

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



2<sup>me</sup> année Master

*Modélisation Mathématique et Evaluation des Performances Réseaux*



**Analyse de la Fiabilité et Optimisation de la Maintenance  
Préventive du System de Contrôle d'Accès :  
Cas de Sonatrach RTC-Béjaïa**

**Réalisé par :**

*M<sup>me</sup>* Ouarab Numidia

*M<sup>me</sup>* Dadi Sara

**Devant le jury composé de :**

Président :	<i>M<sup>me</sup></i> S. Boulfekhar	M.C.A, univ. de béjaïa
Rapporteur :	<i>M<sup>r</sup></i> D. Aissani	Professeur, univ. de béjaïa
Rapporteur :	<i>M<sup>r</sup></i> R. Laggoune	M.C.A, univ. de béjaïa
Examineur :	<i>M<sup>r</sup></i> B. Cherfaoui	M.C.B, univ. de béjaïa
Examineur :	<i>M<sup>r</sup></i> F. A. Kassa	M.C.B, univ. de béjaïa
Invité :	<i>M<sup>r</sup></i> H. Ait Idir	Ingenieur de Sonatrach

Université de Béjaïa, 2016

# Table des matières

<b>Liste des figures</b>	<b>4</b>
<b>1 <i>Présentation de la Région Transport Centre de Sonatrach (RTC) de Béjaïa</i></b>	<b>8</b>
Historique . . . . .	8
1.1 Activités de Sonatrach [6] . . . . .	8
1.1.1 Activité amont . . . . .	8
1.1.2 Activité aval . . . . .	9
1.1.3 Activité transport . . . . .	9
1.1.4 Activité commercialisation . . . . .	9
1.2 Activité transport par canalisation . . . . .	9
1.2.1 Les différentes régions de transport par canalisation . . . . .	9
1.3 La Région de Transport Centre Bejaia (RTC) . . . . .	9
1.3.1 Mission et activité de la région de transport centre de Bejaïa RTC . . . . .	10
1.4 Situation géographique de la RTC . . . . .	11
1.4.1 Terminaux (nord et sud) . . . . .	11
1.4.2 Port pétrolier . . . . .	11
1.5 Organigramme de RTC [6] . . . . .	12
1.6 Présentation des différentes structures de RTC [8] . . . . .	12
1.6.1 Sous-direction exploitation . . . . .	12
1.6.2 Sous-direction administration . . . . .	13
1.6.3 Sous-direction finance et juridique . . . . .	13
1.6.4 Sous-direction technique . . . . .	14
1.6.5 Section archive et documentation . . . . .	16
1.7 Autres structures de la RTC . . . . .	16
1.7.1 Centre informatique . . . . .	16
1.7.2 Département Hygiène Sécurité Environnement (HSE) . . . . .	16

1.7.3	Assistante Sécurité Interne (ASI)	16
<b>2</b>	<b><i>Généralité sur le contrôle d'accès</i></b>	<b>18</b>
2.1	Définitions	18
2.1.1	Badge	19
2.1.2	Lecteur de badges	19
2.1.3	Propriétés d'un Badge	19
2.1.4	La traçabilité	19
2.1.5	Unité de traitement local	19
2.1.6	Le serveur de gestion du système	19
2.1.7	Elements d'arrêt	20
2.2	Mode de fonctionnement	21
2.2.1	La phase d'identification et d'authentification	22
2.2.2	Traitement des données	22
2.2.3	Verrouillage et déverrouillage	22
2.2.4	En cas de fonctionnement dégradé	22
2.2.5	En cas de crise ou d'incident grave	23
2.2.6	En cas d'alerte incendie	24
2.2.7	En cas d'incendie	24
2.3	Présentation du système de contrôle d'accès de la RTC-Sonatrach	24
2.3.1	Les zones contrôlées de Sonatrach	24
2.3.2	Accès piétons au site	25
2.3.3	Principe de gestion de l'accès au terminal nord	26
2.3.4	Principe de gestion de l'accès au terminal sud	26
2.3.5	Type d'usagers	26
2.3.6	Accès véhicule au site	27
2.4	Communication site	27
2.4.1	Organisation mémoire de la puce MIFARE standard 4Ko	28
2.4.2	Le réseau local	28
2.4.3	L'interconnexion des bâtiments	28
<b>3</b>	<b>Principaux concepts de la théorie de la fiabilité et de la maintenance</b>	<b>32</b>
3.1	Définitions	32
3.1.1	La fiabilité	32
3.1.2	Types de fiabilité	33
3.1.3	La défaillance	34
3.1.4	Intervalle de temps entre défaillances	35
3.1.5	Le taux de défaillance	35
3.1.6	La courbe en baignoire	35
3.1.7	Différents temps caractéristiques	36

3.2	Fiabilité des systèmes . . . . .	39
3.2.1	Le systeme . . . . .	39
3.2.2	Fiabilité de systèmes constitués de plusieurs composants . .	39
3.2.3	Diagramme de fiabilité . . . . .	41
3.3	Principales lois de probabilité utilisées en fiabilité . . . . .	41
3.3.1	Loi exponentielle . . . . .	41
3.3.2	Loi de Weibull à deux paramètres . . . . .	41
3.3.3	Loi de Weibull à trois paramètres . . . . .	43
3.3.4	Loi normale . . . . .	44
3.3.5	Loi Gamma . . . . .	44
3.4	Estimation des paramètres d'une loi de probabilité . . . . .	44
3.4.1	La méthode des moments [16] . . . . .	44
3.4.2	La méthode maximum de vraisemblance [16] . . . . .	45
3.5	Ajustement analytique des lois et principaux tests . . . . .	45
3.5.1	Test de Khi-deux . . . . .	46
3.5.2	Test de Kolmogorov-Smirnov . . . . .	47
3.6	Définition de la maintenance . . . . .	48
3.7	Types de maintenance . . . . .	49
3.7.1	La maintenance corrective . . . . .	49
3.7.2	La maintenance préventive . . . . .	49
3.8	Effet de la maintenance sur les systèmes . . . . .	49
3.8.1	Réparation (maintenance) parfaite . . . . .	50
3.8.2	Réparation (maintenance) minimale . . . . .	50
3.8.3	Réparation (maintenance) imparfaite . . . . .	50
3.9	Politique de maintenance pour systèmes élémentaires . . . . .	50
3.9.1	Politique de maintenance préventive dépendant de l'âge . .	50
3.9.2	Politique de maintenance préventive périodique . . . . .	51
3.9.3	Politique de remplacement périodique et réparation minimale	51
3.9.4	Politique de mainenance périodique imparfaite et réparation minimale . . . . .	52
3.10	Objectifs de la maintenance . . . . .	53
3.11	Optimisation de la maintenance . . . . .	53
<b>4</b>	<b><i>Analyse de la fiabilité du système de contrôle d'accès de la RTC- Sonatrach</i></b> . . . . .	<b>55</b>
4.1	L'accès aux zones contrôlées de la RTC-Sonatrach . . . . .	55
4.1.1	Accès piétons . . . . .	56
4.1.2	Accès véhicules . . . . .	57
4.2	Collecte des données . . . . .	58
4.3	Modélisation paramétrique des lois de fiabilité du système de contrôle d'accès . . . . .	59

4.3.1	Accès piétons (sous-système 1) . . . . .	59
4.3.2	Accès véhicules . . . . .	62
4.4	Interprétation des résultats . . . . .	65
<b>5</b>	<b><i>Optimisation de la maintenance du système de contrôle d'accès de la RTC-Sonatrach</i></b>	<b>66</b>
5.1	Introduction . . . . .	66
5.2	Choix du modèle d'optimisation à appliquer pour le système de contrôle d'accès . . . . .	66
5.3	Estimation des coûts . . . . .	68
5.3.1	Estimation des coûts pour le portail coulissant motorisé . . .	68
5.3.2	Estimation des coûts pour le serveur . . . . .	68
5.4	Résultats de l'optimisation . . . . .	69
5.5	Interprétation des résultats . . . . .	71

# LISTE DES FIGURES

1.1	Organigramme de la RTC . . . . .	12
2.1	Figure représente un tripode . . . . .	20
2.2	Figure représente un tourniquet . . . . .	21
2.3	L'entrée principale du terminal nord . . . . .	25
2.4	L'entrée principale du terminal sud . . . . .	25
2.5	Carte MIFARE . . . . .	28
2.6	Réseau du TM Nord et TM Sud . . . . .	29
3.1	Courbe de survie ou de fiabilité. . . . .	33
3.2	La courbe en baignoire. . . . .	36
3.3	Chronogramme d'un matériel réparable. . . . .	38
3.4	Chronogramme d'un matériel non réparable. . . . .	38
3.5	Configuration série . . . . .	39
3.6	configuration parallèle . . . . .	40
3.7	Modèle de Weibull à deux paramètres ( $\eta = 1$ ). Influence du paramètre $\beta$ . . . . .	42
3.8	Taux de défaillance de la loi de Weibull . . . . .	43
3.9	Schématisation des objectifs de la maintenance . . . . .	53
4.1	Diagramme de fiabilité pour le système de contrôle d'accès de la RTC-Sonatrach. . . . .	56
4.2	Chaine de traitement des informations . . . . .	57
4.3	Diagramme de fiabilité pour le système accès piétons. . . . .	57
4.4	Diagramme de fiabilité pour le système accès véhicules . . . . .	58
4.5	Le taux de défaillance du serveur . . . . .	61
4.6	Le taux de défaillance du portail coulissant . . . . .	63

# *Introduction générale*

Dans les deux dernières décennies, les entreprises Algériennes ont ressenti l'intérêt de se doter d'un système de contrôle d'accès qui leur permettra d'effectuer un contrôle du personnel en toute sécurité à travers des dispositifs électroniques ou biométriques qui sont à la place des dispositifs traditionnels qui ne répondent plus aux exigences des entreprises.

C'est le cas de l'entreprise sonatrach, région de transport centre Béjaïa qui a installé en 2009 un système technologique de sécurité constitué d'un ensemble de caméras de surveillance et un système de contrôle d'accès basé sur une technologie électronique, et ce dans le but de sécuriser leur patrimoine qui est constitué de deux blocs administratifs, 16 bacs de stockage de pétrole ainsi que 250 fonctionnaires.

Les systèmes de contrôle d'accès doivent répondre au souci de fiabilité. Cette dernière est une composante essentielle dans la sûreté de fonctionnement et participe à la disponibilité des équipements.

Toute entreprise envisage de garantir une meilleure sécurité offerte par les systèmes de contrôle d'accès tout en essayant de trouver un équilibre entre le rapport coût/sécurité. D'où l'intérêt après avoir fait une étude de fiabilité d'essayer d'élaborer un plan de maintenance optimal permettant de minimiser le coût total de la maintenance en optimisant les périodicités des interventions.

C'est justement ce que nous comptons faire tout au long de ce travail en réalisant une analyse de fiabilité du système de contrôle d'accès de RTC-Sonatrach et d'obtenir à la fin un plan de maintenance optimal.

Notre travail est constitué d'une introduction générale, cinq chapitres, une

conclusion générale et une bibliographie.

Dans le premier chapitre, nous présentons de manière générale l'organisme d'accueil RTC-Béjaïa Sonatrach en commençant d'abord par donner un aperçu sur l'historique de l'entreprise puis nous donnons ses principales activités ainsi que ses différentes structures, et nous terminons par la position de problème.

Dans le deuxième chapitre la première partie est consacrée à une description générale des systèmes de contrôle, la manière dont ils fonctionnent, et leurs différents composants, et la deuxième partie est consacrée particulièrement à une description du système de contrôle d'accès de Sonatrach.

Dans le troisième chapitre, nous citons les concepts généraux concernant la fiabilité et la maintenance.

Dans le quatrième chapitre, nous analysons la fiabilité du système de contrôle d'accès de sonatrach après avoir choisi la loi adéquate décrivant le temps de bon fonctionnement de ce dernier, puis nous donnons les différents indices de leur fiabilité.

Le dernier chapitre est consacré à la partie optimisation de la maintenance du système de contrôle d'accès de Sonatrach, où nous donnons un plan de maintenance optimal.

# Chapitre 1

## *Présentation de la Région Transport Centre de Sonatrach (RTC) de Béjaïa*

### **Historique**

Sonatrach (Société Nationale pour le Transport et la Commercialisation des Hydrocarbures) est une entreprise publique algérienne et un acteur international dans l'industrie des hydrocarbures créée le 31 décembre 1963 par le décret N° 63/491, devenue après la société nationale de recherche, de production et de transformation des hydrocarbures.

Et pour récupérer ses richesses naturelles, l'Algérie a décidé de nationaliser tous les secteurs des hydrocarbures le 24/02/1971, et s'est focalisée en 1985 sur 5 métiers de base : la recherche et l'exploitation, la production, la liquéfaction et la transformation, la commercialisation et le transport des hydrocarbures.

En 2014, Sonatrach est la première entreprise à se lancer dans la production du gaz de schiste en Algérie.

Aujourd'hui, elle est classée douzième entreprise pétrolière et treizième exportateur du gaz naturel, et le deuxième concernant le GPL (gaz pétrole liquéfié) dans le monde et la première en Afrique.

### **1.1 Activités de Sonatrach [6]**

#### **1.1.1 Activité amont**

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

### **1.1.2 Activité aval**

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

### **1.1.3 Activité transport**

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

### **1.1.4 Activité commercialisation**

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

## **1.2 Activité transport par canalisation**

Le transport par canalisation est un mode de transport de matières gazeuses ou liquides, généralement le pétrole et autres hydrocarbures liquides, le gaz naturel et autre gaz combustibles.

Le gaz est transporté par les gazoducs<sup>1</sup> et les hydrocarbures par les oléoducs<sup>2</sup>.

### **1.2.1 Les différentes régions de transport par canalisation**

- Région transport Centre-Bejaia (RTC) ;
- Région transport de Haoud-el-Hamra(RTH) ;
- Région transport d'In Aminas (RTI) ;
- Région transport Est-Skikda (RTE) ;
- Région transport Ouest-Arzew (RTO) ;
- GPDF ;
- GEM.

## **1.3 La Région de Transport Centre Bejaia (RTC)**

La région transport centre de Béjaïa est chargée de l'exploitation de deux oléoducs et d'un gazoduc.

---

1. Gazoduc : Canalisation qui transporte le gaz.

2. Oléoduc : Canalisation qui transporte le pétrole.

## **Oléoduc (OB1) Haoud El Hamra - Béjaïa**

Cet oléoduc est le premier pipe-line<sup>3</sup> installé en Algérie par la société pétrolière SOPEG (société pétrolière de gérance). Il est d'une longueur de 668 km et d'un diamètre de 24 puces avec une capacité de transport de dix sept (17) millions de tonnes de pétrole brut et de condensat par an vers le Terminal Marin de Béjaïa.

