

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE ABDERRAHMANE MIRA BEJAIA
FACULTÉ DE LA TECHNOLOGIE
DÉPARTEMENT DE GÉNIE MÉCANIQUE

MEMOIRE

PRÉSENTÉ POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME DE
MASTER

FILIÈRE : GÉNIE MÉCANIQUE

SPÉCIALITÉ : MAINTENANCE INDUSTRIELLE

PAR :

DAHMANI MICIPSA

MARREFI SOFIANE

Thème

Modèle d'inspection d'un système multi-états.
Cas d'une pompe TP01 SP1Bis (So.na.tra.ch)

Soutenu le 20/06/2017 devant le jury composé de:

Md.	ADJOUADI	Président
Mr.	LAGGOUNE.R	Rapporteur
Mr.	BENSAID	Examineur

ANNÉE UNIVERSITAIRE 2016-2017

Remerciement

Je tiens à remercier notre cher encadreur LAGGOUNE. R pour l'honneur qui nous a fait en acceptant de diriger ce travail, et pour ces précieux conseils.

Sans oublié les remerciement pour les membre de jury pour avoir accepté d'évaluer notre travail.

Je tiens à remercier mes amis et collègues qui ont apporter leur support moral et intellectuel tout au long de notre travail

Dédicace

*Je dédis se mémoire a ma mère mon père qui
mon encouragé a aller de l'avent est qui m'a
donné tout son amour pour reprendre mes étude*

*A ma chère fiancé que j'ai trouvé a mes coté
souvent*

A mes sœur : Chaima , Nesrine est Meriem

A toute la famille Marrefi est Serri

A mon meilleur ami S.L.P.M.A.N.E

ABDOUNE est tout mes amis

Sofiane

Table des matières

Table des matières	Erreur ! Signet non défini.
Liste des tableaux	Erreur ! Signet non défini.
Listes des figures	Erreur ! Signet non défini.
Introduction générale.....	6
Introduction	Erreur ! Signet non défini.
1. Généralités sur la maintenance.....	Erreur ! Signet non défini.
1.1 Définition.....	Erreur ! Signet non défini.
1.2 Type de maintenance.....	Erreur ! Signet non défini.
1.2.1 Maintenance préventive	Erreur ! Signet non défini.
✓ Maintenance conditionnelle.....	Erreur ! Signet non défini.
✓ Maintenance systématique.....	Erreur ! Signet non défini.
✓ Maintenance prévisionnelle.....	Erreur ! Signet non défini.
1.2.2 Maintenance corrective	Erreur ! Signet non défini.
✓ Maintenance curative	Erreur ! Signet non défini.
✓ Maintenance palliative.....	Erreur ! Signet non défini.
1.3 Concept de base de la maintenance	Erreur ! Signet non défini.
1.3.1 La fiabilité :	Erreur ! Signet non défini.
1.3.2 La disponibilité :.....	Erreur ! Signet non défini.
1.3.3 La maintenabilité :.....	Erreur ! Signet non défini.
1.3.4 Taux de défaillance :	Erreur ! Signet non défini.
1.4 Lois usuelles de fiabilité.....	Erreur ! Signet non défini.
1.1.4 La loi exponentielle :	Erreur ! Signet non défini.
1.4.2 Loi de Weibull :.....	Erreur ! Signet non défini.
2. Défaillance des systèmes de production.....	13
2.1 La classification des défaillances :	14
2.1.1 Les défaillances intermittentes :	Erreur ! Signet non défini.
2.1.2 Les défaillances étendues	Erreur ! Signet non défini.

2.2 types de dégradation:.....	Erreur ! Signet non défini.
2.2.1 Les modèles de dégradation continue :	Erreur ! Signet non défini.
Le processus de Wiener :.....	Erreur ! Signet non défini.
2.2.2 Modèles à dégradation discrète :	Erreur ! Signet non défini.
Chaînes de Markov :.....	Erreur ! Signet non défini.
2.4.3 Dégradation d'un système multi-états :	Erreur ! Signet non défini.
2.4 Modèles mathématiques de dégradation :	Erreur ! Signet non défini.
Fiabilité du modèle DS : [21]	Erreur ! Signet non défini.
Conclusion:.....	Erreur ! Signet non défini.

Introduction.....	Erreur ! Signet non défini.
2.1 Politique d'inspection.....	Erreur ! Signet non défini.
<i>Définition de l'inspection</i> :	Erreur ! Signet non défini.
2.1.1 Politique d'inspection non périodique	Erreur ! Signet non défini.
2.1.2 Politique d'inspection périodique	Erreur ! Signet non défini.
3.2 Politique d'inspection pour un système multi-état unitaire	Erreur ! Signet non défini.
2.2 Optimisation de la maintenance	Erreur ! Signet non défini.
2.3 Modélisation mathématique de la stratégie :	Erreur ! Signet non défini.
2.3.1 définition de la stratégie de travail	Erreur ! Signet non défini.
2.3.2 Hypothèse de travail	Erreur ! Signet non défini.
2.4 Modèle mathématique.....	Erreur ! Signet non défini.
Notation :.....	Erreur ! Signet non défini.
❖ Expression du coût total moyen de maintenance par unité de temps sur un horizon infini : Erreur ! Signet non défini.	
<i>Scenario (SC1)</i> :.....	Erreur ! Signet non défini.
<i>Scenario (SC2)</i> :.....	Erreur ! Signet non défini.
❖ Expression de la probabilité d'occurrence du scénario SC1 : $P_i(SC1)$	Erreur ! Signet non défini.
❖ Expression du coût total de maintenance C(SC1) correspondant au scénario SC1 :	Erreur ! Signet non défini.
❖ Expression de la probabilité d'occurrence du scénario SC2 : P_iSC2 ..	Erreur ! Signet non défini.
❖ Expression du cout total de maintenance C(SC2) correspondant au scénario SC2	Erreur ! Signet non défini.

