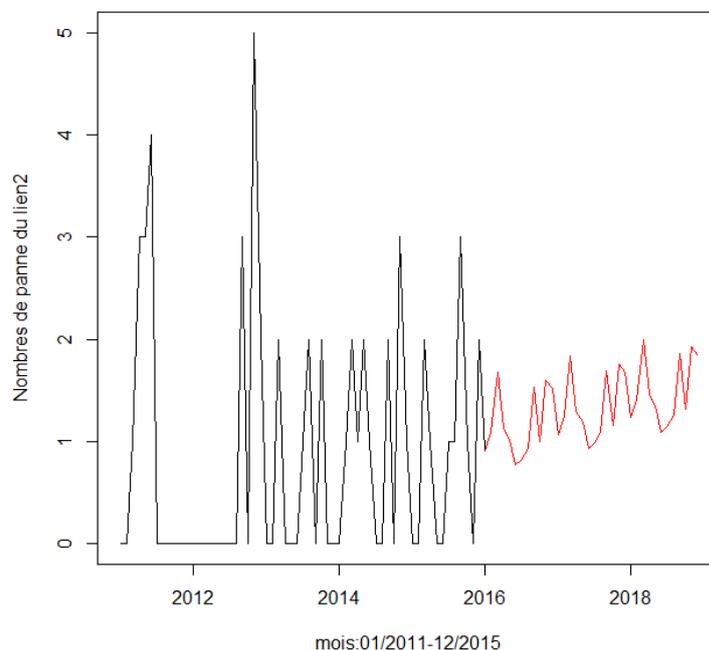


FIGURE 5.13 – Graphe de la série originale du lien2 et sa prévision

### • Pour le lien3

Les valeurs des paramètres  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\gamma$  et qui minimisent la somme des carrés de l'erreur :

$$\Theta(\alpha, \beta, \gamma) = \sum_{t=1}^{T-h} (y_{t+y} - \hat{y}_h)^2$$

$\alpha = 0.2621608$ .

$\beta = 0$ .

$\gamma = 1$ .

Les coefficients saisonniers sont :

S1	0.43419617
S2	-0.50692117
S3	-0.46321130
S4	0.30004011
S5	-0.60525890
S6	0.23463714
S7	0.12505106
S8	0.03983989
S9	-0.03389567
S10	-0.10180323
S11	-0.16127619
S12	-0.95135833

TABLE 5.16 – Les coefficients saisonniers

Les coefficients  $\hat{a}$  et  $\hat{b}$  sont respectivement :

$\hat{a} = 0.95135833$ .

$\hat{b} = 0.03044872$ .

Le modèle s'écrit sous la forme :

$$\hat{y}_t = 0.95135833 + (T - t)0.03044872 + \varepsilon_t$$

Nous allons représenter la série originale du lien3 et son ajustement par la méthode de Holt-Winters additive :