### **Les stations de pompage**

Plusieurs stations de pompage intermédiaires ont été réalisées pour assurer le débit voulu :

- SPA : station satellite (Touggourt);
- SP1 BIS : station de pompage à Djemaa (El-Oued);
- SPB : station satellite Biskra;
- SP2 : station de pompage à Biskra;
- SPC : station satellite (M'Sila);
- SP3 : station de pompage à M'Sila;
- SPD : station satellite (Béni-Mansour);
- SBM : station de pompage Béni-Mansour;
- TRA : terminal raffinerie d'Alger;
- TMB : terminal marin de Bejaïa.

## **L'oléoduc (OG1) Béni-Mansour - Alger**

Réalisé en 1970 d'une longueur de 130 km et d'un diamètre de 20 puces allant de Béni-Mansour vers la raffinerie d'Alger. Remplacé par un autre oléoduc DOG1 en 2005.

## **Le gazoduc (GG1) Hassi R'mel - Bordj Menaiel**

Ce gazoduc est d'une longueur de 437 km et d'un diamètre de 42 puces alimente en gaz naturel, depuis 1981, toutes les villes et pôles industriels du centre du pays avec une quantité de sept milliards de mètre-cube (m<sup>3</sup>) par an.

### **1.3.1 Mission et activité de la région de transport centre de Bejaïa RTC**

La région transport centre de Bejaïa (RTC) est chargée du transport, du stockage, et de la livraison des hydrocarbures aux navires et à la raffinerie de Sidi-

---

3. Pipe-line : Concept s'inspirant du fonctionnement d'une ligne de montage

Arcine (Alger) et la sauvegarde de son patrimoine. Elle gère les trois ouvrages énoncés précédemment, à savoir :

- Le gazoduc (GG1);
- L'oléoduc (OB1);
- L'oléoduc (DOG1).

Pour maintenir ces ouvrages en bon état de fonctionnement, la RTC assure les opérations de :

- Maintenance et protection des installations;
- Conception et réalisation de nouveaux projets;
- Entretien préventif;
- Gardiennage et surveillance.

### 1.4 Situation géographique de la RTC

Le siège de la Région Transport Centre de Béjaïa (RTC) est situé au niveau de l'arrière port de Bejaïa, à l'entrée de la ville et s'étend sur une superficie globale répartie comme suit :

#### 1.4.1 Terminaux (nord et sud)

- Surface clôturée : 516 135 m<sup>2</sup>;
- Surface couverte : 7 832 m<sup>2</sup>;
- Surface occupée par les bacs : 43 688 m<sup>2</sup>;
- Surface non clôturée : 2 250 m<sup>2</sup>;
- Surface de stockage : 3 800 m<sup>2</sup>.

#### 1.4.2 Port pétrolier

Se compose de deux postes de chargement de navires. Leur surface est comme suit :

- Surface clôturée : 19 841 m<sup>2</sup>;
- Surface couverte : 300 m<sup>2</sup>;
- Surface occupée par les bassins de déballastage : 1 600 m<sup>2</sup>.

## 1.5 Organigramme de RTC [6]

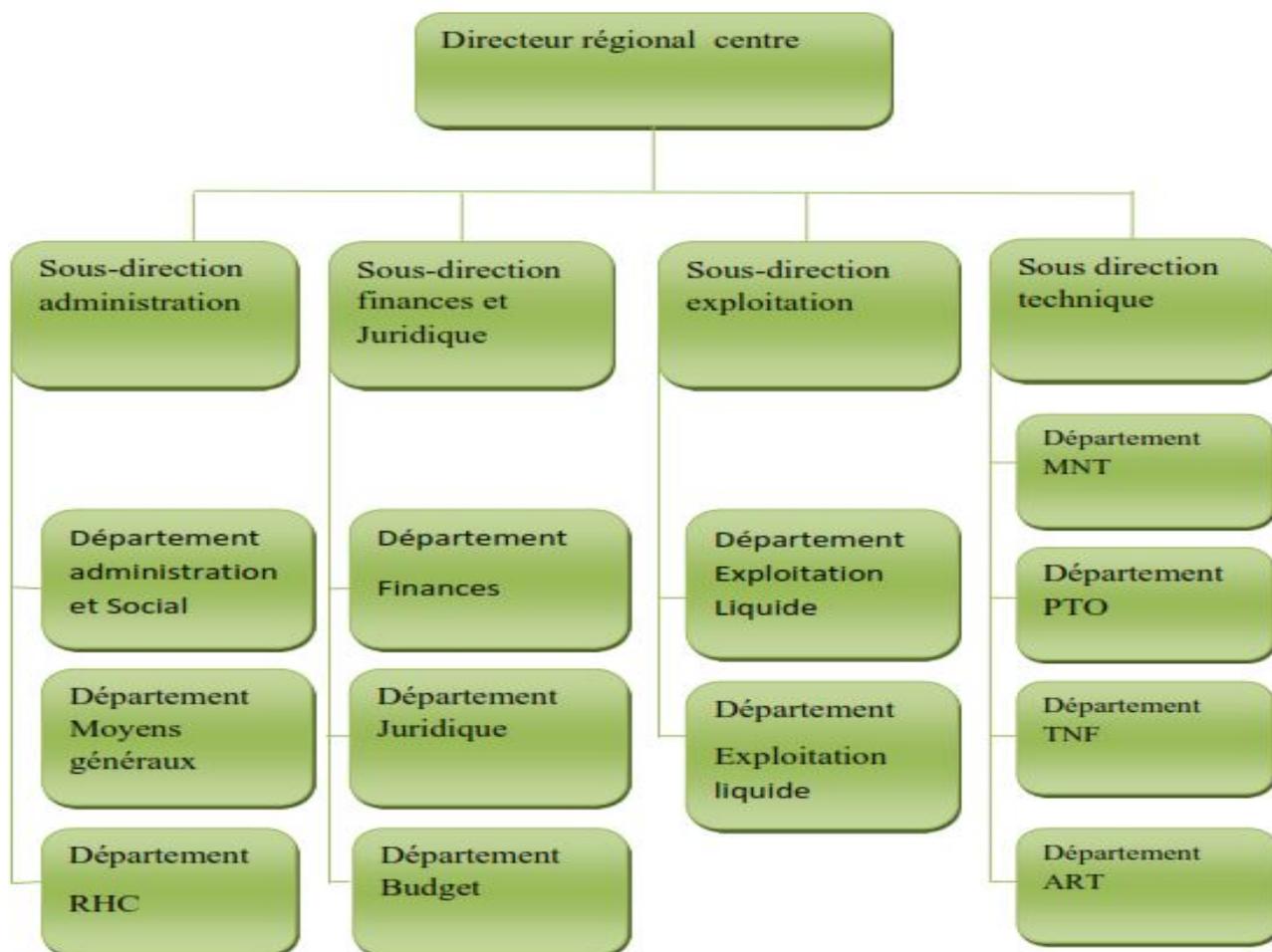


FIGURE 1.1 – Organigramme de la RTC

## 1.6 Présentation des différentes structures de RTC [8]

### 1.6.1 Sous-direction exploitation

Subdivisée en deux départements :

### **Département exploitation liquide**

Ce département est chargé des missions suivantes :

- Transport de pétrole brut et du condensât de Haoud-El-Hamra vers les terminaux de Bejaïa 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 condensat.

### **Département exploitation gaz**

Chargé de l'exploitation du gazoduc reliant Hassi-R'mel et Bordj-Menaiel. Le gaz est livré directement à la Sonelgaz pour l'alimentation des centrales électriques et pour les consommations domestiques. Il gère la station de compression Medjedel et le terminal GG1 Bordj-Menaiel.

## **1.6.2 Sous-direction administration**

Constituée de trois départements, qui sont :

### **Département ressources humaines et communication**

La mission de ce département est d'acquérir des ressources humaines en nombre et en qualité, d'assurer l'évolution de leurs carrières et de planifier les besoins à court et à 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**

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 moyens généraux**

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.).

## **1.6.3 Sous-direction finance et juridique**

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

### **Département finance**

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**

Ce département était l'un des services du département finances, devenu département dans le cadre du nouveau organigramme chargé de :

- L'élaboration budget prévisionnel de l'année à venir, en se basant sur les prévisions élaborées par chaque structure de la RTC ;
- L'élaboration du plan de gestion à court et moyen terme.

### **Département juridique**

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.

## **1.6.4 Sous-direction technique**

Composée de quatre départements :

### **Département approvisionnement et transport**

Assure les approvisionnements nécessaires pour la bonne exploitation des installations, le stockage des pièces de rechange nécessaires pour une année minimum d'utilisation et de transport en tout genre.

### **Département maintenance**

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. Il assure deux types de maintenance préventive et curative.

### **Département protection des ouvrages**

A pour mission de protéger les ouvrages, les pipe-lines, stations de pompage et les bacs contre les erreurs liées au travail ou aux effets naturels comme glissement de terrain, vent de sable etc...

### Département travaux neufs

Le département travaux neufs est chargé des études, de l'assistance technique et du 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 régions. Gère environ quatre vingt pour cent (80%) du budget global de région. Il est structuré comme suit :

#### 1. Service études industrielles

Ce service est chargé de l'élaboration du dossier d'appel d'offre et toute la procédure allant jusqu'à la formalisation du contrat de réalisation. Les différentes tâches réalisées par ce service sont énumérées ci-dessous :

- L'élaboration des dossiers d'appel d'offres ;
- L'établissement des bons de commandes ;
- Elaborer les études de faisabilité et d'opportunité des projets d'investissement ;
- Evaluer les coûts de projets, et élaborer des budgets d'investissements et des fiches techniques des projets ;
- Gérer les contrats avec les bureaux d'études et les organismes de contrôle technique ;
- Elaborer les rapports d'avancement de projets ;
- La prise en charge de la finalisation des études d'engineering de projets en cas de défaillance des bureaux d'études conventionnées ;
- Assurer la mise à jour des plans.
- Service technique et suivi des réalisations ;
- Section archivages et documentation ;
- Secrétariat.

#### 2. Service suivi des réalisations

Ce service est responsable de la concrétisation de tout projet formalisé en contrat et prend le relais après la fin des tâches du service études industrielles. Il assure plusieurs tâches comme :

- La gestion des contrats de réalisation ;
- Approbation des attachements et factures des entreprises contractantes ;
- Contrôler et superviser les travaux réalisés ;
- Participation aux réunions de chantiers ;
- Elaborer les rapports mensuels et assurer le reporting à la hiérarchie ;
- Participer aux travaux des comités d'évaluation des offres ;
- Assurer l'interface vis-à-vis des organismes de contrôle technique durant la réalisation.

### **1.6.5 Section archive et documentation**

Cette section fait partie du service études industrielles et assure plusieurs tâches telle que :

- La gestion des archives techniques de toute la région et la gestion électronique des documents ;
- La codification, classement, conservation et reproduction des documents techniques ;
- Réceptionner la documentation technique de tous les projets relevant de la région.

## **1.7 Autres structures de la RTC**

Les structures suivantes sont rattachées directement à la direction régionale :

### **1.7.1 Centre informatique**

Prend en charge le développement, l'installation et l'exploitation des applications informatiques ainsi que la maintenance du parc informatique de la région. Le centre s'occupe également des questions de sécurité. C'est le cas par exemple du système que l'on va considérer dans ce mémoire, à savoir le système de contrôle d'accès.

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

Il a pour mission de :

- Protéger et sauvegarder le patrimoine humain et matériel de la région ;
- Veiller au respect, strict des normes et standards en matière de HSE.

### **1.7.3 Assistante Sécurité Interne (ASI)**

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

## **Position de problème**

Par souci de sécurité l'entreprise Sonatrach a décidé d'intégrer un système de contrôle d'accès utilisant des technologies sans contact lui permettant de s'assurer que l'accès a ses zones est réservé juste a des personnes ayant le droit d'accès. L'accès sécurisé au site de l'entreprise est conditionné par l'état de bon fonctionnement

du système de contrôle d'accès, par conséquent il est indispensable de tout mettre en oeuvre pour que ce système soit toujours opérationnel. L'analyse de la fiabilité de ce système et la mise en oeuvre d'une politique de maintenance optimale s'avère donc une solution toute indiquée pour améliorer sa disponibilité.

# Chapitre 2

## *Généralité sur le contrôle d'accès*

### **Introduction**

Le contrôle d'accès est une technique qui consiste à soumettre l'entrée d'un établissement ou, de locaux à l'intérieur d'une entreprise, à une autorisation d'accès. Cette autorisation d'accès a pour but de protéger des personnes, des biens ou des informations. Dans ce qui suit nous allons présenter des généralités sur les contrôles d'accès particulièrement celui de Sonatrach.

### **2.1 Définitions**

Le contrôle d'accès est un ensemble de moyens permettant de s'assurer que l'accès à des espaces physiques (zone ou local) est réservé à des personnes identifiées que nous nommons les usagers. Il consiste littéralement à contrôler les accès de votre site, ou à des zones spécifiques de ce site. Contrairement aux méthodes traditionnelles qui reposent sur les verrous et les clés, le contrôle d'accès sécurise le site avec des dispositifs électroniques. En remplaçant les verrous et les clés par des lecteurs de carte et des badges, vous pouvez contrôler qui a accès, à quoi et quand. Dans le cas d'un système de contrôle d'accès utilisant des technologies sans contact, quatre éléments supports principaux interviennent :

- Le badge (ou support similaire) .
- Le lecteur (tête de lecture) .
- L'unité de traitement local UTL.
- Le serveur de gestion du système .

### **2.1.1 Badge**

Objet porté par un individu afin de s'identifier auprès de système de contrôle d'accès ou d'autres personnes. En général, on utilise des cartes ou des porte-clés.

### **2.1.2 Lecteur de badges**

Élément permettant de capter l'information issue d'un badge pour la transmettre à la centrale de contrôle d'accès.

### **2.1.3 Propriétés d'un Badge**

- Les données relatives aux droits d'accès et les périodes de validité ne doivent pas être stockées dans le badge mais dans la base de données du système de contrôle d'accès ;
- Le badge doit être garanti unique ;
- Le badge doit pouvoir être réaffecté à une autre personne sans perte de traçabilité ;
- Aucune information relative au porteur du badge ou aux sites protégés ne doit être accessible sur celui-ci ;
- Chaque badge doit se voir attribuer un numéro de traçabilité unique et visible sur le support. Ce numéro de traçabilité doit être différent du numéro d'identification du système.

### **2.1.4 La traçabilité**

La traçabilité est une procédure visant à suivre automatiquement un produit ou un service depuis sa naissance jusqu'à sa valorisation finale.

### **2.1.5 Unité de traitement local**

Unité de traitement local est une centrale de gestion des accès ou d'intrusion. Elle pilote une ou plusieurs têtes de lecture ainsi que les relais d'alarme et d'éclairage. Elle est reliée au système central via une liaison Ethernet.