Conclusion Erreur ! Signet non défini.

Table des matières

3.I. La Sonatrach Erreur ! Signet non défini.

I.1) Présentation de la Sonatrach : Erreur ! Signet non défini.

I.2) Les activités de la Sonatrach : Erreur ! Signet non défini.

I.2.A) Activité exploration et production Erreur ! Signet non défini.

I.2.B) Activité raffinage et pétrochimie : Erreur ! Signet non défini.

I.2.C) Activité Commercialisation : Erreur ! Signet non défini.

I.2.D) Activité Transport par Canalisation : Erreur ! Signet non défini.

I.3) L'organisation de la Sonatrach : Erreur ! Signet non défini.

I.4) Les directions régionales de transport des hydrocarbures : Erreur ! Signet non défini.

I. 5 Description du département de maintenance : Erreur ! Signet non défini.

3.II. Description de la pompe TP01 SP1Biss : Erreur ! Signet non défini.

II .1 Corps de la pompe : Erreur ! Signet non défini.

❖ Demi- corps inférieur : Erreur ! Signet non défini.

❖ Demi-corps supérieur : Erreur ! Signet non défini.

II.2 Equipement du corps de la pompe : Erreur ! Signet non défini.

II.3. Mobile de la pompe Erreur ! Signet non défini.

a) Roue : Erreur ! Signet non défini.

b) Arber : Erreur ! Signet non défini.

C) Paliers : Erreur ! Signet non défini.

II.4. Fiche technique de la pompe Erreur ! Signet non défini.

Introduction Erreur ! Signet non défini.

4.1 Procédure de résolution: Erreur ! Signet non défini.

❖ Les principales étapes de cette procédure sont les suivantes: Erreur ! Signet non défini.

4.2 Présentation de données Erreur ! Signet non défini.

4.3 Résultats et interprétation	Erreur ! Signet non défini.
❖ Influence du coût de la maintenance sur la séquence quasi-optimale	Erreur ! Signet non défini.
Conclusion.....	Erreur ! Signet non défini.
Conclusion générale.....	50

Table des figures :

<i>Figure 1.1 : illustration des différents types de maintenance</i>	9
<i>Figure 1.2 : Courbe en baignoire de taux de défaillance.</i>	12
<i>Figure 1.3 : Classification de la défaillance en fonction du niveau d'information</i>	15
<i>Figure 1.4 : Schématisation d'un modèle à dégradation continue</i>	16
<i>Figure 2.1 : Diagramme fonctionnel d'un SME unitaire à 3 états</i>	25
<i>Figure 2.2 : La nécessité de contrôler l'équilibre entre maintenance préventive et maintenance corrective.</i>	26
<i>Figure 2.3: L'évolution du paramètre de contrôle de chaque composant avec le temps</i>	29
<i>Figure 3.1: Réseau de Transport par Canalisation</i>	36
<i>Figure 3.2 :les branches de SONATRACH</i>	37
<i>Figure 3.3: pompe TP01 SP1Biss</i>	39
<i>Figure 3.4 : Demi-court inferieur</i>	40
<i>Figure 3.5: demi-court supérieur</i>	40
<i>Figure 3.6: demi-cout inferieur partie mobile</i>	41
<i>Figure 3.7: les 2 roue de la pompe</i>	42
<i>Figure 3.8 : l'arbre de la pompe</i>	42
<i>Figure 3.9 : Chapeau du palier</i>	43
<i>Figure 3.10 : palier de butée</i>	43
<i>Figure 3.11:Fiche technique de la pompe</i>	44

INTRODUCTION

Introduction Générale

Dans un contexte industriel de recherche permanente d'efficacité opérationnelle pour une maîtrise des coûts et une meilleure réactivité des entreprises, la maintenance se doit de continuer sa mutation tant sur les aspects organisationnels que méthodologiques. Cette évolution largement engagée se traduit notamment par la production et la mise en place systématique de méthodes d'identification et de réduction des impacts négatifs des défaillances sur l'ensemble des processus opérationnels de l'entreprise dès la phase de conception des systèmes. La complexification des environnements décisionnels ainsi que la recherche de garantie de performance tendent à la production de nouveaux modèles décisionnels reposant sur des formalismes mathématiques avancés. Plus récemment, le potentiel d'optimisation économique de la maintenance a été étendu grâce à une meilleure prise en compte des objectifs de maintenance au niveau stratégique de l'entreprise. Ce dernier point est aujourd'hui sujet à nombreuses recherches développées principalement dans des communautés scientifiques orientées sciences économiques et de gestion.