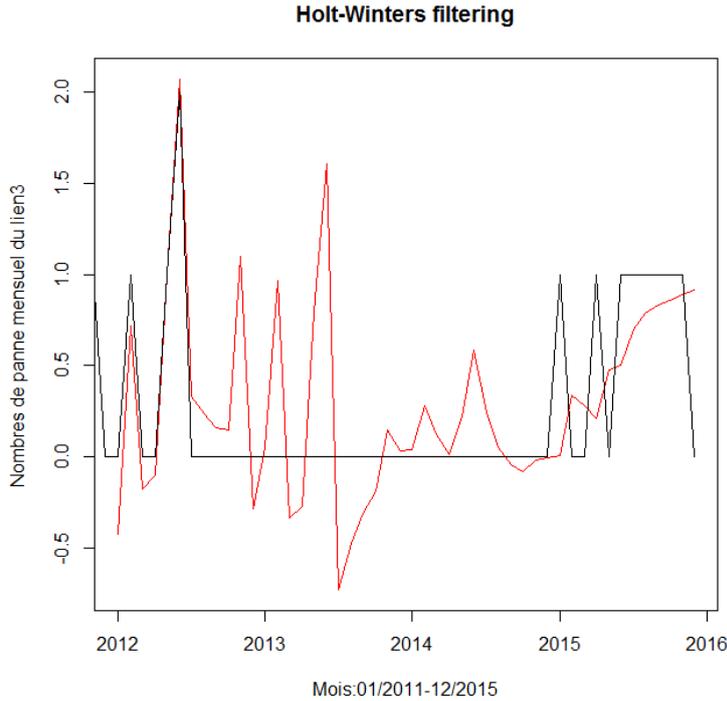


FIGURE 5.14 – La série originale du lien3 et son ajustement

Nous avons l’ajustement, nous pouvons ainsi faire des prévisions.

Le tableau. 5.14 et la figure. 5.15 représentent les prévisions obtenues par la méthode de Holt Winters additive pour l’année 2016, 2017 et 2018 :

## CHAPITRE 5. ANALYSE DE LA FIABILITÉ DE LA LIGNE DE FIBRE OPTIQUE DE SONATRACH

Mois	Valeur-prévue pour 2016	Valeur-prévue pour 2017	Valeur-prévue pour 2018
Janvier	1.4160032	1.7813878	2.1467725
Février	0.5053346	0.8707192	1.2361038
Mars	0.5794932	0.9448778	1.3102624
Avril	1.3731933	1.7385779	2.1039625
Mai	0.4983430	0.8637276	1.2291123
Juin	1.3686878	1.7340724	2.0994570
Juillet	1.2895504	1.6549350	2.0203196
Aout	1.2347880	1.6001726	1.9655572
Septembre	1.1915011	1.5568857	1.9222704
Octobre	1.1540423	1.5194269	1.8848115
Novembre	1.1250180	1.4904027	1.8557873
Décembre	0.3653846	0.7307692	1.0961538

TABLE 5.17 – Prévisions pour l'année 2016, 2017 et 2018

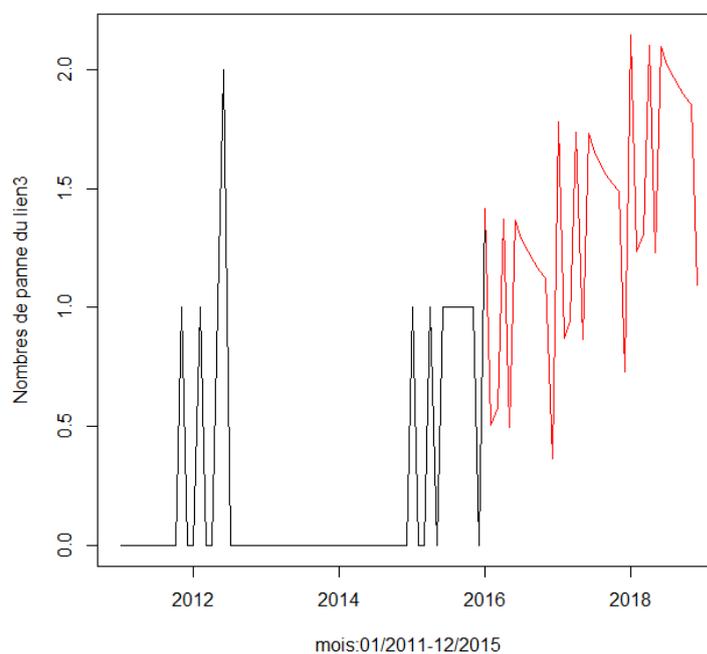


FIGURE 5.15 – Graphe de la série originale du lien3 et sa prévision

### • Pour le lien4

Les valeurs des paramètres  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\gamma$  et qui minimisent la somme des carrés de l'erreur :

$$\Theta(\alpha, \beta, \gamma) = \sum_{t=1}^{T-h} (y_{t+y} - \hat{y}_h)^2$$

$\alpha = 0.005857604$ .