### **2.1.6 Le serveur de gestion du système**

Un système de gestion de base de données est un logiciel système destiné à stocker et à partager des informations dans une base de données, en garantissant la qualité, la pérennité et la confidentialité des informations, tout en cachant la complexité des opérations.

- Centralise les journaux événements ;
- Remonte les événements au gestionnaire ;
- Héberge la base de données centrale, tenue à jour (droits, utilisateurs, groupes, badges, etc...);
- Pilote l'ensemble des UTLs en leur transmettant la base de données nécessaire à leur traitement des demandes d'accès.

### **Un accès contrôlé par badge**

Chaque usager doit posséder un badge contenant une puce électronique et une antenne enfouie dans l'épaisseur du badge. Celui-ci permet à l'utilisateur de s'identifier au travers d'un lecteur de badges. Sur le plan technique, la liaison radio permet à la fois au lecteur de badges de dialoguer avec la carte et de l'alimenter. Les UTLs prennent en charge d'identifier le badge de l'utilisateur, et si celui-ci détient les droits d'accès requis, d'agir sur l'élément d'arrêt afin de permettre d'accéder à la zone contrôlée.

#### **2.1.7 Éléments d'arrêt**

##### **Tripode**

Un tripode est un élément mécanique assurant la transmission d'un mouvement de rotation entre deux axes concourants.

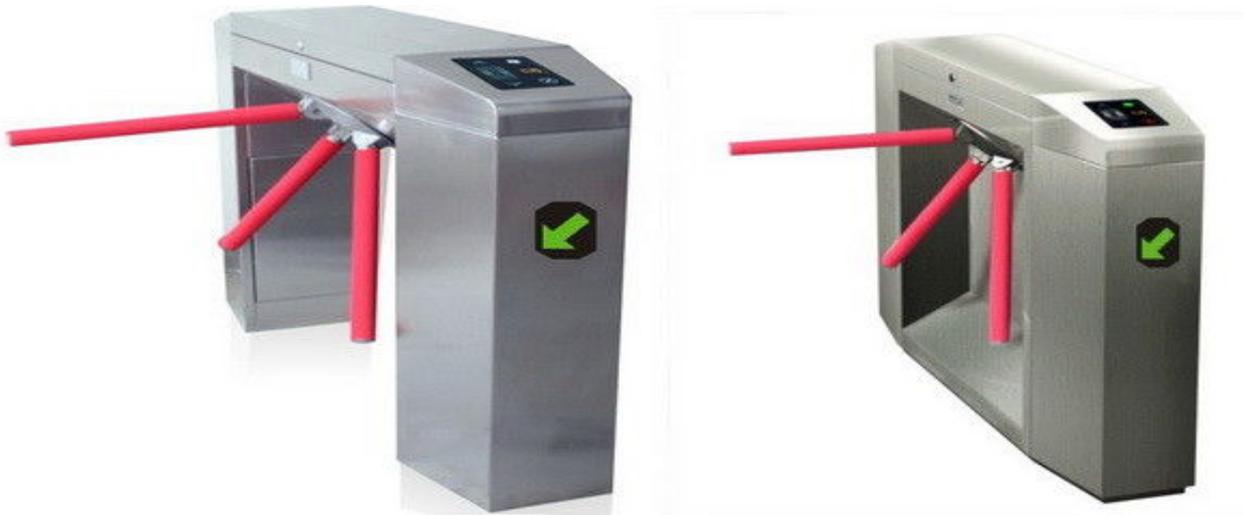


FIGURE 2.1 – Figure représente un tripode

### Tourniquet

Le tourniquet est un élément mécanique destiné au contrôle de la circulation des personnes dans les endroits surveillés avec empreinte digitale et/ou badge de proximité.



FIGURE 2.2 – Figure représente un tourniquet

### Barrière levante

Barrière levante est contrôlée à l'aide d'automates pour gérer les flux d'entrée et de sortie d'une zone dont l'accès est contrôlé.

### Portail coulissant

Le portail coulissant est un panneau de bois ou autre, appelé vantaail, qui se déplace le long d'un rail. Il peut être composée d'un ou plusieurs rails et vantaux coulissants dans une direction identique ou opposée

## 2.2 Mode de fonctionnement

Un système de contrôle d'accès permet de configurer la manière de réagir de la centrale de contrôle d'accès qui assure trois fonctions primaires [9] :

### 2.2.1 La phase d'identification et d'authentification

Les notions d'identification et authentification sont conformes aux recommandations de l'agence nationale de la sécurité des systèmes d'information. Dans le contexte des systèmes de contrôles d'accès, et en fonction de la technologie choisie, la phase dite identification/authentification peut se réduire à l'identification du badge, ou à l'identification et l'authentification du badge seulement.

- **Identification** dans un système reposant sur une technologie sans-contact, l'identification est la présentation d'un badge à un lecteur ;
- **Authentification du badge** l'authentification du badge consiste à prouver qu'il est valide.

Pour un système de contrôle d'accès reposant sur des technologies sans-contact, l'authentification du badge se fait le plus souvent par un échange cryptographique permettant au badge de prouver qu'il détient des éléments secrets sans les révéler. Si les fonctions cryptographiques sont suffisamment robustes, il n'est pas possible de cloner un tel badge tant que les éléments secrets restent protégés. Néanmoins, le badge, support physique, peut être volé. Le badge étant préalablement authentifié, il s'agit pour le porteur du badge de prouver qu'il en est le détenteur légitime.

### 2.2.2 Traitement des données

Le traitement de données est assuré en premier lieu par l'unité de traitement local (UTL). Cette unité assure la gestion de toutes les demandes d'accès, compare ces demandes par rapport à un ensemble de droits d'accès stockés dans sa base de données, et délivre les commandes de libération des verrouillages.

### 2.2.3 Verrouillage et déverrouillage

Le dispositif de verrouillage permet de réaliser le blocage mécanique du point d'accès pour empêcher le passage des personnes non autorisées et autorise aussi le déverrouillage. Dans le cadre de l'analyse des risques, il conviendra de prendre en compte les situations dégradées (coupure électrique) et les cas d'ouverture automatique (incendie).

### 2.2.4 En cas de fonctionnement dégradé

On définit le fonctionnement dégradé, comme le fonctionnement du système de manière partielle suite à un dysfonctionnement complet ou partiel des éléments qui le composent. Plusieurs types d'événements peuvent se produire et entraîner un fonctionnement dégradé. Les événements peuvent aussi se cumuler. Il convient

de faire face à chaque situation en définissant les bonnes procédures dès la mise en place du système.

### **Panne d'une tête de lecture**

Le gestionnaire du système veillera à avoir des têtes de lecture en stock pour garantir leur remplacement le plus rapidement possible. Pendant la panne, et en fonction des exigences et de l'emplacement de la tête de lecture concernée, plusieurs solutions sont possibles :

- Laisser la porte ouverte, en acceptant le risque ;
- Contrôler les flux de personnes manuellement (par un agent de surveillance par exemple) ;
- Condamner la porte et obliger les personnes à emprunter un passage secondaire.

### **Panne d'UTL**

La problématique est la même que pour une tête de lecture défaillante, à la différence que plusieurs têtes de lecture (celles contrôlées par l'UTL) seront non opérationnelles.

### **Panne du serveur ou du logiciel de gestion du système d'accès**

Les UTLs doivent avoir une copie de la base des droits afin de continuer à fonctionner de manière autonome. Pendant la panne, la création de badges et leur révocation n'est pas possible, ni la génération des rapports ou la consultation des événements. Cette situation est faiblement critique et devrait pouvoir être gérée facilement et sans gros impact. Il est toutefois nécessaire de mener, au plus vite, les opérations de reprise après incident, à partir des dernières sauvegardes.

### **Coupure électrique**

Pendant la durée de la coupure, et si les conditions de sécurité des personnes le permettent, il est conseillé de vérifier manuellement le verrouillage de chaque porte sensible afin de s'assurer que les batteries ont bien pris le relai d'alimentation et assurent le verrouillage des portes.

## **2.2.5 En cas de crise ou d'incident grave**

Parmi ces incidents, on en distingue deux types :

- Panne importante du système ;

- Attaques réussies menées par des personnes malveillantes, remettant en cause la fiabilité du système de contrôle.

### **2.2.6 En cas d’alerte incendie**

La réglementation nationale impose que les issues et dégagements permettent une évacuation rapide.

### **2.2.7 En cas d’incendie**

Selon les risques identifiés et les règles définies par l’organisme, il convient de déterminer comme le contrôle des accès peut être assuré dans un tel cas, par exemple grâce à des moyens humains ou vidéos. Le responsable du site doit déterminer (et tester) à l’avance comment se passera le retour dans les locaux à l’issue d’une alerte :

- Soit par l’ouverture complète des points d’accès (avec contrôle humain par exemple) ;
- Soit via le fonctionnement normal du système (il faut alors pouvoir réinitialiser le système) ;

## **2.3 Présentation du système de contrôle d’accès de la RTC-Sonatrach**

### **2.3.1 Les zones contrôlées de Sonatrach**

La zone contrôlée (ZC) est matérialisée par la protection périphérique qui délimite le site à protéger [6] :

- Les zones contrôlées de niveau 1 : aussi appelées zones protégées (ZP) sont toujours situées à l’intérieur d’une zone contrôlée et matérialisées par les murs d’un bâtiment et/ou clôture grillagée. Elles servent à protéger des bâtiments fonctionnels ;
- Les zones contrôlées de niveau 2 : aussi appelées zones vitales (ZV) sont toujours situées à l’intérieur d’une zone protégée. Les zones contiennent l’ensemble des équipements vitaux à protéger pour garantir la sûreté de TM Nord et Sud.

### 2.3.2 Accès piétons au site

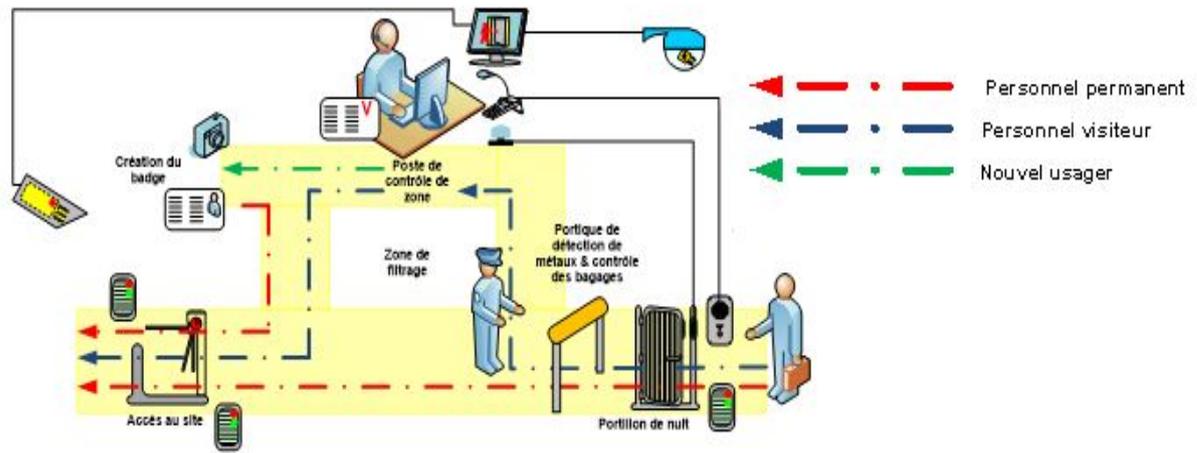


FIGURE 2.3 – L'entrée principale du terminal nord

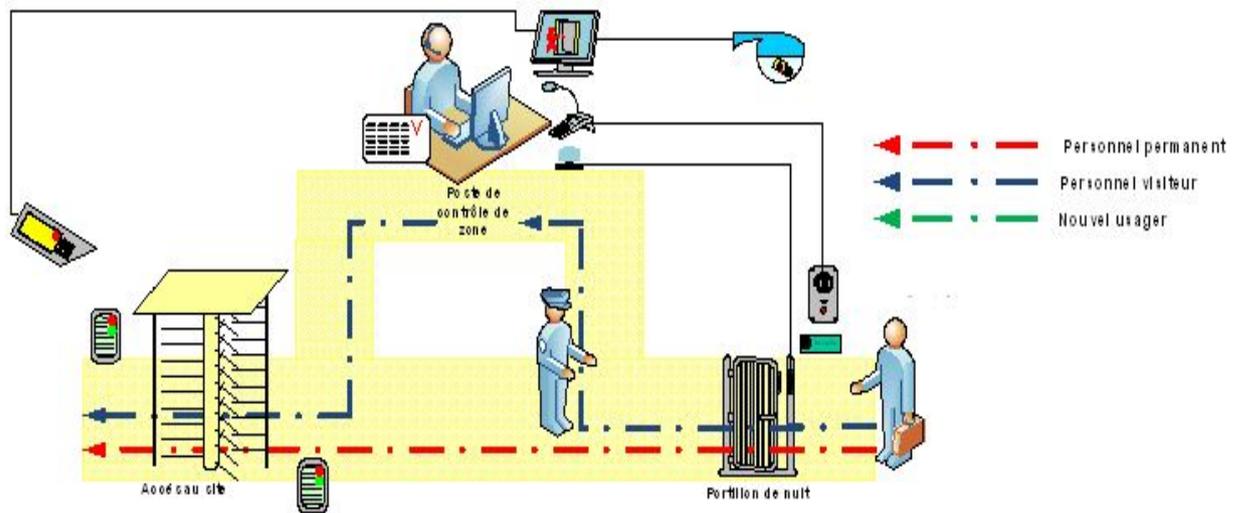


FIGURE 2.4 – L'entrée principale du terminal sud

### **2.3.3 Principe de gestion de l'accès au terminal nord**

Le portillon de nuit est ouvert pendant une plage horaire journalière continue, il peut être commandé depuis le poste de contrôle de zone suite à un appel d'un individu situé à l'extérieur. L'exploitant pourra dialoguer avec l'individu avant de l'autoriser à pénétrer dans la zone de filtrage.

### **2.3.4 Principe de gestion de l'accès au terminal sud**

Il est uniquement commandé depuis le poste de contrôle de zone suite à un appel d'un individu situé à l'extérieur. L'exploitant pourra dialoguer avec l'individu avant de l'autoriser à pénétrer dans la zone de filtrage. Dès l'entrée dans la zone de filtrage, les bagages à main sont contrôlés. Un agent d'accueil est en charge de la surveillance de cette zone et des opérations de contrôle.

### **2.3.5 Type d'usagers**

#### **Les permanents**

Il s'agit d'usagers en possession d'un badge d'accès valide leur donnant un droit d'accès au site de manière permanente.