Depuis la chute des prix du pétrole, été 2014 dernier dans les bourses mondiales au-dessus de 50 dollars/baril, sachant qu'il dépassait 100 dollars/baril bien avant. Cette crise a poussé les compagnies pétrolières à penser comment minimiser les dépenses et maximiser les profits. Parmi les propositions qui existent sur leur table "La minimisation des coûts de maintenance".

La SONATRACH paye de lourdes factures de maintenance des équipements et la minimisation de cette dernière permet de maximiser les profits et permet aussi de donner un coup de pouce à la compagnie. Et cela se fait en élaborant un plan d'inspection très précis, afin d'avoir une meilleure durée d'utilisation de notre équipement.

Pour vous donner une idée comment notre travail est fait voici quelques indications sur le contenu de notre recherche ainsi que le contenu de chaque chapitre.

Dans le premier chapitre on a donné quelques définitions de la maintenance. Puis nous donnons quelques généralités sur la fiabilité ensuite nous nous sommes intéressés à la modélisation des dégradations (dégradation continue et dégradation discrète). En particulier nous avons détaillé le modèle du seuil de dégradation DS

Dans le deuxième chapitre, nous abordons les différentes politiques d'inspection existantes dans la littérature, et on a parlé sur l'optimisation de la maintenance. Après on a présenté le modèle du coût.

Dans le troisième chapitre on a fait une présentation de l'entreprise publique So.na.tra.ch, ensuite on a présenté la pompe qui est sujet d'étude TP01 SP1Bis.

Dans le quatrième chapitre est le dernier on a optimisé l'inspection pour la pompe TP01 SP1Bis, à base de donner collecter au bureau de méthode de l'entreprise. Dans la deuxième partie des calculs on a fait une étude comparative sur l'influence du coût de l'inspection sur la séquence quasi-optimale des temps d'inspection.

Enfin nous terminerons par une conclusion générale.

CHAPITRE 1

Généralité sur la maintenance

Introduction

Dans les entreprises, les équipements de production ont une importante part dans le capitale. Ces équipements sont sujet de dégradation avec /non utilisation dans le temps. Donc on est dans la nécessité de savoir comment maintenir nos équipements et de chercher à comprendre comment il se dégrade. Alors dans ce chapitre on va commencer à présenter les connaissances de base en maintenance ensuite on va parler sur la dégradation et on va illustrer les différents modèles qui existent.

1. Généralités sur la maintenance

1.1 Définition

Selon la norme AFNOR EN13306 (2001)[1] la définition de la dégradation, de la défaillance, de la panne et de la maintenance sont respectivement comme suit :

Définition 1.1 : la dégradation est une évolution irréversible d'une ou plusieurs caractéristiques d'un bien liée au temps, à la durée d'utilisation ou à une cause externe altération de fonction, phénomène continue, vieillissement physique.

Définition 1.2 : la défaillance est la cessation d'un bien à accomplir sa fonction requise.

Définition 1.3 : L'état d'un bien inapte à accomplir une fonction requise, excluant l'inaptitude due à la maintenance préventive ou à d'autres actions programmées ou à un manque de ressources extérieures.

Définition 1.4 : 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.

1.2 Type de maintenance

D'une manière générale on distingue deux grandes formes de maintenance : préventive et corrective.

1.2.1 Maintenance préventive

La maintenance préventive est une “maintenance exécuté a des intervalles prédéterminées ou selon des critères prescrit et destiné à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d’un bien [1]. Elle comporte :

- ✓ **Maintenance conditionnelle** : maintenance préventive subordonné au franchissement d’un seuil prédéterminé significatif de l’état de dégradation du bien.
- ✓ **Maintenance systématique** : maintenance préventive effectué selon un échéancier établie selon le temps ou le nombre d’unités d’usage.
- ✓ **Maintenance prévisionnelle** : maintenance préventive subordonné à l’analyse de l’évolution surveillée de paramètres significatifs de la dégradation du bien, permettant de retarder et de planifier les interventions.

1.2.2 Maintenance corrective

La maintenance corrective est une “maintenance exécuté après détection d’une panne et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise”. Elle se divise en :

- ✓ **Maintenance curative** : réparation consistant en une remise à l’état initial.
- ✓ **Maintenance palliative** : dépannage (provisoire) de l’équipement, permettant à celui-ci d’assurer tout ou une partie d’une fonction requise, elle doit toutefois suivie d’une action curative dans les plus brefs délais.