$\beta = 1$ .

$\gamma = 0.2996056$ .

Les coefficients saisonniers sont :

S1	0.08915432
S2	0.09583749
S3	-0.04489371
S4	-0.03910429
S5	-0.03377360
S6	-0.02890648
S7	-0.06501605
S8	-0.06188731
S9	0.15964005
S10	0.30699813
S11	-0.02352325
S12	0.63309742

TABLE 5.18 – Les coefficients saisonniers

Les coefficients  $\hat{a}$  et  $\hat{b}$  sont respectivement :

$\hat{a} = -0.06903806$ .

$\hat{b} = 0.00281444$ .

Le modèle s'écrit sous la forme :

$$\hat{y}_t = -0.06903806 + (T - t)0.00281444 + \varepsilon_t$$

Nous allons représenter la série originale du lien4 et son ajustement par la méthode de Holt-Winters additive :

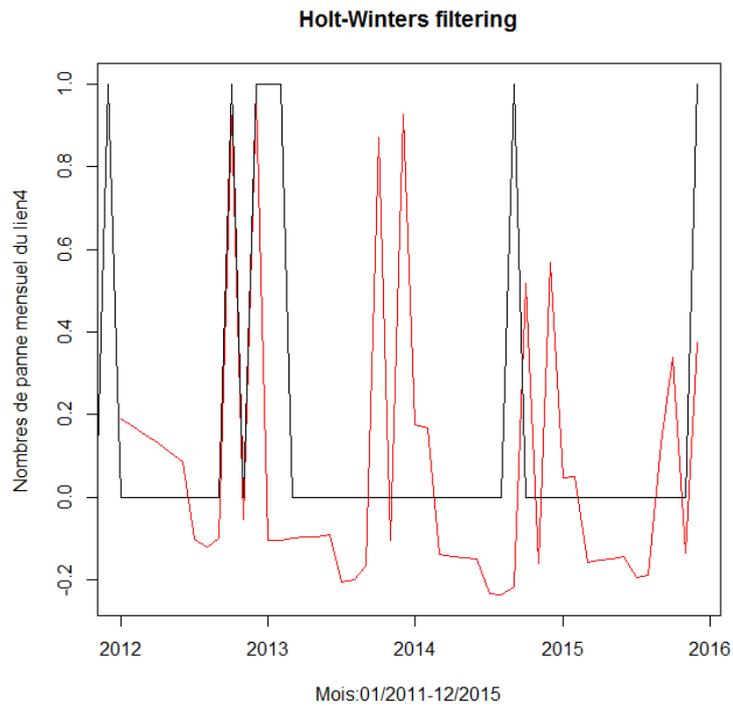


FIGURE 5.16 – La série originale du lien4 et son ajustement

Nous avons l’ajustement, nous pouvons ainsi faire des prévisions.

Le tableau. 5.16 et la figure. 5.17 représentent les prévisions obtenues par la méthode de Holt Winters additive pour l’année 2016, 2017 et 2018 :

CHAPITRE 5. ANALYSE DE LA FIABILITÉ DE LA LIGNE DE FIBRE OPTIQUE DE SONATRACH

Mois	Valeur-prévue pour 2016	Valeur-prévue pour 2017	Valeur-prévue pour 2018
Janvier	0.022930707	0.056703991	0.090477275
Février	0.032428316	0.066201600	0.099974883
Mars	-0.105488449	-0.071715165	-0.037941881
Avril	-0.096884591	-0.063111307	-0.029338023
Mai	-0.088739454	-0.054966170	-0.021192886
Juin	-0.081057900	-0.047284616	-0.013511332
Juillet	-0.114353027	-0.080579743	-0.046806459
Aout	-0.108409850	-0.074636566	-0.040863282
Septembre	0.115931957	0.149705241	0.183478525
Octobre	0.266104476	0.299877760	0.333651043
Novembre	-0.061602463	-0.027829179	0.005944105
Décembre	0.597832646	0.631605929	0.665379213