#### **Les visiteurs**

Il s'agit de personnes ayant rendez-vous ou sollicitant un accès au site de manière ponctuelle.

#### **Les nouveaux usagers**

En ce qui concerne les futures usagers, leurs badges seront réalisés dans le local SIE du TM Nord. Les personnes ne possédant pas de badge se présentent à l'agent de protection et de sécurité (l'APS) du CVC, celui-ci leur remet un badge visiteur s'ils remplissent les conditions fixées par la direction. Une fois les informations personnelles renseignées dans le STS et les droits d'accès affectés, les badges seront remis à l'APS du CVC qui fournira, lui-même, le badge au nouveau collaborateur.

L'accès au site est réalisé par un élément d'arrêt à unicité de passage afin de connaître le nom et le nombre de personnes présentes sur site, mais aussi d'interdire l'utilisation consécutive d'un même badge pour faire entrer d'autres personnes.

### 2.3.6 Accès véhicule au site

#### Principe de gestion de l'accès au terminal nord

L'accès véhicule vient de compléter l'accès piéton, mais il est réservé aux usagers permanents ou aux officiels et afin de garantir l'unicité de passage, tous les occupants du véhicule, excepté le chauffeur, devront emprunter l'accès piéton pour pénétrer dans le site. Le portail de nuit est ouvert pendant une plage horaire journalière continue ou uniquement durant les horaires d'affluence. Il peut être commandé depuis le poste de contrôle de zone suite à un appel d'un individu bloqué à l'extérieur. L'exploitant pourra dialoguer avec l'individu avant de l'autoriser à pénétrer dans la zone de filtrage. Dès l'entrée dans la zone de filtrage, un agent d'accueil vient inspecter le véhicule. Une fois le contrôle achevé, l'utilisateur peut sortir du SAS et accéder au site en badgeant. Un ensemble de feu bicolore permet d'avertir les autres usagers entrant ou sortant du site, s'ils peuvent ou non s'engager dans le SAS.

#### Principe de gestion de l'accès au terminal sud

Le portail de nuit est verrouillé durant toute la journée en continue, il est commandé depuis le Poste de Contrôle de Zone suite à un appel d'un individu bloqué à l'extérieur. L'exploitant pourra dialoguer avec l'individu avant de l'autoriser à pénétrer dans la zone de filtrage. Dès l'entrée dans la zone de filtrage, un agent d'accueil vient inspecter le véhicule. Une fois le contrôle achevé, l'utilisateur peut sortir du SAS par ouverture de la barrière levante commandée par l'agent de sécurité. Les personnes n'ayant pas de badge devront d'abord se présenter au CVC TM Nord afin d'obtenir une autorisation d'accès.

#### Principe de fonctionnement

Tous les Systèmes Technologiques de Sécurité sont architecturés autour d'un système de communication. Celui-ci fédère l'ensemble des fonctionnalités du système. Il est donc :

- Dimensionné de manière à gérer l'ensemble des flux,
- Sécurisé de manière à pallier une perte de lien.

## 2.4 Communication site

La technologie retenue pour ce projet est celle de référence dans le monde du contrôle d'accès, employée dans plus de 80% des cartes sans contact : MIFARE. Cette technologie de carte sans contact, développé par Philips, est basée sur la norme ISO 14443A fonctionnant sur la fréquence de 13.56 MHz avec une mémoire de 4ko.

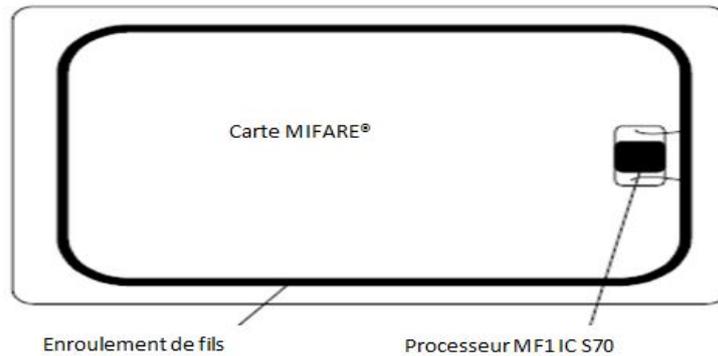


FIGURE 2.5 – Carte MIFARE

### 2.4.1 Organisation mémoire de la puce MIFARE standard 4Ko

Les 4 Ko de mémoire EEPROM sont organisés comme suit : 32 secteurs de 4 blocs chacun (2 Ko / 16 384 bits) 8 secteurs de 16 blocs chacun (2 Ko / 16 384 bits). chaque bloc est composé de 16 octets, chaque octet est composé de 8 bits.

### 2.4.2 Le réseau local

Le réseau local retenu est un réseau Ethernet commuté respectant les normes de l'IEEE 802.3. Celui-ci permet d'interconnecter : les commutateurs, les serveurs, les postes d'exploitation, les UTLs, les codecs, les codeurs/enregistreurs, les stockeurs redondants ...

### 2.4.3 L'interconnexion des bâtiments

Pour l'interconnexion entre les baies de TM Nord et Sud nous avons une architecture dite en étoile. Ces liaisons inter-baies seront en fibres optiques monomodes. Ce médium demande des conversions de signaux (électrique / lumineux). Dans un souci de performance et de fiabilité, ces modules fibre optique seront intégrés dans les équipements actifs.

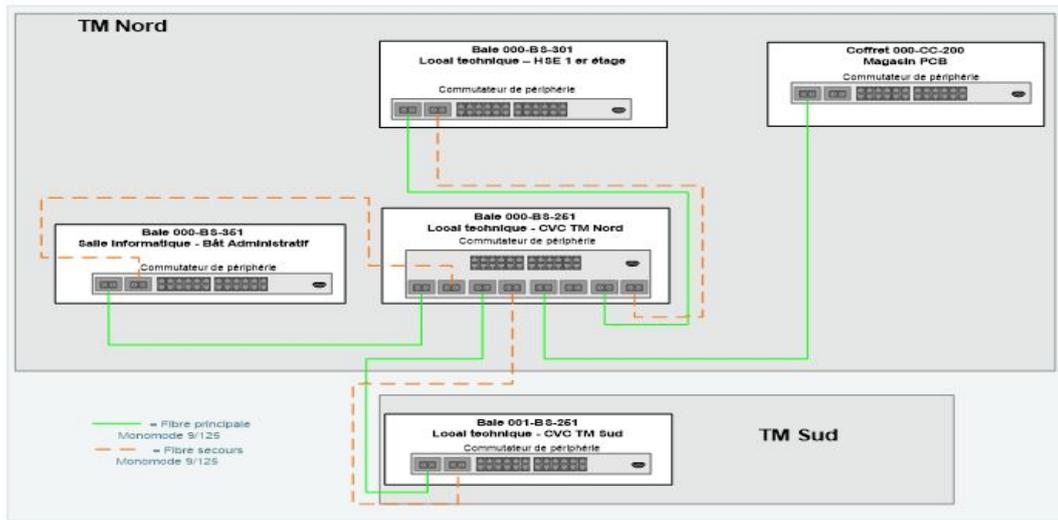


FIGURE 2.6 – Réseau du TM Nord et TM Sud

Il s'agit d'une architecture matérielle ouverte qui garantit la compatibilité avec différents constructeurs de badges ou de lecteurs de badges utilisant la technologie MIFARE.

### Etape 1

Le lecteur de badges émet en permanence un champ électromagnétique à la fréquence de 13,56 MHz, grâce à son antenne. Lorsque l'utilisateur place son badge devant le lecteur, le badge est " éveillé " : il se crée un couplage inductif entre l'antenne du lecteur et celle du badge.

Le badge utilisé est un badge passif ; c'est-à-dire qu'il ne possède pas de source d'énergie propre. Lorsque que le couplage inductif est créé, c'est le champ électromagnétique qui alimente le badge et active la puce se trouvant dans celui-ci. La puce exécute alors les programmes pour lesquels elle a été conçue.

Ensuite, pour transmettre au lecteur les informations qu'elle contient, elle crée une modulation d'amplitude sur la fréquence porteuse (13,56 MHz). Le lecteur reçoit ces informations et les transforme en binaire (0 ou 1). Dans le sens lecteur vers badge, l'opération est symétrique : le lecteur émet des informations par modulation sur la porteuse, les modulations sont analysées par la puce et numérisées. Les données échangées sont cryptées.

### Etape 2

Les décisions de contrôle d'accès se prennent au niveau de l'unité de traitement logique (UTL). Le lecteur de badges transmet donc à l'UTL les informations reçues du badge.

Le lecteur est composé de deux éléments principaux : l'antenne (qui permet la communication avec le badge) et un système de lecture/écriture. C'est ce dernier qui code/décodé les données, les contrôle, les stocke et les transmet à l'unité de traitement logique via une interface compatible avec le protocole utilisé (ici : le protocole Wiegand<sup>1</sup>). Le lecteur de badges possède une led indiquant son état : au repos, elle est rouge ; elle passe et reste au vert lorsque l'accès est autorisé ; elle passe furtivement au orange et repasse au rouge lorsque le badge est inconnu ou que l'accès n'est pas autorisé.

### Etape 3

Les unités de traitement logiques (UTL) constituent l'interface entre le serveur d'exploitation des données et les lecteurs de badge. La communication entre l'UTL et le serveur s'effectue par le réseau de communication. Ces UTLs sont à intelligence répartie ; c'est à dire que lorsqu'un utilisateur badge sur un lecteur, c'est l'UTL gérant ce lecteur qui prend la décision de déverrouiller ou non l'accès.

En mode dégradé (perte de la communication entre l'UTL et le serveur), l'UTL est autonome (elle peut garder en mémoire tampon 5000 transactions d'accès en attendant la remise en service de la liaison avec le serveur). Conçue de base pour la gestion de deux lecteurs de badges, l'UTL est extensible à 16 lecteurs par la simple adjonction d'une puce personnalisée (Chipset 4, 8 ou 16 lecteurs par UTL). De base, l'UTL possède également 16 entrées 4 états (l'UTL surveille les lignes de tous les capteurs qui lui sont connectés et les 4 états sont : normal, alarme, coupure de ligne, court-circuit) et 4 sorties relais. Ceci permet donc de connecter à l'UTL d'autres équipements de contrôle d'accès et d'intrusion : serrures, détecteurs d'ouverture, etc. Il devient donc possible de commander l'ouverture d'un accès via l'UTL, de transférer des informations intrusion (" porte ouverte ", ...), etc.

Les unités de traitement logique (UTL) constituent donc le point central du système de contrôle d'accès et d'intrusion. Pour augmenter le nombre d'entrées/sorties de l'UTL, il est possible d'ajouter des cartes d'extensions :

WIRO (4 lecteurs de badge contrôlés, 8 entrées et 4 sorties). Ces extensions s'interposent entre l'UTL et les équipements de contrôle d'accès, et sont connectées à l'UTL via un bus SNET. L'UTL peut alors gérer jusqu'à 256 entrées (2 ou 4 états), 96 sorties relais et 16 territoires d'alarmes. Par ailleurs, un voyant sur

---

1. Le protocole Wiegand est un protocole standard de transmission de données utilisé dans le contrôle d'accès.

l'UTL permet de visualiser l'état de l'ensemble des communications de celle-ci.

**Conclusion** Dans ce chapitre, nous avons présenté les notions générales concernant les systèmes de contrôle d'accès ainsi que leur mode de fonctionnement, de moment ou l'utilisateur badge jusqu'à la permission d'accès, et d'une manière particulière celui de l'entreprise Sonatrach, ce qui nous aidera dans la suite à modéliser correctement la fiabilité de notre système notamment la configuration du système.

# Chapitre 3

## Principaux concepts de la théorie de la fiabilité et de la maintenance

### Introduction

Le terme "fiabilité" est un néologisme introduit dans les années 60 pour traduire le terme anglo-saxon "reliability" et si l'on accepte de la considérer comme une science, la fiabilité est la science des défaillances [3]. Cette science possède son vocabulaire propre, et elle sert à être une composante essentielle dans la maintenance qui est une science apparue dans les années 50 après l'évolution d'un concept appelé "entretien". Dans ce chapitre, nous allons présenter les notions fondamentales de fiabilité et de la maintenance.

### 3.1 Définitions

#### 3.1.1 La fiabilité

La fiabilité est l'aptitude d'un dispositif à accomplir une fonction requise, dans des conditions données, pendant une durée donnée [3]. C'est la probabilité  $R(t)$  que l'entité  $E$  accomplisse ces fonctions, dans des conditions données pendant l'intervalle de temps  $[0,t]$ , sachant que l'entité n'est pas en panne à l'instant initial [1].

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

La figure ci-dessous présente une allure de la fonction  $R(t)$  en fonction du temps.

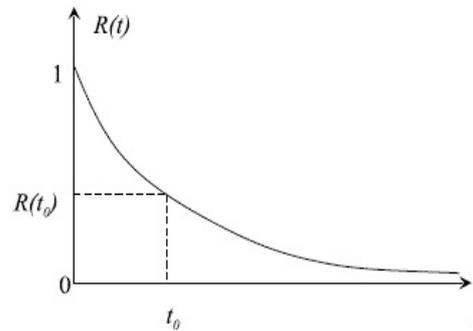


FIGURE 3.1 – Courbe de survie ou de fiabilité.

### 3.1.2 Types de fiabilité

On distingue trois types [7] :

#### La Fiabilité prévisionnelle

C'est la fiabilité calculée sur la base d'un modèle mathématique défini à partir des données du projet et de la fiabilité estimée des composants.

#### La fiabilité estimée "Intrinsèque"

C'est la fiabilité d'un dispositif mesurée au cours d'essais spécifiques, effectués dans le cadre d'un programme d'essais entièrement définis.

#### La fiabilité opérationnelle

La fiabilité opérationnelle est la fiabilité mesurée sur un des dispositifs en exploitation normale ; elle dépend des conditions réelles d'utilisation et de support logistique, notamment la maintenance.

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

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

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

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

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

### 3.1.3 La défaillance

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

On distingue selon la vitesse de variation de ces propriétés, deux types de défaillances :

#### Les défaillances graduelles (progressives)

Elles se caractérisent par une variation progressive des paramètres déterminant la fiabilité du système. Ce type de défaillance est prépondérant pour le matériel mécanique, pour lequel se manifeste l'usure des composants après une certaine durée de fonctionnement [8].

#### Les défaillances subites (soudaines)

Elles sont dues à une perte totale des propriétés du système entraînant son incapacité de fonctionnement, contrairement aux défaillances graduelles. Ce type de défaillances caractérise spécialement le matériel électronique [8].

On peut aussi classer les défaillances selon la période de vie de l'équipement .  
On distingue deux classes :

#### Les défaillances aléatoires

Elles apparaissent durant la période de vie utile du matériel. Ce sont des défaillances accidentelles. Elles ont la même probabilité d'apparition [14].