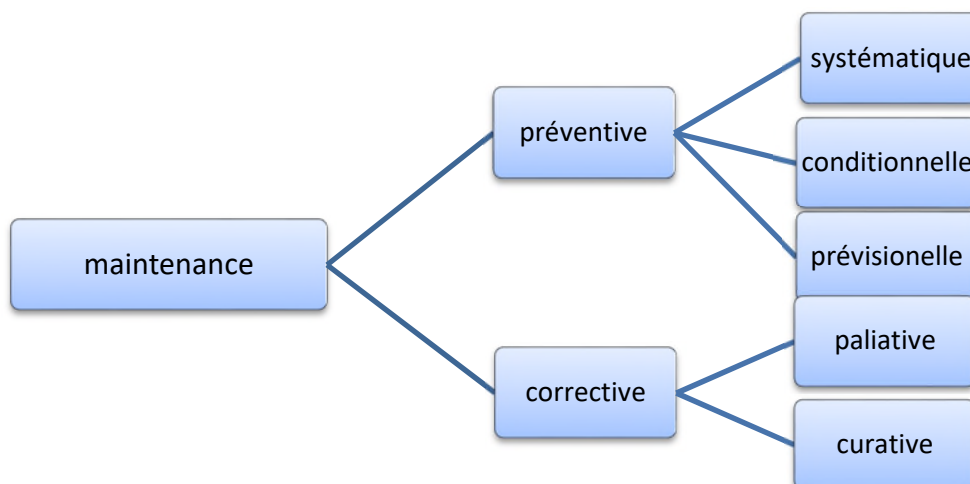


Figure 1.1 : illustration des différents types de maintenance

1.3 Concept de base de la maintenance

1.3.1 La fiabilité :

La fiabilité est l'aptitude d'un bien à accomplir une fonction requise, dans des conditions données, durant un intervalle de temps donné [1]. Elle est noté R et elle est calculé comme suit :

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (1.1)$$

Où F(t) est une fonction de répartition de la durée de vie du système.

1.3.2 La disponibilité :

C'est "l'aptitude d'un bien à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données, à un instant donné ou durant un intervalle de temps donné, en supposant que la fourniture des moyens extérieur nécessaire est assuré" [1]. La disponibilité dépend à la fois de la fiabilité, de la maintenabilité et de la logistique de la maintenance. D'une façon générale, la disponibilité A(t) d'un équipement au temps $t > 0$, est la probabilité pour que ce dernier fonctionne au temps t, sous des conditions données.

$$A(t)=P(\text{que l'équipement est non défaillant à l' instant } t) \quad (1.2)$$

On distingue deux types de disponibilité, à savoir : la disponibilité opérationnelle et la disponibilité intrinsèque, où la disponibilité opérationnelle est définit comme suit :

$$A_{op} = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR+MTL} \quad (1.3)$$

Et la disponibilité intrinsèque par la quantité :

$$A_{in} = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR} \quad (1.4)$$

Avec

MTBF : Moyenne des Temps de Bon Fonctionnement.

MTTR : Moyenne des Temps Technique de Réparation.

MTL : Moyenne des Temps Logistiques.

1.3.3 La maintenabilité :

C'est une caractéristique qui permet d'assurer la disponibilité et facilite la maintenance des équipements dans des conditions dans lesquelles il a été conçu selon [1] la maintenabilité est l'aptitude d'un bien à être maintenue ou rétablie dans un état où il peut accomplir une fonction requise lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données avec des procédures et des moyens prescrits.

$$M(t) = P \quad (\text{Que le dispositif soit réparé avant } t).$$

1.3.4 Taux de défaillance :

Le taux de défaillance $\lambda(t)$ est un estimateur de fiabilité (exprimé en panne par heure), il est représenté par le rapport :

$$\lambda(t) = \frac{\text{nombre de défaillance}}{\text{durée d'usage}}$$

Sa fonction peut aussi s'écrire par la façon suivante :

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{1-F(t)} = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (1.5)$$

$f(t)$ Densité de probabilité de défaillance du système.

Il est représenté par trois phases [2] :

- ✓ **Phase de jeunesse** : $\lambda(t)$ décroît rapidement. C'est la période de mise en service et de rodage de l'installation. Les défaillances sont dues à des anomalies ou imperfections du montage.
- ✓ **Phase de maturité** : $\lambda(t)$ est pratiquement constant. C'est la période de vie utile où la défaillance est aléatoire. Le taux de défaillance est constant, légèrement croissant ou bien légèrement décroissant, correspondant au rendement optimal de l'équipement.
- ✓ **Phase de vieillesse** : $\lambda(t)$ croît rapidement. C'est la période d'observation, à dégradation accélérée. Souvent, on trouve une usure mécanique de fatigue, une érosion ou une corrosion.

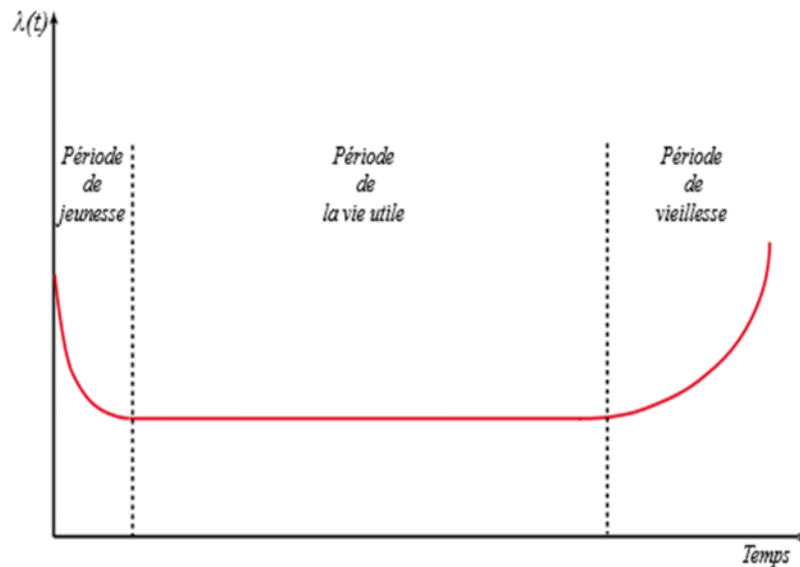


Figure 1.2 : Courbe en baignoire de taux de défaillance.[2]

1.4 Lois usuelles de fiabilité

Dans cette section nous allons présenter les lois les plus utilisées et rencontrées dans la fiabilité des systèmes.