TABLE 5.19 – Prévisions pour l’année 2016, 2017 et 2018

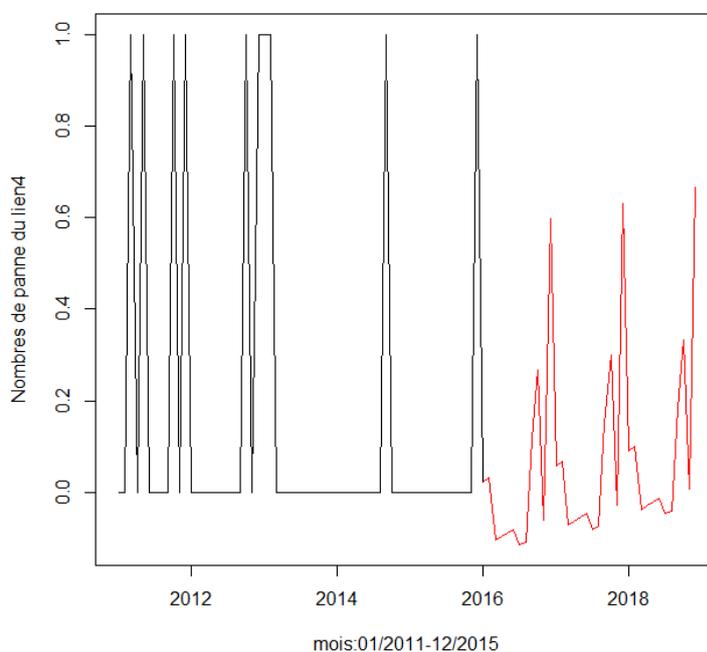


FIGURE 5.17 – Graphe de la série originale du lien4 et sa prévision

## 5.8 Interprétation des résultats

Il ressort de notre étude de fiabilité que le taux de défaillance est croissant au niveau des liens de transmission et des radios. Par conséquent, nous affirmons que tous les liens de transmission et les radios sont à leur stade de vieillissement.

D'après les résultats obtenus lors de notre étude de prévision :

Pour le lien1, nous avons remarqué qu'en moyenne on aura pour les années 2016-2018 : 39 pannes.

Pour le lien2, nous avons remarqué qu'en moyenne on aura pour les années 2016-2018 : 29 pannes.

Pour le lien3, nous avons remarqué qu'en moyenne on aura pour les années 2016-2018 : 32 pannes.

Pour le lien4, nous avons remarqué qu'en moyenne on aura pour les années 2016-2018 : 3 pannes.

Puisque le nombre de pannes augmente sur les liens de transmission, la première solution proposée est le changement de topologie du réseau de télécommunication (la ligne de fibre optique) de Sonatrach , la deuxième solution est de garder le même itinéraire allons de HEH-Béni Mansour et changer l'itinéraire de Béni Mansour-Béjaia .

## 5.9 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons procédé à une collecte de données, traitées et arrangées afin qu'elles soient exploitables. Puis, nous avons calculé les indices de fiabilité des liens de transmission et des radios. Nous avons étudié la fiabilité des sous-systèmes, ainsi que notre système (la ligne de fibre optique). Enfin, nous avons étudié les prévisions des pannes pour les liens de transmission.

# Conclusion générale

La finalité de ce travail a été l'apport d'une démarche, l'objectif de ce travail est d'étudier l'état actuel du réseau de télécommunication (la ligne de fibre optique) Sonatrach en évaluant sa fiabilité, ainsi que les prévisions du nombre de pannes des liens de transmission et de proposer une solution, en ce qui concerne ces liens de transmission.

La première étape est consacrée à la modélisation paramétrique par une loi de Weibull à deux paramètres. La validation des modèles théoriques a été obtenue par le test de Kolmogorov-Smirnov. Les résultats, obtenus dans cette étape, indiquent que le système n'est pas fiable et le taux de défaillance indique une phase de vieillissement.