#### Les défaillances par usure

Ce sont des pannes progressives et elles apparaissent suite à la fatigue, l'usure et la dégradation du matériel après une longue période de fonctionnement [14].

### 3.1.4 Intervalle de temps entre défaillances

L'intervalle de temps entre deux défaillances ou temps de bon fonctionnement est la durée de fonctionnement d'un dispositif réparable entre deux défaillances successives. On lui associe le MTBF ou temps moyen entre défaillance.

Pour les dispositifs non réparables, On introduit la notion de durée de vie, c'est la durée de fonctionnement jusqu'à la défaillance totale [20].

### 3.1.5 Le taux de défaillance

Le taux de défaillance instantané  $\lambda(t)$  désigne la proportion des dispositifs qui, ayant survécu a un instant  $t$ , ne sont plus en vie à l'instant  $t+dt$ , parmi les dispositifs en vie a l'instant  $t$  [8].

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

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

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

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

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

### 3.1.6 La courbe en baignoire

La courbe en baignoire (fig 3.2), donne l'évolution du taux de défaillance  $\lambda(t)$  en fonction de l'âge  $t$  du matériel. On distingue trois périodes différentes selon l'âge du matériel :

Période de jeunesse (ou période de mortalité infantile ou période des défaillance précoces), pendant laquelle le taux de défaillance décroît.

Période de vie utile qui correspond à la maturité du matériel, durant laquelle les défaillances sont aléatoires et le taux de défaillance sensiblement constant ;

Période de vieillesse, pendant laquelle le taux de défaillance croît.

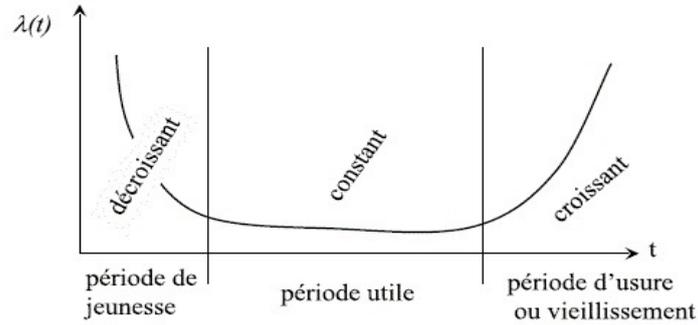


FIGURE 3.2 – La courbe en baignoire.

Ces trois phases de la vie d'un dispositif sont communes en mécanique et en électronique, mais n'ont pas la même durée. De plus, la période à taux de défaillance constant ne serait que la juxtaposition de la période de jeunesse avec celle de l'usure normale (vieillesse) [5][12].

### 3.1.7 Différents temps caractéristiques

Différents temps caractéristiques désignant des moyennes temporelles sont utilisés en fiabilité [4] telles que :

**MTTF** (Mean Time To Failure)

Pour un système non réparable, le MTTF est le temps moyen de fonctionnement avant la première défaillance donnée par :

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t)dt$$

**MTBF**( Mean Time Between Failure)

Le MTBF n'a de sens que pour un système réparable. C'est la durée moyenne entre deux défaillances consécutives.

**MTTR** (Mean Time To Repair)

C'est le temps moyen mis pour réparer le système. Autrement, le MTTR est défini comme étant Mean Time To Restoration. Il faudrait alors préciser les termes

$MTTR_{ep}$  pour Mean Time To Repair et  $MTTR_{es}$  pour Mean Time To Restoration. La différence entre les deux est liée au fait que l'on considère ou non le temps mis pour remettre en service l'équipement, le  $MTTR_{es}$  l'incluant.

**MDT** (Mean Down Time)

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

**MUT**( Mean Up Time)

C'est la durée moyenne de fonctionnement après réparation.

En règle générale, on confond le MTTF et le MTBF car on suppose que le MDT est faible devant le MUT. Le MUT est de plus considéré comme équivalent au MTTF (le système réparé est considéré comme neuf alors que ce n'est pas forcément le cas (tout n'a pas été changé). Sans approximation,  $MTBF = MUT + MDT$ .

Dans le cas d'un système réparable, le chronogramme suivant décrit la vie d'un tel matériel :

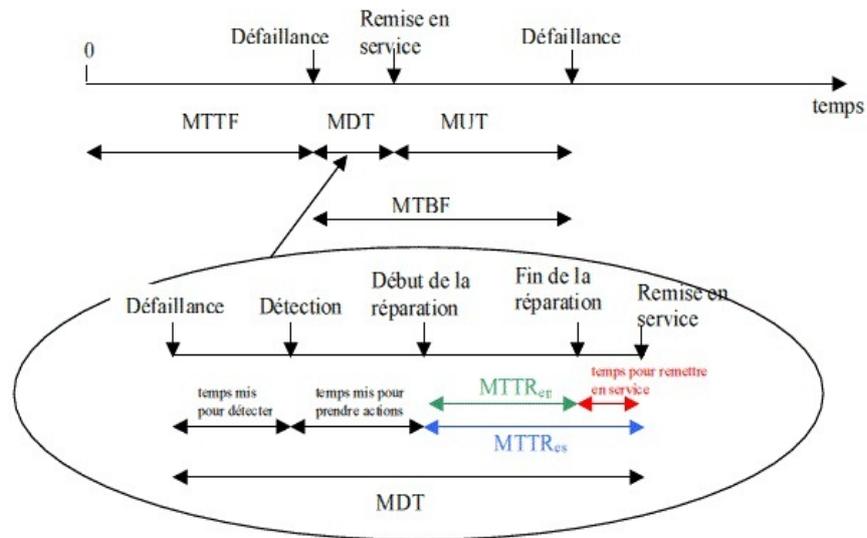


FIGURE 3.3 – Chronogramme d'un matériel réparable.

Et pour un système non réparable, le chronogramme est le suivant :

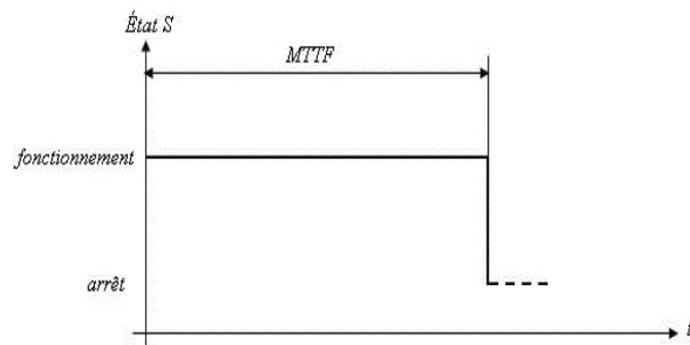


FIGURE 3.4 – Chronogramme d'un matériel non réparable.

## 3.2 Fiabilité des systèmes

### 3.2.1 Le système

Un système est un ensemble de composants assemblés dans un but spécifique [20].

### 3.2.2 Fiabilité de systèmes constitués de plusieurs composants

#### En série

La fiabilité  $R_s$  d'un ensemble de  $n$  constituants (i.i.d) connectés en série est égale au produit des fiabilités respectives  $R_1, R_2, R_3, R_n$  de chaque composant .

$$R_s = R_1 * R_2 * R_3 * \dots * R_n. \quad (3.1)$$

Si les  $n$  composants sont identiques avec une même fiabilité  $R$ , la formule sera la suivante :

$$R_{(s)} = R^n = \prod_{i=1}^n R(i). \quad (3.2)$$

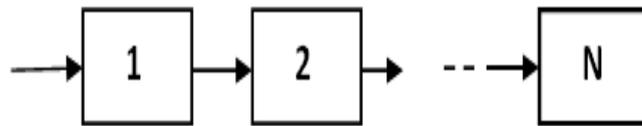


FIGURE 3.5 – Configuration série

#### En parallèle

La fiabilité d'un système peut être augmentée en plaçant les composants en parallèle. Un dispositif constitué de  $n$  composants en parallèle ne peut tomber en panne que si les  $n$  composants tombent en panne au même moment. Si  $F_i$  est la probabilité de panne d'un composant, la fiabilité associée  $R_i$  est son complémentaire :

$$F_i = 1 - R_i$$

$$R_s = 1 - F_s = 1 - \prod_{i=1}^n F_i$$

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

$F_i$  représentant la fiabilité associée

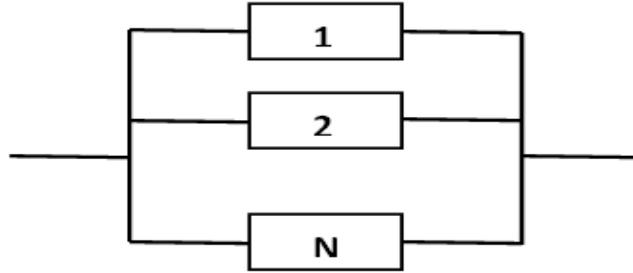


FIGURE 3.6 – configuration parallèle

### k parmi n

Un système k-parmi-n fonctionne si au moins k de ses n éléments fonctionnent. Si en particulier ces éléments ont la même fiabilité  $R_i(t)$ , le nombre d'éléments non défaillants à l'instant t obéit à une binomiale et l'on trouve [10] :

$$R(t) = \sum_{i=k}^n C_i^n R_i(t) [1 - R_i(t)]^{n-i}. \quad (3.3)$$

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

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

$$R(t) = \sum_{i=k}^n C_i^n R_i(t) [1 - R_i(t)]^{n-i} R(t) = P(N_t \geq k). \quad (3.4)$$

### 3.2.3 Diagramme de fiabilité

C'est la représentation la plus naturelle de la logique de fonctionnement d'un système car elle est souvent proche du schéma fonctionnel du système, (fig.3.5, 3.6) [3].

## 3.3 Principales lois de probabilité utilisées en fiabilité

### 3.3.1 Loi exponentielle

Cette loi a de nombreuses applications dans plusieurs domaines. Elle décrit la vie des matériels qui subissent des défaillances brutales. La loi exponentielle est la plus couramment utilisée en fiabilité électronique pour décrire la période durant laquelle le taux de défaillance des équipements est considéré comme constant (défaillance aléatoire). Elle décrit le temps écoulé jusqu'à une défaillance, ou l'intervalle de temps entre deux défaillances. Elle est définie par un seul paramètre, le taux de défaillance,  $\lambda$  [1].

Elle est caractérisée par :

- La fiabilité

$$R(t) = e^{-\lambda t}. \quad (3.5)$$

- La densité de probabilité

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}. \quad (3.6)$$

- Le taux de défaillance

$$\lambda(t) = \lambda. \quad (3.7)$$

### 3.3.2 Loi de Weibull à deux paramètres

- La fiabilité

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}. \quad (3.8)$$

- La densité de probabilité

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}. \quad (3.9)$$

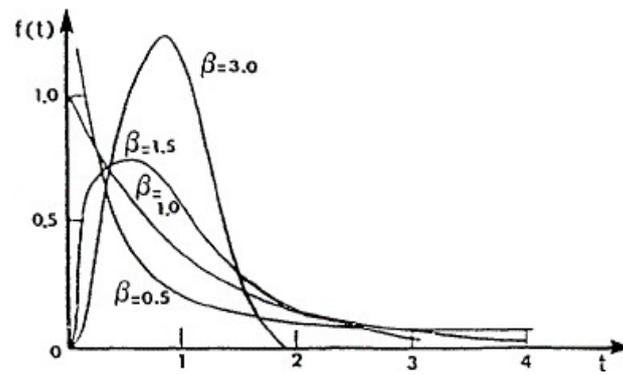


FIGURE 3.7 – Modèle de Weibull à deux paramètres ( $\eta = 1$ ). Influence du paramètre  $\beta$ .

– Taux de défaillance

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1}. \quad (3.10)$$

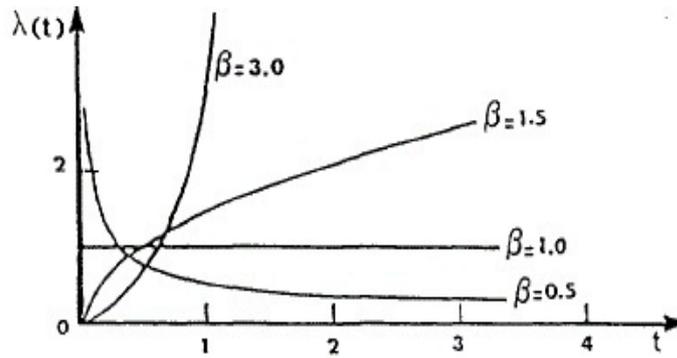


FIGURE 3.8 – Taux de défaillance de la loi de Weibull

$\beta$  est le paramètre de forme. C'est le paramètre le plus important de la loi de Weibull, car il joue sur la variation du taux de défaillance et permet ainsi de modéliser alternativement les trois phases de la courbe en baignoire [2].

- si  $\beta < 1$ , le taux instantané de défaillance décroît (DFR) ;
- si  $\beta = 1$ , le taux instantané de défaillance est constant, on retrouve la loi exponentielle ;
- si  $\beta > 1$ , le taux instantané de défaillance croît (IFR).

### 3.3.3 Loi de Weibull à trois paramètres

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}. \quad (3.11)$$

$\gamma$  est le paramètre de localisation, il correspond à une simple translation. Le problème d'estimation est plus difficile, mais également celui de l'interprétation . On peut dire :

- si  $\gamma < 0$ , le matériel a subi une dégradation avant sa mise en service industriel. Dans ce cas, c'est un problème de qualité. Il y a eu usure lors des essais (essais trop longs), du rodage ou un problème de montage. Une autre interprétation consiste à dire que le gamma négatif n'existe pas, c'est un mélange de populations et par manque de données, on a l'impression que gamma est négatif,
- si  $\gamma > 0$ , le matériel ne commence à se dégrader qu'à la date  $t = \gamma$ , après une période d'incubation. Cela peut vouloir dire également qu'il y a un problème d'observabilité. Le matériel peut se dégrader dès  $t = 0$  mais cela n'a pas de conséquence apparente sur son bon fonctionnement.