1.1.4 La loi exponentielle :

C'est la loi la plus répandue de la fiabilité que ce soit sur le plan pratique ou théorique. Elle modélise la période de vie utile des matériels caractérisés par des défaillances aléatoires avec une probabilité constante d'apparition, ainsi que les matériels complexes constitués de composants de différents âges [15]. Sur le plan théorique, l'hypothèse de loi exponentielle simplifie énormément les calculs. Les caractéristiques de cette loi peuvent être résumées comme suit :

Densité de probabilité :

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}, t \geq 0 \text{ et } \lambda \geq 0. \quad (1.6)$$

Fonction de répartition :

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (1.7)$$

Fonction de fiabilité :

$$R(t) = 1 - F(t) = e^{-\lambda t}, t \geq 0 \text{ et } \lambda \geq 0. \quad (1.8)$$

Taux de défaillance :

$$\lambda(t) = \lambda = \text{constant} \quad (1.9)$$

1.4.2 Loi de Weibull :

C'est la loi la plus utilisée dans plusieurs domaines. Elle caractérise le comportement du système dans les trois phases de vie : période de jeunesse, période de vie utile et période de vieillissement. Sa forme la plus fréquente dépend de trois paramètres, Les caractéristique de cette loi peuvent se résumer comme suit :

Densité de probabilité :

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}, t \geq \gamma \quad (1.10)$$

Fonction de répartition :

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}, t \geq \gamma \quad (1.11)$$

Fonction de fiabilité :

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}, t \geq \gamma \quad (1.12)$$

Taux de défaillance :

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1}, t \geq \gamma \quad (1.13)$$

Où :

β : est le paramètre de position ($\gamma \in R$)

η : est le paramètre d'échelle ($\eta > 0$)

γ : est le paramètre de forme ($\beta > 0$)

2. Défaillance des systèmes de production

Selon la norme NF EN 13306 [1], la défaillance est définie comme la « *cessation de l'aptitude d'un bien à accomplir une fonction requise. Après une défaillance, le bien est en panne, totale ou partielle. Une défaillance est un événement à distinguer d'une panne qui est un état* ». On dira qu'un système de production est en état de défaillance lorsqu'il n'est plus en mesure de remplir la mission pour laquelle il a été conçu. Cette défaillance peut être due à sa conception, sa fabrication, son installation, voire même sa maintenance. Tout système de production est sujet au vieillissement et à l'usure. Ces phénomènes physiques provoquent la défaillance qui a un impact important sur le coût d'exploitation du système ou sur la sécurité. D'autres phénomènes physiques comme l'érosion et la corrosion provoquent la défaillance des systèmes de production. Après l'apparition de telles défaillances, le système de production est

déclaré en état de panne. En effet, la panne du système, selon la norme NF EN 13306 [1], est définie comme l'« état préventive ou à d'autres actions programmées ou à un manque de ressources extérieures d'un bien inapte à accomplir une fonction requise, excluant l'inaptitude due à la maintenance. »

Dans la littérature, plusieurs auteurs ont présenté de nombreuses classifications des défaillances. Par exemple, Rausand et Hoyland [3] ont classifié les défaillances selon la cause (défaillance primaire, secondaire, ou due à une mauvaise commande), selon le temps (défaillance graduelle (progressive) ou soudaine), selon la détectabilité (défaillance apparente ou cachée), et selon le degré (défaillance partielle ou complète). La défaillance primaire est due à un défaut de conception du système de production. La défaillance secondaire est due à un défaut de fabrication. Deloux [4] a classifié les défaillances selon la cause d'une part, et selon l'impact sur les performances du système d'autre part.

2.1 La classification des défaillances :

La classification des défaillances en fonction de leurs impacts sur les performances du système distingue les défaillances intermittentes des défaillances étendues.

2.1.1 Les défaillances intermittentes :

Résultent d'une perte de certaines fonctions du système pour une courte durée. Le système retrouve ses performances d'opération juste après la défaillance.

2.1.2 Les défaillances étendues

résultent d'une perte de certaines fonctions du système. Cette perte perdure dans le temps jusqu'à ce que le système soit restauré (remplacé ou réparé). La défaillance étendue peut être complète (perte totale de la fonction principale) ou partielle (perte de certaines fonctions). La défaillance étendue peut être soudaine (non prédite par test) ou graduelle (prédite par test ou inspection). Une défaillance graduelle implique une perte progressive des performances du système. Cette défaillance est connue dans la littérature par dégradation. Selon la norme NF EN 13306 [1], la dégradation est l'« évolution irréversible d'une ou plusieurs caractéristiques d'un bien liée au temps, à la durée d'utilisation ou à une cause externe ».