La deuxième étape concerne la modélisation du nombre de panne de chaque lien de transmission avec la méthode du Lissage Exponentiel. Le but de cette étape est de prévoir le nombre de pannes de différents liens de transmission pour les années 2016-2018. Les résultats obtenus dans cette étape indiquent que le nombre de pannes augmente sur ces liens de transmission.

A partir des résultats trouvés, nous avons proposé deux solutions :

La première concerne le changement de topologie du réseau de télécommunication (la ligne de fibre optique) de Sonatrach.

Alors que la deuxième solution est de garder le même itinéraire allant de HEH-Béni Mansour et changer l'itinéraire allant de Béni Mansour-Béjaia.

En guise de perspectives, nous proposons une étude de prévision du nombre de pannes de transmission lors du changement d'itinéraire pour la première solution. Pour la deuxième solution, nous proposons de faire une simulation de changement d'itinéraire pour le lien Béjaia-BéniMansour.

# Annexe

## Présentation du logiciel R

Le logiciel R [15] est un logiciel performant en termes de calculs et de représentation graphiques. C'est pourquoi, dans le cadre de nos différentes études statistiques, nous l'avons utilisé afin d'estimer les méthodes statistiques et calculer les prévisions.

Le logiciel R est un langage de programmation interactif interprété et orienté objet contenant une très large collection de méthodes statistiques et des facilités graphiques importantes, c'est un clone de logiciel S-plus basée sur le langage de programmation orienté objet S développée en 1988.

Le logiciel R a été développé dans les années 90 par Robert Gentleman et Ross Ihaka (Département de Statistique, Université d'Auckland, Nouvelle-Zélande). Il constitue aujourd'hui un langage de programmation intégré d'analyse statistique, c'est un logiciel libre (avec code source) et peut être distribué librement.

Il est le plus populaire dans la communauté des statisticiens - chercheurs car :

- De nombreuses techniques statistiques modernes et classiques ont été implémentées.  
Les méthodes les plus courantes permettant de réaliser une analyse statistique telles que :
  - Statistique descriptive.
  - Tests d'hypothèses.
  - Analyse de la variance.
- L'utilisateur n'est pas limitée par les procédures préprogrammées par un package.
- Il comporte de nombreuses fonctions pour les analyses statistiques et les graphiques ceux-ci sont visualisés immédiatement dans une fenêtre propre et peuvent être exportés sous divers formats jpg , png, bmp, ps, pdf, emf, pictex et xfig. Les résultats des analyses statistiques sont affichés à l'écran, certains résultats partiels (valeurs de P, coefficients de régression, résidus, etc) peuvent être sauvés à part, exportés dans un fichier ou utilisés dans des analyses ultérieures.

## Tables des temps de bon fonctionnement (TBF) des liens de transmission

Rang	TBF(jours)	Rang	TBF(jours)	Rang	TBF(jours)	Rang	TBF(jours)
1	38	29	686	57	884	85	1425
2	52	30	701	58	886	86	1431
3	72	31	709	59	887	87	1466
4	81	32	717	60	997	88	1586
5	123	33	732	61	1026	89	1545
6	130	34	733	62	1033	90	1573
7	137	35	748	63	1079	91	1592
8	183	36	757	64	1097	92	1597
9	193	37	771	65	1109	93	1605
10	195	38	777	66	1111	94	1612
11	212	39	786	67	1124	95	1615
12	226	40	809	68	1146	96	1619
13	248	41	823	69	1177	97	1628
14	271	42	834	70	1184	98	1629
15	316	43	841	71	1192	99	1639
16	424	44	852	72	1222	100	1653
17	429	45	853	73	1261	101	1663
18	443	46	856	74	1278	102	1691
19	473	47	863	75	1296	103	1716
20	585	48	864	76	1320	104	1731
21	613	49	872	77	1327	105	1732
22	650	50	873	78	1341	106	1734
23	658	51	875	79	1359	107	1737
24	664	52	877	80	1361	108	1754
25	673	53	878	81	1367	109	1773
26	676	54	879	82	1375	110	1794
27	679	55	880	83	1417	111	1795
28	682	56	883	84	1424	112	1802