### 3.3.4 Loi normale

La loi normale est très répandue parmi les lois de probabilité car elle s'applique à de nombreux phénomènes. La loi normale est définie par la moyenne  $\mu$  et l'écart type  $\sigma$  [1] :

- La fonction de répartition

$$F(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2} dt. \quad (3.12)$$

- La densité de probabilité

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2}. \quad (3.13)$$

### 3.3.5 Loi Gamma

Elle représente la loi de probabilité d'occurrence de  $a$  événements dans un processus poissonien. Par exemple, si  $t_i$  est le temps entre les défaillances successives d'un système, et que  $t_i$  suivent une distribution exponentielle, le temps cumulé d'apparition de  $a$  défaillances suit une loi Gamma :

- La densité de probabilité

$$f(t) = \frac{t^{a-1} e^{-\frac{t}{b}}}{b^a \Gamma(a)}. \quad (3.14)$$

- Le taux de défaillance

$$\lambda(t) = \frac{t^{a-1} e^{-\frac{t}{b}}}{b^a \int_t^{\infty} \Gamma(a) f(u) du}. \quad (3.15)$$

## 3.4 Estimation des paramètres d'une loi de probabilité

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

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

### 3.4.1 La méthode des moments [16]

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

$$u_t = \int_{-\infty}^{+\infty} (t f(t, \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_i)) dt. \quad (3.16)$$

Avec  $f(t, \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n)$  la fonction de densité de probabilité de la variable aléatoire  $T$  et  $\theta_i$  les paramètres de la fonction.

Les premiers moments  $m_t$  à partir de l'échantillon  $(t_1, t_2, \dots, t_n)$  sont donnés par :

$$m_t = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i. \quad (3.17)$$

Les valeurs des paramètres  $\theta_i$  sont la solution du système d'équation :

$$\begin{aligned} u_1 &= m_1 \\ u_2 &= m_2 \\ u_3 &= m_3 \\ u_4 &= m_4 \end{aligned}$$

### 3.4.2 La méthode maximum de vraisemblance [16]

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

$$L(t_1, t_2, \dots, t_n, \theta) = \prod_{i=1}^n f(t_i, \theta). \quad (3.18)$$

Les estimateurs du maximum de vraisemblance sont ceux qui vérifient :

$$\frac{\partial L(t, \theta)}{\partial \theta} = 0 \quad \text{et} \quad \frac{\partial^2 L(t, \theta)}{\partial \theta_n} = 0. \quad (3.19)$$

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

$$\frac{\partial L(t, \theta_1)}{\partial \theta_1} = 0, \quad \frac{\partial L(t, \theta_2)}{\partial \theta_2} = 0, \dots, \frac{\partial L(t, \theta_n)}{\partial \theta_n} = 0. \quad (3.20)$$

## 3.5 Ajustement analytique des lois et principaux tests

Un test d'ajustement permet de juger si une hypothèse concernant une loi de probabilité, c'est-à-dire une loi théorique, telle que loi binomiale, exponentielle,....,

est compatible avec la réalisation d'un échantillon de taille  $n$  d'une variable aléatoire  $T$ .

Pour mettre en oeuvre un test d'ajustement il faut :

- prélever un échantillon suffisamment important de la population étudiée ;
- classer les observations par ordre croissant dans le cas d'une variable aléatoire discrète, les répartir en classe (par ordre croissant) pour une variable aléatoire continue, d'égale amplitude ou d'égale probabilité ;
- définir une variable de décision  $D$  permettant de mesurer les écarts entre la distribution théorique  $F$  et la distribution empirique  $F^*$  de l'échantillon.

Pour vérifier la concordance des deux distributions, on doit :

- définir les hypothèses  $H_0$  et  $H_1$ ,

$H_0$  : les observations suivent une distribution théorique spécifiée  $F = F_0$  ;

$H_1$  : les observations ne suivent pas une distribution théorique spécifiée  $F \neq F_0$ .

- accepter un risque de première espèce  $\alpha$  de refuser l'hypothèse  $H_0$  alors qu'elle est vraie ;
- calculer la variable de décision  $D$  (à partir des valeurs données par l'échantillon) ;
- énoncer une règle de décision :

On rejette l'hypothèse  $H_0$  si la valeur calculée  $d$  est supérieure à une valeur  $d_0$  n'ayant qu'une probabilité  $\alpha$  d'être dépassée par la variable  $D$  ; sinon, on garde l'hypothèse  $H_0$  et on considère que la distribution théorique spécifiée peut décrire le phénomène étudié, c'est-à-dire  $F = F_0$

### 3.5.1 Test de Khi-deux

Le test de Khi-deux utilise des propriétés de la loi multinomiale. Deux cas sont à distinguer [20] :

- La fonction de répartition  $F$  est entièrement spécifiée, en particulier, les paramètres sont connus ;
- On connaît seulement la forme de la loi de distribution, les paramètres de la fonction de répartition  $F$  sont estimés à partir d'un échantillon.

Soit  $T$  la variable aléatoire parente, de fonction de répartition  $F$ , en considère une partition de domaine de définition en  $r$  intervalles  $I_1 \dots I_r$  d'égale étendue ou non.

Pour chaque intervalle  $I_i$ , on considère l'ensemble  $E_i$  tel que :

$$E_i = \{\omega : X(\omega) \in I_i\}. \quad (3.21)$$

$$p_i = P_r(E_i). \quad (3.22)$$

$np_i$  est égal à la fréquence (absolue) théorique espérée dans la classe  $I_i$  que l'on compare à la fréquence observée  $N_i$  dans cette même classe  $I_i$ .

### Variable de décision

C'est la statistique :

$$D^2 = \sum_{i=1}^r \frac{(N_i - np_i)^2}{np_i}. \quad (3.23)$$

Si l'hypothèse  $H_0$  est vraie (concordance acceptable entre la distribution théorique et les valeurs observées), cette quantité ne peut pas être trop grande. En fait, Pearson a montré que la statistique  $D^2$  suit une loi du chi-deux, à  $v$  degrés de liberté quelle que soit la loi considérée, quant nombre  $n$  d'observations tend vers l'infini. le nombre  $v$  de degrés de liberté est égal à :

- (r-1) si la distribution théorique est entièrement déterminée, aucun paramètre n'ayant été estimé ;
- (r-1-k) si k paramètres ont été estimés à partir des observations, pour définir complètement la distribution.

### Règle de décision

On rejette l'hypothèse  $H_0$  si la valeur de la statistique  $D^2$  obtenue à partir de l'échantillon est supérieure à une valeur n'ayant qu'une probabilité  $\alpha$  d'être dépassée par la variable  $x^2$  considérée. Sinon, on garde l'hypothèse  $H_0$ . et on considère que la distribution théorique spécifiée est acceptable, c'est-à-dire  $F = F_0$ .

### 3.5.2 Test de Kolmogorov-Smirnov

On suppose que la fonction de répartition  $F$  de la variable aléatoire  $X$  est continue et strictement croissante. Soit  $F^*$  la fonction de répartition empirique d'un échantillon de taille  $n$  issu de de cette population.

#### Variable de décision

la variable de décision est la variable aléatoire  $D_n$  définie par :

$$D_n = \text{Sup}_{x \in R} | F^* - F(x) | \quad (3.24)$$

Glivenko et Kolmogorov ont démontré que la fonction

$$K_n(y) = P_r(\sqrt{n}D_n < y). \quad (3.25)$$

converge quand n tend vers l'infini, vers une fonction  $K(y)$ .

$$K(y) = 0 \quad y \leq 0 \quad (3.26)$$

$$K(y) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} ((-1)^k \exp(-2k^2 y^2)) \quad y > 0. \quad (3.27)$$

Des tables donnent les valeurs de cette fonction  $K$ .

### Règle de décision

On rejette  $H_0$  si la valeur de la statistique  $D_n$ , obtenue à partir de l'échantillon, est supérieure à une valeur  $d(n)$  n'ayant qu'une probabilité  $\alpha$  d'être dépassée. Sinon, on garde l'hypothèse  $H_0$ . et on considère que la distribution théorique spécifiée est acceptable, c'est-à-dire  $F = F_0$ .

#### Remarque

Le test de Kolmogorov-Smirnov est préférable au test de Chi-deux pour des variables continues. En effet la variable aléatoire de décision  $D_n$  utilise l'échantillon tel qu'il se présente, en revanche, le test du Chi-deux appauvrit l'information en regroupant les données par classes et en assimilant les données d'une classe à la valeur centrale .

Après avoir présenté différentes notions fondamentales sur la théorie de fiabilité nous donnons dans ce qui suit quelques notions concernant la maintenance que nous allons exploiter dans le cinquième chapitre pour élaborer un plan optimal de maintenance préventive.

## 3.6 Définition de la maintenance

D'après la norme française NF EN 13306 X 60-319, la maintenance peut-être définie par : "l'ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise [17].

## **3.7 Types de maintenance**

### **3.7.1 La maintenance corrective**

C'est la maintenance exécutée après détection d'une panne et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise, et elle se divise en deux types [15] :

#### **La maintenance palliative**

Dépannage provisoire de l'équipement, permettant a celui-ci d'assurer tout ou partie d'une fonction requise ; elle doit toutefois être suivie d'une action curative dans les plus bref délais.

#### **La maintenance curative**

Réparation durable consiste en une remise en état initial.

### **3.7.2 La maintenance préventive**

La maintenance exécutée à des intervalles prédéterminées ou selon les critères prescrites et destinées à réduire la probabilité de défaillance ou une dégradation de fonctionnement d'un bien. On distingue deux types de la maintenance préventive [19] :

#### **Maintenance préventive systématique**

Maintenance préventive exécuté à des intervalles du temps préalables ou selon un nombre défini d'unité d'usages mais sans contrôle préalable du l'état du bien.

#### **Maintenance préventive conditionnelle**

D'après la définition Afnor, il s'agit d'une forme de maintenance préventive vu basée sur une surveillance de fonctionnement du bien et/ou des paramètres significatifs.

## **3.8 Effet de la maintenance sur les systèmes**

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

### 3.8.1 Réparation (maintenance) parfaite

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

### 3.8.2 Réparation (maintenance) minimale

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

### 3.8.3 Réparation (maintenance) imparfaite

Toute action permettant de ramener le système dans un état entre "As good as new" et "As bad as old".

## 3.9 Politique de maintenance pour systèmes élémentaires

Un système élémentaire est considéré comme toute pièce faisant partie d'une machine ou une machine faisant partie d'un ensemble.

On distingue quatre type de politique de maintenance :

### 3.9.1 Politique de maintenance préventive dépendant de l'âge

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

$$C(T) = \frac{C_P(R(T)) + [1 - R(T)]C_c}{\int_0^T dt}. \quad (3.28)$$

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

$T$  est l'âge de du remplacement préventif(variable de décision).

$C_p$  le coût du remplacement préventif.

$C_c$  le coût de défaillance incluant le coût de remplacement.

$R(t) = 1 - F(t)$  est la fonction de fiabilité ou de survie.

### 3.9.2 Politique de maintenance préventive périodique

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

$$C(T) = \frac{C_c \cdot H(T) + C_p}{T}. \quad (3.29)$$

Où  $H(T)$  représente le nombre moyen de remplacement de 0 à  $T$ .

$C_p$  est le coût de la pièce.

$C_c$  est le coût entraîné par la défaillance.

### 3.9.3 Politique de remplacement périodique et réparation minimale

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

$$H(T) = \int_0^T \lambda(t) dt. \quad (3.30)$$

Où  $\lambda(t)$  représente le taux d'occurrence de défaillance, pour un composant non réparable il présente le taux de défaillance, l'expression (2.2) devient alors :

$$C(T) = \frac{C_c \cdot H(T) + C_p}{T} = \frac{C_c \int_0^T \lambda(t) dt + C_p}{T}. \quad (3.31)$$

### 3.9.4 Politique de maintenance périodique imparfaite et réparation minimale

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

Nous donnons le modèle de Gertsbakh (2000) où elle suppose que l'effet de toutes les maintenances préventives est constant, il fait varier le taux de défaillance exponentiellement, d'une quantité égale à  $e^\alpha$  ( $\alpha > 0$ ). Le coût moyen par unité de temps est donné par [18] :

$$C(T) = \frac{C_{min}H(T)(1 + e^\alpha + \dots + e^{\alpha(k-1)}) + (k-1)C_{pr} + C_{ov}}{kT}. \quad (3.32)$$

$C_{min}$  : Coût de la réparation minimale ;

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

$C_{ov}$  : Coût de la révision générale ;

$K$  : Nombre de révisions partielles avant la révision générale ;

$\alpha$  :facteur de l'efficacité de la maintenance ;

$e^\alpha$  :Facteur de dégradation.

### 3.10 Objectifs de la maintenance

- Les objectifs de la maintenance, sont nombreux on cite :
- Assurer la qualité et la quantité des produits fabriqués , tout en respectant les délais
  - Optimiser les actions de maintenance (exemple : réduire la fréquence des pannes).
  - Contribuer à la création et au maintien de la sécurité au travail.
  - Consolider la compétitivité de l'entreprise (exemple : améliorer la productivité).

Voici un schéma illustrant les objectifs de maintenance :

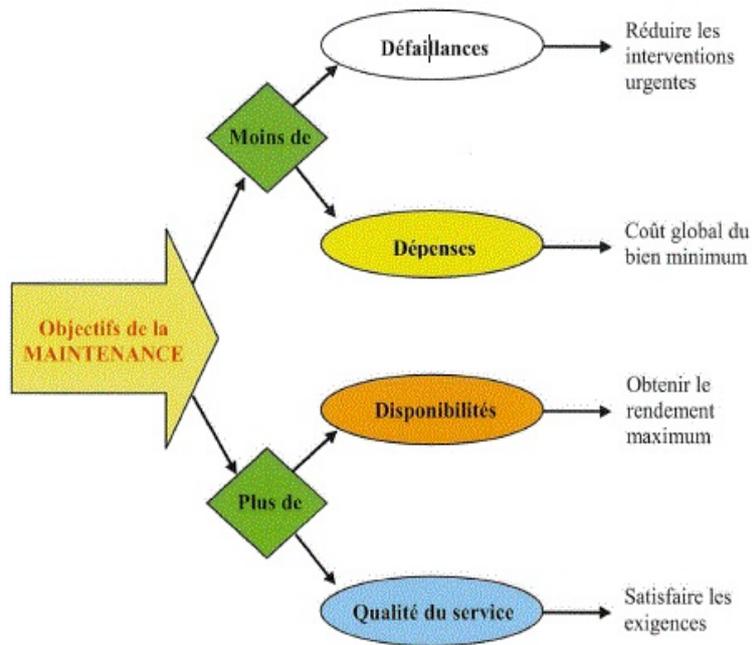


FIGURE 3.9 – Schématisation des objectifs de la maintenance

### 3.11 Optimisation de la maintenance

L'optimisation de la maintenance consiste à trouver la balance optimale entre maintenance préventive et corrective tout en respectant les objectifs fixés. Il faut alors déterminer les instants de maintenance et les actions à effectuer de manière

à optimiser un critère de décision fixé. Ce critère de décision peut aussi bien reposer sur le coût, par exemple un coût moyen de maintenance à long terme ou le coût d'opération par unité de temps, que sur la disponibilité du système ou encore la sécurité. ci-dessous est une illustration des effets de la fréquence des opérations de maintenance sur les coûts liés soit à la maintenance corrective, soit à la maintenance préventive. L'augmentation du nombre d'interventions sur le système permet de réduire les effets indésirables engendrés par une panne mais pénalise le fonctionnement du système et peut entraîner une augmentation du coût global d'exploitation du système dans le mesure où chaque opération de maintenance engendre un coût [13].