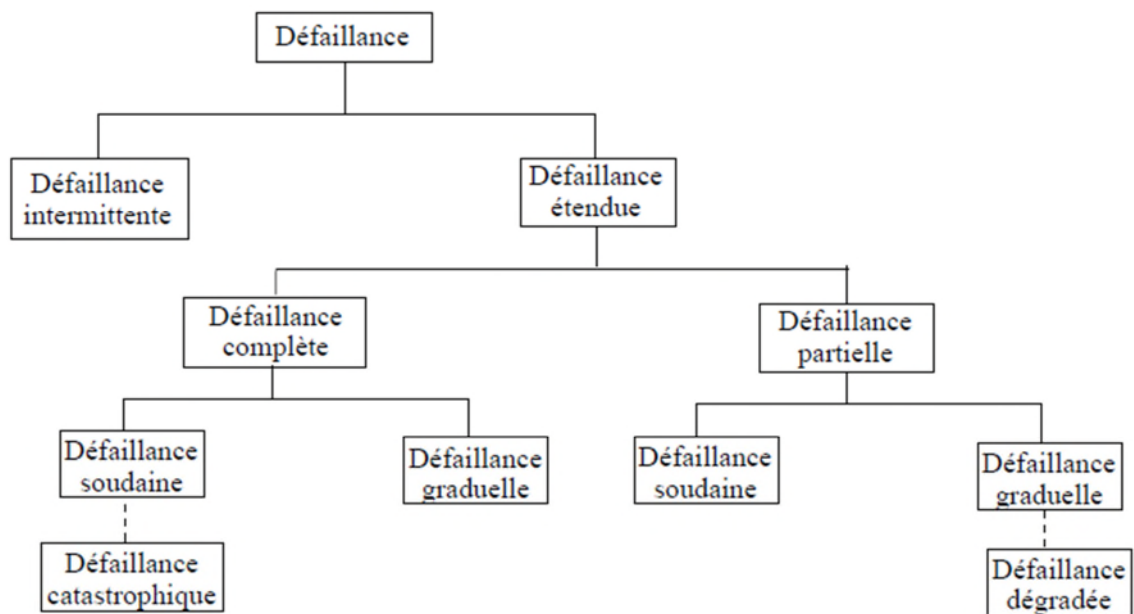


Figure 1.3 : Classification de la défaillance en fonction du niveau d'information[1]

2.2 types de dégradation:

Dans la littérature, deux mécanismes primaires sont nécessaires pour la modélisation du processus de dégradation au cours du temps. Le premier mécanisme consiste à utiliser une distribution existante des durées de vie du système, alors que le deuxième mécanisme consiste à contrôler le phénomène physique (corrosion, érosion, etc.) qui provoque la défaillance. Boohar [5] distingue trois modèles de dégradation : (1) modèle de choc, (2) modèle d'usure, et (3) modèle hybride qui combine les deux premiers (choc et usure). Les modèles de chocs, initiés par Esary *et al.* [6], sont efficaces dans la modélisation d'une dégradation résultante de sollicitations différentes appliquées sur le système d'une manière discrète dans le temps. Cependant, les modèles d'usures peuvent être exploités pour modéliser la dégradation du système d'une manière continue dans le temps. Les modèles hybrides considèrent l'effet combiné d'usures et de chocs sur les durées de vie du système. Ces modèles composés permettent de modéliser la dégradation pour une variété de systèmes.

Les modèles de dégradation peuvent être aussi classés, selon Deloux [4], en deux catégories: (1) modèles à dégradation discrète et (2) modèles à dégradation continue. Les modèles à dégradation discrète permettent de modéliser des dégradations de type chocs. Dans ce cas, l'état de dégradation du système passe d'un état à un autre par un incrément de type saut. Les

incréments s'ajoutent jusqu'à la défaillance totale du système. Les processus markoviens [7, 8] ou semi-markoviens [9, 10] peuvent être utilisés pour modéliser à la fois l'instant du choc et l'état dans lequel se retrouve le système. Les modèles à dégradation continue supposent la connaissance des lois des incréments de dégradation entre deux instants consécutifs. Ces modèles permettent de prédire le niveau de dégradation du système à tout instant

2.2.1 Les modèles de dégradation continue :

Les modèles à dégradation continue tentent de modéliser l'évolution au cours du temps de la dégradation. Pour les systèmes croissants non autoréparables, les états sont alors les résultats des réalisations d'un processus stochastiques à trajectoires monotones croissantes. Pour une estimation pertinente, il est nécessaire donc de connaître la loi d'accroissement de dégradation entre deux instants consécutifs pour pouvoir estimer le niveau de dégradation à toute date Park 1988 [11].

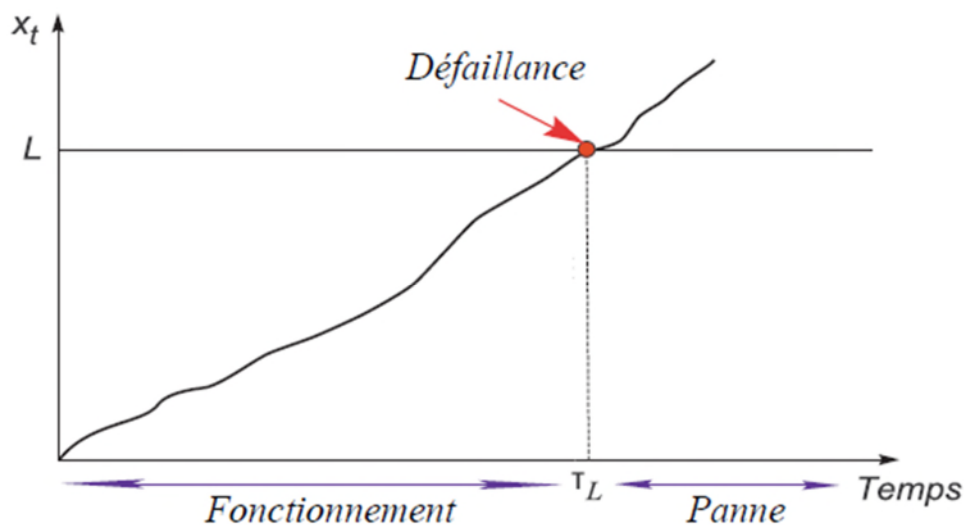


Figure 1.4 : Schématisation d'un modèle à dégradation continue[11]