TABLE 5.20 – Temps de bon fonctionnement du lien1 (Bejaia-BéniMansour)

Rang	TBF(jours)	Rang	TBF(jours)
1	65	27	1012
2	90	28	1015
3	113	29	1145
4	119	30	1169
5	121	31	1177
6	123	32	1215
7	148	33	1228
8	154	34	1236
9	156	35	1261
10	162	36	1341
11	175	37	1364
12	617	38	1401
13	625	39	1412
14	631	40	1417
15	672	41	1435
16	674	42	1523
17	676	43	1544
18	681	44	1564
19	689	45	1648
20	705	46	1677
21	717	47	1709
22	792	48	1731
23	799	49	1732
24	929	50	1750
25	945	51	1766
26	947	52	1771

TABLE 5.21 – Temps de bon fonctionnement du lien2 (BéniMansour-M'sila)

Rang	TBF(jours)
1	313
2	424
3	491
4	528
5	1480
6	1562
7	1639
8	1649
9	1677
10	1713
11	1739
12	1790

TABLE 5.22 – Temps de bon fonctionnement du lien3 (M’sila-Biskra)

Rang	TBF(jours)
1	67
2	141
3	285
4	347
5	648
6	704
7	759
8	766
9	1357
10	1820

TABLE 5.23 – Temps de bon fonctionnement du lien4 (Biskra-Djamaa(HEH))

## Tables des temps de bon fonctionnement (TBF) des Radios

Rang	TBF(jours)
1	11
2	50
3	343
4	407
5	689
6	725
7	736
8	1027
9	1070
10	1098
11	1138
12	1417
13	1475
14	1525
15	1815

TABLE 5.24 – Temps de bon fonctionnement de la radio R1

Rang	TBF(jours)
1	1
2	45
3	335
4	408
5	432
6	625
7	746
8	789
9	1061
10	1099
11	1132
12	1437
13	1510
14	1786
15	1803

TABLE 5.25 – Temps de bon fonctionnement de la radio R2

Rang	TBF(jours)
1	14
2	58
3	343
4	408
5	648
6	710
7	738
8	1019
9	1076
10	1116
11	1416
12	1442
13	1478
14	1505
15	1809

TABLE 5.26 – Temps de bon fonctionnement de la radio R3

Rang	TBF(jours)
1	12
2	41
3	347
4	411
5	657
6	715
7	750
8	1024
9	1081
10	1118
11	1129
12	1427
13	1480
14	1520
15	1812

TABLE 5.27 – Temps de bon fonctionnement de la radio R4

Rang	TBF(jours)
1	48
2	60
3	225
4	377
5	400
6	672
7	734
8	1012
9	1083
10	1106
11	1368
12	1450
13	1487
14	1554
15	1816

TABLE 5.28 – Temps de bon fonctionnement de la radio R5

## Table d'ajustement de Kolmogrov-Smirnov

$\frac{\alpha}{n}$	0.20	0.15	0.10	0.05	0.01
1	0.900	0.926	0.950	0.975	0.995
2	0.684	0.726	0.776	0.842	0.929
3	0.565	0.597	0.642	0.708	0.828
4	0.494	0.525	0.564	0.624	0.733
5	0.446	0.474	0.510	0.565	0.669
6	0.410	0.436	0.470	0.521	0.618
7	0.381	0.405	0.438	0.486	0.577
8	0.358	0.381	0.411	0.457	0.543
9	0.339	0.360	0.388	0.432	0.514
10	0.322	0.342	0.368	0.410	0.490
11	0.307	0.326	0.352	0.391	0.468
12	0.295	0.313	0.338	0.375	0.450
13	0.284	0.302	0.325	0.361	0.433
14	0.274	0.292	0.314	0.349	0.418
15	0.266	0.283	0.304	0.338	0.404
16	0.258	0.274	0.295	0.328	0.392
17	0.250	0.266	0.286	0.318	0.381
18	0.244	0.259	0.278	0.309	0.371
19	0.237	0.252	0.272	0.301	0.363
20	0.231	0.246	0.264	0.294	0.356
25	0.210	0.220	0.240	0.270	0.320
30	0.190	0.200	0.220	0.240	0.290
35	0.180	0.190	0.210	0.230	0.270
plus de 35	$\frac{1.07}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.14}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.22}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.36}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.63}{\sqrt{n}}$