## Conclusion

Dans ce chapitre nous avons donné au premier lieu la notion de fiabilité, leurs différents indices et lois de probabilité souvent utilisés en fiabilité, ainsi que nous avons présenté deux méthodes d'estimation des paramètres d'une loi, la méthode des moment et celle de maximum de vraisemblance, citant finalement les deux tests d'ajustement celui de Kolmogorov-Smirnov et celui de test du Chi-deux. Dans le second lieu nous avons donné quelques notions requises sur la maintenance que nous allons exploiter dans le dernier chapitre.

# Chapitre 4

## *Analyse de la fiabilité du système de contrôle d'accès de la RTC-Sonatrach*

### **Introduction**

L'entreprise Sonatrach, afin de renforcer sa sécurité, a installé un système technologique de sécurité STS constitué d'un ensemble de cameras de surveillances et d'un système de contrôle d'accès. Nous nous sommes intéressés au contrôle d'accès, et plus exactement à sa fiabilité.

### **4.1 L'accès aux zones contrôlées de la RTC-Sonatrach**

La modélisation du système de contrôle d'accès de Sonatrach nous mène à définir deux sous-systèmes qui fonctionnent indépendamment l'un de l'autre. Le premier concerne l'accès piétons et le deuxième est l'accès véhicules. Nous pouvons les configurer en parallèle vu que la panne de l'un de ces deux sous-systèmes n'implique pas la panne de tout le système.

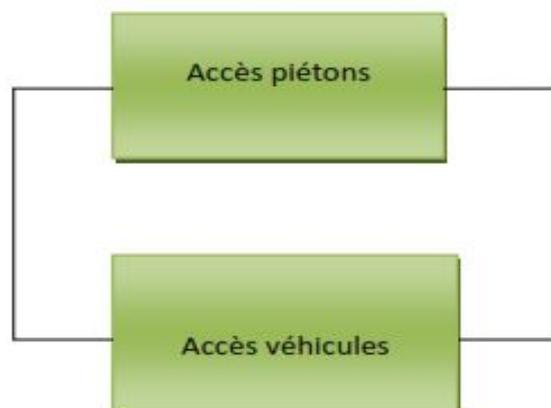


FIGURE 4.1 – Diagramme de fiabilité pour le système de contrôle d'accès de la RTC-Sonatrach.

#### 4.1.1 Accès piétons

En venant de l'extérieur, les piétons doivent être contrôlés. Passant d'abord par le portillon de nuit (porte sectionnelle) puis ils s'identifient auprès d'un lecteur de badges qui éveille le badge en échangeant un champ électromagnétique. Par la suite, les données sont transmises vers l'unité de traitement local UTL puis vers le serveur pour vérifier si celui-ci détient les droits d'accès requis d'agir sur l'élément d'arrêt (les tripodes) ils peuvent alors franchir la porte coulissante vitrée pour finalement pénétrer dans la zone contrôlée.

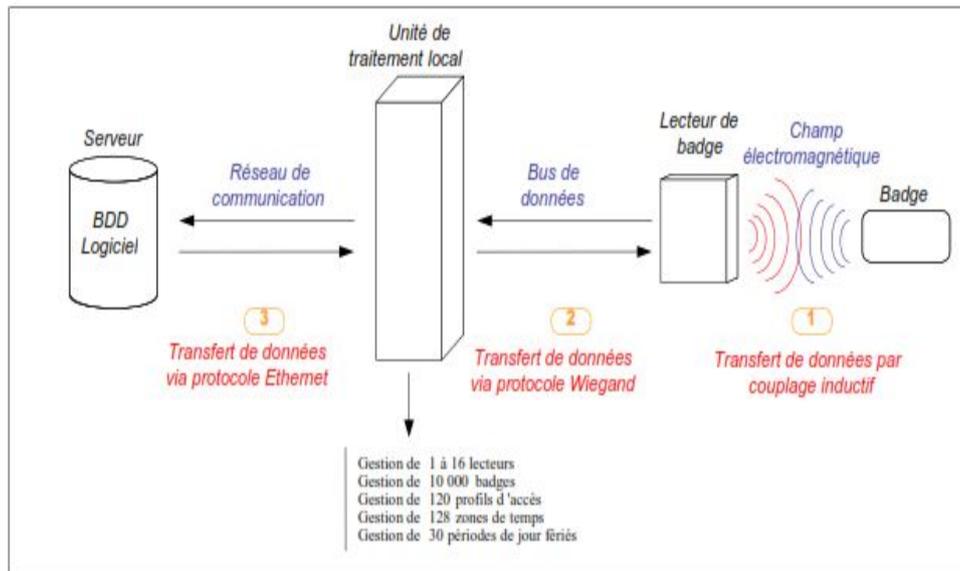


FIGURE 4.2 – Chaîne de traitement des informations

La défaillance d'un seul composant du système accès piétons provoque l'arrêt de ce dernier. Donc, ces éléments sont en série.



FIGURE 4.3 – Diagramme de fiabilité pour le système accès piétons.

### 4.1.2 Accès véhicules

Pour l'accès véhicules, les usagers doivent franchir le portail coulissant et la barrière levante pour rentrer à la zone contrôlée. La même chose pour le système accès véhicules qui est juste composé d'une unité de commande, portail coulissant motorisé et la barrière levante.

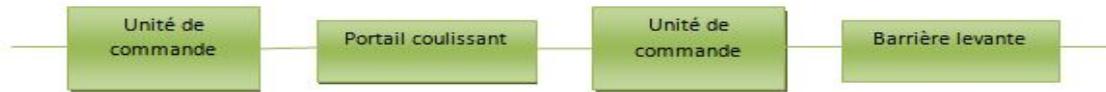


FIGURE 4.4 – Diagramme de fiabilité pour le système accès véhicules .

## 4.2 Collecte des données

Après avoir collecté des données de service informatique auprès de l'ingénieur responsable de la sécurité concernant les instants de défaillance des éléments constituant le système de contrôle d'accès, et ce, dans la période s'étalant de 2009 à 2015 on a constaté que tous les équipements sont tombés une ou deux fois en panne, sauf le serveur et le portail coulissant motorisé qui tombent fréquemment en panne.

Sachant que lorsque ces deux équipements tombent en panne, les pièces défectueuses qui les constituent seront réparées (pas de renouvellement d'équipement tout entier).

Nous avons calculé la durée de bon fonctionnement pour chacun d'eux et les résultats sont consignés dans les deux tableaux suivants :

Date de mise en service	Instants de défaillance	La durée de bon fonctionnement
01-01-2009	14-10-2009	286 jours
	03-07-2011	913 jours
	05-02-2012	1130 jours
	30-10-2012	1398 jours
	26-12-2012	1820 jours
	05-04-2014	1919 jours
	20-07-2014	2025 jours
	10-06-2015	2350 jours

TABLE 4.1 – Données collectées et temps de bon fonctionnement pour le serveur.

Date de mise en service	Instants de défaillance	La durée de bon fonctionnement
01-01-2009	14-12-2009	347 jours
	27-05-2012	1242 jours
	16-06-2012	1262 jours
	26-12-2012	1455 jours
	13-04-2014	1928 jours
	16-12-2014	2175 jours
	15-07-2015	2386 jours

TABLE 4.2 – Données collectées et durée de bon fonctionnement pour le portail coulissant.

### 4.3 Modélisation paramétrique des lois de fiabilité du système de contrôle d'accès

#### 4.3.1 Accès piétons (sous-système 1)

Comme mentionné ci-dessus, le seul élément qui tombe fréquemment en panne concernant le système accès piétons est le serveur.

Soit  $T$  ( $t \geq 0$ ) la variable aléatoire désignant la durée de bon fonctionnement du serveur.

Se basant sur l'échantillon suivant qui représente les durées de bon fonctionnement du serveur, qui ont été auparavant calculées dans le tableau *n*°4.1.

Nous avons choisi la loi de Weibull, car elle est largement utilisée comme modèle probabiliste dans des études sur les temps de survie en raison de sa grande flexibilité, et nous avons estimé ces deux paramètres par la méthode de maximum de vraisemblance et ce par le logiciel Matlab. Ainsi que nous avons fait l'ajustement avec le test de Kolmogorov-Smirnov avec le logiciel R. Les résultats sont représentés dans le tableau suivant :

$beta$	$\eta$	$D_{max}$	D (n=8, $\alpha = 0.05$ )
2.5	1659.7	0.2286	0.4542

TABLE 4.3 – Ajustement de la loi de Weibull pour le serveur.

$D(n=8, \alpha=0.05)$  : la valeur critique de la table de Kolmogorov-Smirnov.

$D_{max}$  : l'écart maximal entre la fonction de répartition empirique et la fonction théorique.

On ne rejette pas l'ajustement car la valeur critique  $D$  ( $n=8$ ,  $\alpha= 0.05$ ) est supérieure à  $D_{max}$ .

**La densité de probabilité** s'écrit comme suit :

$$f_{ss1}(t) = \left(\frac{2.5}{1659.7}\right)\left(\frac{t}{1659.7}\right)^{1.5} e^{-\left(\frac{t}{1659.7}\right)^{2.5}}, \quad t \geq 0. \quad (4.1)$$

**La fonction de répartition**

$$F_{ss1}(t) = P(T \leq t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{1659.7}\right)^{2.5}}, \quad t \geq 0. \quad (4.2)$$

**Le taux de défaillance**

$$\lambda_{ss1}(t) = \left(\frac{2.5}{1659.7}\right)\left(\frac{t}{1659.7}\right)^{1.5}, \quad t \geq 0. \quad (4.3)$$

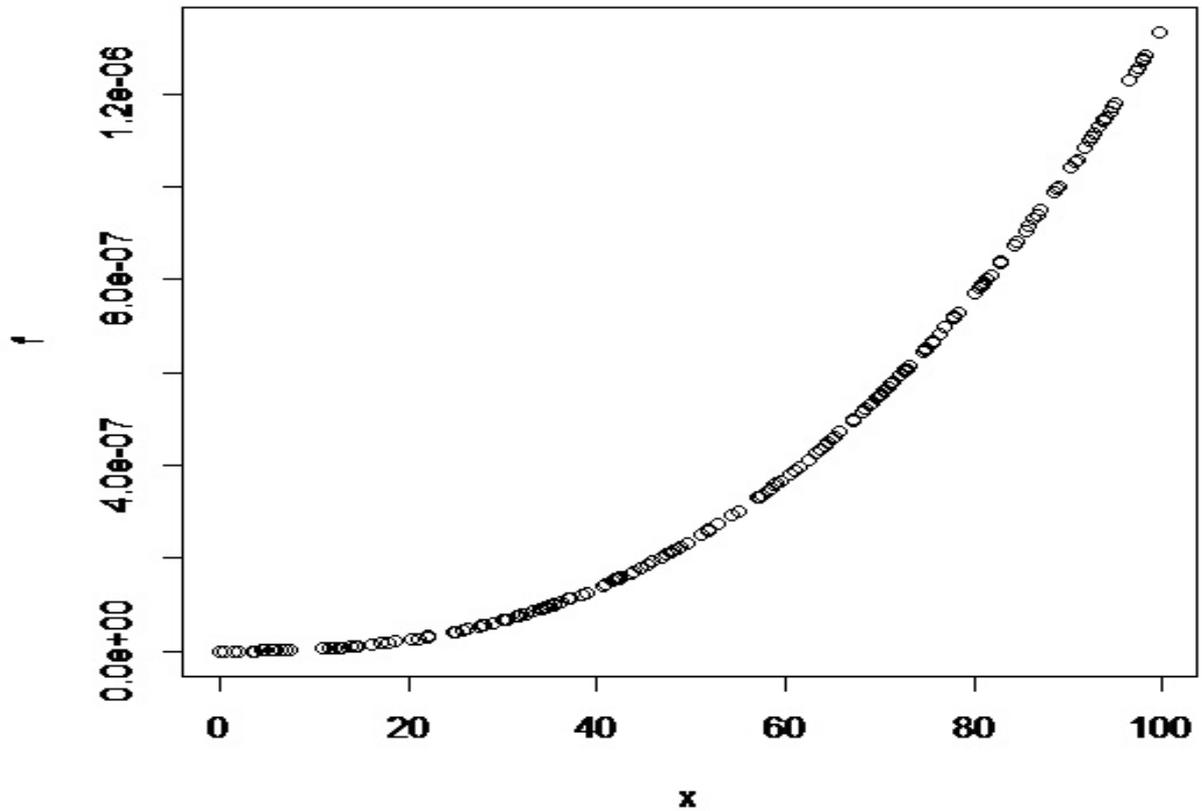


FIGURE 4.5 – Le taux de défaillance du serveur

Nous remarquons que le taux de défaillance croît lentement jusqu'à  $t= 40$  puis, il croît rapidement, ce qui signifie que le serveur est à la période vieillesse.

#### Le temps moyen de bon fonctionnement

$$MTBF_1 = E[t] = 1470 \text{ jours}, \quad t \geq 0. \quad (4.4)$$

### Calcul de la fiabilité du système accès piétons (Sous-système 1)

Puisque les éléments constituant le système accès piétons sont en série, la panne de l'un de ces derniers provoque la panne de tout le système. Puisque tous les éléments sont considérés très fiables sauf le serveur, donc le calcul de fiabilité du sous-système 1 revient à calculer la fiabilité du serveur.

$$R_{ss1}(t) = P(T > t) = e^{-\left(\frac{t}{1659.7}\right)^{2.5}}, \quad t \geq 0. \quad (4.5)$$

$$R_{ss1}(MTBF_1) = R(1470) = 0.48. \quad (4.6)$$

### 4.3.2 Accès véhicules

En ce qui concerne l'accès véhicules, l'élément qui tombe souvent en panne est le portail coulissant. Nous avons retenue la loi de Weibull et nous avons estimé ces deux paramètres et nous avons fait l'ajustement par le test de Kolmogorov-Smirnov. Et ce en basant sur l'échantillon représentant les durées de bon fonctionnement du serveur, calculé auparavant dans le tableau n°1 Les résultats sont représentés dans le tableau suivant :

$\beta$	$\eta$	$D_{max}$	D (n=7, $\alpha = 0.05$ )
2.6	1728.3	0.2024	0.4834

TABLE 4.4 – Ajustement de la loi de weibull pour le portail coulissant.

On ne rejette pas l'ajustement car la valeur critique D (n=7,  $\alpha=0.05$ ) est supérieure à  $D_n$ .