Selon Barlow 1987[12], la dégradation est généralement supposée être un processus markovien. La dégradation à un instant t donné ne dépend que du niveau de dégradation à l'instant $t - \delta t$ précédent, et de l'intervalle de temps δt entre les deux instants. Cette hypothèse est justifiée si la seule information disponible sur l'état du système est l'accroissement de la dégradation du système entre ces deux instants Castanier 2001[13].

Pour des systèmes à dégradation progressive, le taux de dégradation conditionnel à l'état courant $\lambda_x(t)$ a été défini dans [4] de manière analogue au taux de défaillance $\lambda(t)$:

$$\lambda(t) = \lim_{\delta t \rightarrow 0} \frac{P(\tau_t \leq t - \delta t) / \tau_t > t}{\delta t} \quad (1.14)$$

$$\lambda_x(t) = \lim_{\delta t \rightarrow 0} \frac{P(X(t+\delta t) \geq \tau / X(t)=x}{\delta t} \quad (1.15)$$

tel que, x , le niveau courant de dégradation, est strictement inférieur au seuil de défaillance τ . $X(t)$ représente la dégradation sur un intervalle de temps de longueur t .

Au vu, des propriétés de stationnarité et d'indépendance des accroissements, Les processus de Lévy conviennent pour la modélisation de la dégradation. La classe des processus de Lévy 1 réunit des processus largement étudiés dans la littérature Ross 1995[14] : le processus gamma, le processus de Poisson composé et le processus de Wiener. Chacun de ces processus à temps continu a des particularités qui rendent son choix plus approprié dans certains cas.

L'apprentissage des modèles de dégradation peut se baser sur les instants de défaillance ou/et les mesures de dégradation. Le processus permettant l'observation des instants de défaillance peut être onéreux à mettre en place et souvent très long à réaliser (pour des systèmes très fiables) si les essais ne se font pas de manière accélérée. Par conséquent, l'utilisation de l'estimation des mesures de dégradation avant défaillance devient intéressante surtout si on considère plutôt les mesures des accroissements de dégradation qui sont indépendants. Cependant, ces deux types d'observations peuvent être utilisés conjointement comme dans Nelson 1990[15].

Le processus de Wiener :

Le processus de Wiener est un processus de Lévy à trajectoire continue dont les incréments suivent des lois normales. Il permet de modéliser une dégradation continue et croissante en moyenne mais non monotone. Cela signifie que l'incrément de dégradation a une probabilité non nulle d'être négatif. Cette propriété tolérée dans certaines conditions Whitemore, 1995 [16] ne permet pas de modéliser des dégradations monotones comme la propagation d'une fissure ou les phénomènes d'usure par abrasion. Il est donc nécessaire de se tourner vers des

processus qui privilégient la monotonie. Norbert Wiener [1920] a été le premier à proposer une définition mathématique de ce type de processus.

Définition On considère un espace de probabilité (Ω, \mathcal{F}, P) . Un processus $(B_t)_{t \geq 0}$ est un processus de Wiener standard s'il satisfait les propriétés suivantes :

1. $B_0(\omega) = 0$ pour tout $\omega \in \Omega$
2. $t \rightarrow (B_t(\omega))$ est une fonction continue, $\forall \omega \in \Omega$
3. Les accroissements de $(B_t)_{t \geq 0}$ sont indépendants et pour tout $t \geq 0$ est $h > 0$ $B_{t+h} - B_t$ suit la loi normal $N(0, h)$.

De par cette définition, le processus de Wiener permet d'effectuer et de simplifier certains calculs. Il est aussi utile à la modélisation parce qu'il hérite des propriétés des processus de Markov ou bien le processus de Wiener avec dérive [Doksum 1992, [17] Doksum 1995 [18].

2.2.2 Modèles à dégradation discrète :

Dans la plupart des situations physiques, le temps est une variable continue. Les phénomènes comme le mouvement d'une particule, l'apparition d'une panne ou l'usure d'un composant mécanique sont donc des variables aléatoires qui peuvent occuper n'importe quelle position temporelle.