TABLE 5.29 – Valeurs critiques de  $d_{(n,\alpha)}$ , pour une taille  $n$  de l'échantillon et des niveaux de signification  $\alpha$ .

# Bibliographie

- [1] N. Dehass. *Sur la fiabilité des réseaux de télécommunication*. Mémoire de Magister, Département de Recherche Opérationnelle, Université A. Mira de Bejaia, 2002.
- [2] <http://www.sonatrach.com/elements-histoire.html>
- [3] M. Yazid. *Cours réseaux*, Département de Recherche Opérationnelle, Université A. Mira de Bejaia, 2014.
- [4] O. Gaudoin. *Fiabilité des Systèmes et des Logiciels*, notes de cours, Ecoles d'ingénieurs et formations de docteurs Grenoble, 2014.
- [5] O. Tebbi. *Estimation des lois de fiabilité en mécanique par les essais accélérés*. PhD thesis, Institut des sciences et techniques de l'ingénieur d'Angers, Mars 2005.
- [6] M. Dinker, P. Breult et G. Sevestre. *Aspects Modernes de Fiabilité*. Les presses de l'Université de Montreal édition, 1974.
- [7] D. Aissani et A. Aissani. *Méthodes Statistiques en Fiabilité*, Département de Mathématiques, Université Mantouri Constantine, 2005.
- [8] P. Lyonnet. *La maintenance mathématiques et méthodes*. Techniques et documentation édition, 2000.
- [9] A. Ruegg. *Processus stochastiques*. Presses polytechniques romandes édition, 1989.
- [10] A. Tanenbaum et D. Wetherall. *Réseaux*. Pearson 5ème édition, 2011.
- [11] P. Lingnelet et F. Quittard-Pinon. *Cours de statistiques mathématiques*. Décembre 1977.
- [12] S. Adjabi. *Statistique Mathématique*. Éditions Universitaires Européennes, 2011.
- [13] G. Saporta. *Probabilités analyse des données et statistique*. Edition Technip, Paris, 2011.
- [14] S. Adjabi. *Cours Méthodes statistique de la prévision*, Département de Recherche Opérationnelle, Université A. Mira de Bejaia, 2013.
- [15] P. Lafaye de Micheaux, R. Drouilhet et B. Liqueur. *Le logiciel R, Maitriser le langage Effectuer des analyses statistiques*. Springer-Verlag France, 2011.

# Résumé

Dans ce travail, nous avons étudié l'état de vie actuel du réseau de télécommunication (la ligne de fibre optique) de Sonatrach allons de RTC Bejaia vers RTH.

La modélisation des liens de transmission a été faite par la loi paramétrique Weibull. Alors que la prévision du nombre de pannes de chaque lien de transmission a été faite avec la méthode du Lissage Exponentiel.

Les résultats obtenus après les modélisations montrent que le nombre de pannes augmente au cours des années suivantes.

Pour remédier à ce problème, nous avons proposé deux solutions. La première se base sur le changement complet d'itinéraire allons de Béjaia- HEH, par contre la deuxième est de garder le même itinéraire allons de HEH-Béni Mansour et changer l'itinéraire allons de Béni Mansour-Béjaia .

**Mots clés :** Réseau de télécommunication, fibre optique, fiabilité, loi paramétrique, méthode de Lissage Exponentiel.