**La fonction de densité s'écrit comme suit :**

$$f_{ss2}(t) = \left(\frac{2.6}{1728.3}\right)\left(\frac{t}{1728.3}\right)^{1.6} e^{-\left(\frac{t}{1728.3}\right)^{2.6}}, \quad t \geq 0. \quad (4.7)$$

La fonction de répartition

$$F_{ss2}(t) = P(T \leq t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{1728.3}\right)^{2.6}}, \quad t \geq 0. \quad (4.8)$$

Le taux de défaillance

$$\lambda_{ss2}(t) = \left(\frac{2.6}{1728.3}\right)\left(\frac{t}{1728.3}\right)^{1.6}, \quad t \geq 0. \quad (4.9)$$

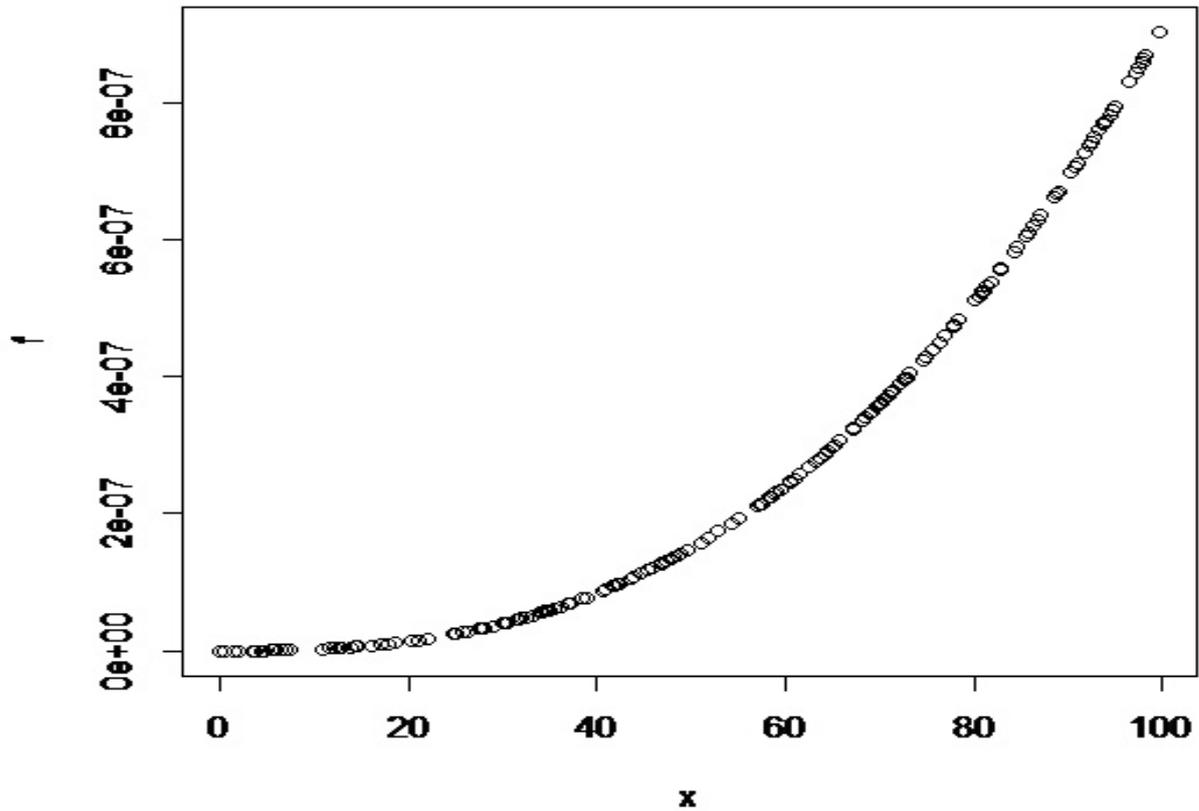


FIGURE 4.6 – Le taux de défaillance du portail coulissant

Nous remarquons la même chose pour le portail coulissant, c-à-d que le taux de défaillance croît lentement jusqu'à  $t=40$  puis, il croît rapidement, ce qui signifie que le portail coulissant est à la période vieillesse.

### Le temps moyen de bon fonctionnement

$$MTBF_2 = 1530.67. \quad (4.10)$$

### Calcul de la fiabilité de sous-système accès véhicules

Puisque le portail coulissant, la barrière levante et les deux unités de commandes sont en série, la panne de l'un d'eux provoque la panne de tout le système.

Puisque la barrière et les deux unités de commandes sont très fiable, le calcul de la fiabilité du système revient à calculer la fiabilité du portail coulissant tout entier. Alors

$$R_{ss2}(t) = P(T > t) = e^{-\left(\frac{t}{1728.3}\right)^{2.6}}, \quad t \geq 0. \quad (4.11)$$

$$R_{ss2}(MTBF) = R_{ss2}(1530.67) = 0.48. \quad (4.12)$$

### La fiabilité de tout le système

Puisque, les deux sous-systèmes sont en parallèle, donc la fiabilité de système, est la suivante

$$R_s = P(T > t) = 1 - [(1 - e^{-\left(\frac{t}{1659.7}\right)^{2.5}})(1 - e^{-\left(\frac{t}{1728.3}\right)^{2.6}})], t \geq 0. \quad (4.13)$$

$$MTBF_s = \text{Max}(MTBF_1, MTBF_2) = \text{Max}(1470, 1530.67) = 1530.67, t \geq 0. \quad (4.14)$$

$$R_s(MTBF_s) = 0.70. \quad (4.15)$$

## 4.4 Interprétation des résultats

Après l'estimation des deux paramètres de la loi Weibull, on remarque que le paramètre de la forme  $\beta$  est supérieur à l'unité, et ce pour les deux équipements, le serveur, et le portail coulissant. Ceci signifie que ces deux équipements sont dans la période de vieillesse. On a remarqué que la fiabilité du serveur est proche de la fiabilité du portail coulissant et ce peut être dû au fait que les deux ont été installés, à la même date.

## *Optimisation de la maintenance du système de contrôle d'accès de la RTC-Sonatrach*

### **5.1 Introduction**

Suivant un plan de maintenance préventive bien déterminé, le système de contrôle d'accès de Sonatrach est soumis aux actions suivantes :

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

Dans l'objectif d'optimiser la période  $T$  qui minimise la fonction du coût globale  $C(T)$ , nous avons récupéré les coûts de chaque intervention, les coûts des révisions générales et partielles, ainsi que la politique de maintenance préventive appliquée pour ce système.

### **5.2 Choix du modèle d'optimisation à appliquer pour le système de contrôle d'accès**

La politique de maintenance préventive adoptée par Sonatrach concernant le système de contrôle d'accès est proche d'être une politique de maintenance périodique imparfaite avec réparation minimale. En effet, nous avons proposé de choisir le modèle de Gertsbakh [11] qui est le plus adéquat pour cette politique .

**Le modèle de Gertsbakh [11]**

$$C(T) = \frac{C_{min}H(T)(1 + e^\alpha + \dots + e^{\alpha(k-1)}) + (k-1)C_{pr} + C_{ov}}{kT} \quad (5.1)$$

On a :

$$(1 + e^\alpha + \dots + e^{\alpha(k-1)}) = \frac{e^{k\alpha} - 1}{e^\alpha - 1}. \quad (5.2)$$

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

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

Ce qui donne :

$$C(T) = \frac{C_{min}(\frac{kT}{\eta})^\beta (\frac{e^{k\alpha} - 1}{e^\alpha - 1}) + (k-1)C_{pr} + C_{ov}}{kT} \quad (5.4)$$

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

$$\frac{dC(T)}{dT} = 0 \quad (5.5)$$

$$T^* = \left[ \frac{[(k-1)C_{pr} + C_{ov}](e^\alpha - 1)}{(\beta - 1)[C_{min}(\frac{k}{\eta})^\beta](e^{k\alpha} - 1)} \right]^{\frac{1}{\beta}} \quad (5.6)$$

## 5.3 Estimation des coûts

Nous n'avons pas disposé de tous les coûts nécessaires, mais nous les avons estimés toute en essayant de se rapprocher le plus que possible de la réalité.

### 5.3.1 Estimation des coûts pour le portail coulissant motorisé

**Le coût de la maintenance préventive imparfaite (révision partielle) :**

- Le coût de la courroie d'entraînement ventail + cout de la poulie d'entraînement ventail = 15497.1 DA.
- le coût de la courroie de liaison = 3000 DA.
- Le coût de moteur-réducteur = 70000 DA.
- Le coût de la main-d'oeuvre = 2000 DA.

Ce qui fait que  $C_{pr} = 90497.1DA$ .

**Le coût de la révision générale :**

$$C_{ov} = 120000DA.$$

**Le coût de réparation minimale :**

$$C_{min} = 2000DA.$$

### 5.3.2 Estimation des coûts pour le serveur

**Le coût de la maintenance préventive imparfaite (révision partielle)**

$$C_{pr} = 23000DA.$$

C'est le coût d'un serveur + le coût des actions suivantes :

- Test de redondance de l'alimentation.
- Test du programme résident par rapport au programme source.
- Test de bon fonctionnement des échanges de communications.
- Réintégration et contrôle de l'intégrité de la base de donnée.
- Vérification du raid et de l'espace disque.
- Vérification de bon fonctionnement du mode normale secours.

- Analyse des fichiers de trace.
- Sauvergarde des bases de données des fichiers historiques.
- Nètoyoge des fichiers.
- dépoussièrage interne et externe.
- Contrôle du temps de réponce.
- Vérification de bon fonctionnement de réplication des bases de données.
- Vérification de bon fonctionnement de machines vertuelles.
- Vérification de la réplication des serveurs de domaines.
- Vérification du bon fonctionnement des applications.

### Le coût de la révision générale

$$C_{ov} = 150000\text{DA.}$$

### Le coût de réparation minimale :

$$C_{min} = 1000\text{DA.}$$

## 5.4 Résultats de l'optimisation

Les résultats d'optimisation sont représentés dans les tableaux ci-dessous :

$k \backslash \alpha$	0.09	0.18	0.26	0.34	0.40
5	1548	1435	1331	1237	1151
6	1260	1143	1038	944	860
7	1055	937	832	740	660
8	903	784	680	591	515
9	785	666	564	478	407
10	691	572	473	391	325

TABLE 5.1 – Variation du temps en fonction du nombre de cycle et du facteur de l'efficacité pour le portail coulissant .

*Optimisation de la maintenance du système de contrôle d'accès de sonatrach*

---

$k \backslash \alpha$	0.09	0.18	0.26	0.34	0.40
5	101	109	118	127	136
6	123	136	149	164	180
7	146	164	184	207	233
8	170	195	225	258	297
9	194	229	270	318	375
10	220	265	321	388	468

TABLE 5.2 – Variation du coût en fonction du nombre de cycle et du facteur de l'efficacité pour le portail coulissant .

$k \backslash \alpha$	0.09	0.18	0.26	0.34	0.40
5	838	689	565	464	382
6	967	874	791	717	651
7	790	698	617	546	484
8	661	571	493	426	369
9	565	476	401	337	285
10	489	403	330	271	223

TABLE 5.3 – Variation du temps en fonction du nombre de cycle et du facteur de l'efficacité pour le serveur .

$k \backslash \alpha$	0.09	0.18	0.26	0.34	0.40
5	73	84	98	115	136
6	76	84	93	103	113
7	87	98	111	128	142
8	98	113	132	152	176
9	110	130	154	183	217
10	122	148	180	219	266

TABLE 5.4 – Variation du coût en fonction du nombre de cycle et du facteur de l'efficacité pour le serveur .

## 5.5 Interprétation des résultats

**Pour le serveur :**

On constate que le coût augmente avec l'augmentation de l'efficacité de la maintenance, chose évidente car une maintenance plus efficace demande plus de dépenses.

Notre but c'est de trouver le T optimal qui minimise la fonction de coût, donc d'après le tableau (5.4) le coût minimum égale a 73 DA, cette valeur minimale correspond à un T=838 jours, k=5 et  $\alpha = 0.095$ .

Donc ce que nous proposons comme plan de maintenance préventive optimal pour Sonatrach concernant le serveur, c'est de faire des révisions partielles chaque 838 jours avant de procéder a un renouvellement au bout de 4190 jours (équivalent à 11.5 ans).

**Pour le portail coulissant motorisé :**

Pareil pour le portail coulissant motorisé, on constate que le coût augmente avec l'augmentation de l'efficacité de la maintenance chose évidente car avec une maintenance plus efficace demande plus de dépenses.

d'après le tableau (5.2) le coût minimum égale à 101 DA, cette valeur minimale correspond à un T=1548 jours, k=5 et  $\alpha = 0.095$ .

Donc ce que nous proposons comme plan de maintenance préventive optimal pour Sonatrach concernant le portail coulissant motorisé, c'est de faire des révisions partielles chaque 1548 jours avant de procéder à un renouvellement au bout de 7740 jours (équivalent à 21 ans).

## **Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons appliqué le modèle de Gertsbakh qui est le modèle adéquat suivant la politique de maintenance appliquée par Sonatrach et ce dans le but de trouver  $T$  le temps optimum pour minimiser le coût total de la maintenance.

## *Conclusion générale*

L'analyse de fiabilité des systèmes est une phase importante pour assurer la continuité du service et éviter toute sorte d'interruption conduisant à des conséquences inattendues. Pour maintenir le bon fonctionnement il est indispensable de définir des opérations d'une maintenance préventive optimale.

L'objectif de notre travail était d'analyser la fiabilité du système de contrôle d'accès de la RTC-Sonatrach Bejaia et élaborer un plan de maintenance préventive optimal.

Dans la première partie de ce travail nous avons modélisé la fiabilité de ce système en choisissant la loi de Weibull à deux paramètres pour chaque équipement, le portail coulissant motorisé et le serveur.

L'estimation des paramètres a été faite avec la méthode maximum de vraisemblance sous le logiciel Matlab, et puisque nous avons disposé d'un échantillon de taille inférieure à cinquante nous avons opté pour le test de Kolmogorov- Smirnov pour l'ajustement des lois avec le logiciel R. L'estimation des paramètres de chacun des deux équipements le portail coulissant motorisé et le serveur a révélé que le paramètre de forme beta est inférieur à l'unité pour les deux équipements cela montre que les deux éléments sont à la période de vieillesse (taux de défaillance croissant). Dans la deuxième partie nous avons appliqué le modèle de Gertsbakh dans le but de trouver les périodicités optimales de révisions partielles qui minimisent le cout totale de la maintenance les résultats obtenus montre qu'il faut procéder à un renouvellement au bout de 11.5 ans pour le serveur et au bout de 21 ans concernant le portail coulissant motorisé. Le modèle de Gertsbakh est le modèle le plus approprié dans le cas de la politique de maintenance appliquée à Sonatrach qui est une politique de maintenance préventive imparfaite et réparation minimale.