Cependant, une discrétisation temporelle du temps simplifierait plus les calculs à condition que la description du modèle soit correcte et que le passage du temps discret au temps continu n'altère pas les résultats essentiels du problème. Il suffit alors de prendre une limite de pas de temps de discrétisation adéquate au problème. Dans les modèles à dégradation discrète l'ensemble possible des états du système est fini. Chaque état désigne un niveau de dégradation du système. Ceci suppose que le système se dégrade suivant un certain nombre d'états de dégradation que l'on peut qualifier de transitoires et qui sont généralement classés par ordre croissant de gravité allant du système neuf jusqu'à la défaillance. Le système garde un même état de dégradation pendant un durée de temps qui varie selon plusieurs contextes (nature de la dégradation courante, type de système,.....). Un état de dégradation pourrait être représenté donc sous forme d'un palier de dégradation. Entre deux paliers de dégradation successifs, l'état du système ne change pas. En revanche, en l'absence d'interventions de maintenance,

ce dernier évolue toujours vers des états de plus en plus dégradés jusqu'à la défaillance totale du système. Dans tous ces modèles, il est également possible de prendre en compte des variables influant sur la vitesse de dégradation des systèmes (effets sur la tendance, la variance, changement de l'échelle de temps,). Parmi les modèles à dégradation discrète les plus répandus il y a le processus de poisson et les processus markoviens ou semi-markoviens. Ces modèles peuvent être utilisés pour définir une politique de maintenance optimale selon un critère donné. Par exemple, Feldman 1977[19] modélise l'instant du saut (choc) par un processus semi markovien, en vue de définir une politique de remplacement optimale, minimisant un certain coût. Dans Castanier 2001[13], les processus markoviens sont utilisés pour modéliser le processus d'évolution d'un système à dégradation graduelle. La transition d'un état i à un autre état j du système est gérée par une matrice de transition. Le taux de transition est constant dans le cas markovien. Il est fonction du temps dans le cas non markovien. L'estimation de cette matrice de transition est d'autant plus délicate qu'elle nécessite généralement un grand nombre de données de retours d'expérience.

Chaînes de Markov :

L'approche Markovienne est la plus utilisée pour le traitement probabiliste des systèmes dynamiques. Une chaîne de Markov à valeurs dans un espace fini E est un processus stochastique à temps discret qui vérifie la propriété de Markov. Cette propriété suppose que l'estimation de l'état du futur dépend seulement du présent indépendamment du passé. Les chaînes de Markov reposent sur deux concepts de base : les états et les transitions. L'état d'un système est caractérisé par les différents états de ses constituants (par exemple opérationnels ou en défaut). Lorsque l'espace des états du système est un ensemble discret fini au cours du temps (par exemple passage de l'état opérationnel à un état de dégradation et d'un état dégradé ou panne à l'état opérationnel suite à une action de maintenance). Ces changements d'état sont appelés les transitions.

Les chaînes de Markov reposent sur l'hypothèse que les taux de transition d'un système (taux de défaillance et de réparation) sont constants et que le processus est sans mémoire (Markovien). Un processus stochastique $X_t ; t \in T$ est une collection de variables aléatoires définies sur un espace probabilisé $(\Omega ; \mathcal{F} ; P)$ La variable X_t représente l'état du processus au temps t et l'ensemble de toutes les valeurs possibles pour cette variable est appelée l'espace des états du processus et sera noté ε .

Un processus stochastique dont l'ensemble des états ε est fini ou dénombrable est appelé une chaîne. Le processus est à temps discret lorsque l'ensemble T est fini ou dénombrable.

Certains auteurs réservent la dénomination de "chaîne" aux processus de Markov à temps discret, et appellent alors processus de Markov à espace d'état dénombrable ce que nous avons appelé chaîne de Markov à temps continu. D'autres préfèrent réserver l'appellation "processus de Markov" aux processus à espace d'état non dénombrable vérifiant la propriété de Markov.[13]

Définition : une chaîne de Markov à temps discret est un processus stochastique $(X_n)_{n \geq 1}$ à temps discret, à espace d'états ε fini ou infini est vérifiant la propriété de Markov :

$$P[X_{n+1} = j \mid X_n = i, X_{n-1} = x_{n-1}, \dots, X_0 = x_0] = P[X_{n+1} = j \mid X_n = i] \quad (1.16)$$

tel que $(x_k)_{0 \leq k \leq n-1}, i, j \in \varepsilon$

Définition : Une chaîne de Markov à temps discret est dite homogène si, pour tout couple d'états (i,j) est pour tout instant n on a :

$$P[X_{n+1} = j \mid X_n = i] = P[X_{n+k} = j \mid X_{n+k-1} = i], \quad k \geq 0 \quad (1.17)$$

Par conséquent :

$$P[X_{n+1} = j \mid X_n = i] = P[X_1 = j \mid X_0 = i] p_{i,j}, \quad \forall (i, j) \in \varepsilon^2 \quad (1.18)$$

$p_{i,j}$ Représente probabilité de transition initiale de i à j ; en d'autres termes c'est la probabilité conditionnelle que le système se retrouve dans l'état j à l'étape suivante sachant qu'il se trouve actuellement dans l'état i.

pour un système à $|\varepsilon|$ états, la matrice de transition $P=(p_{i,j})$ sera la taille $|\varepsilon| * |\varepsilon|$. Les lignes et colonnes de la matrice sont indexées par les éléments de ε

De nombreux travaux ont utilisé les chaînes de Markov dans l'optimisation de la maintenance. Par exemple dans Soro 2010[20] les auteurs développent un modèle

d'évaluation de disponibilité, de taux de production et de fiabilité d'un système dégradable et assujéti à des réparations minimales et à une maintenance préventive imparfaite. Le système est modélisé comme un processus de Markov à temps continu.

2.4.3 Dégradation d'un système multi-états :

Dans le premier cas, on modélise l'évolution en temps d'une grandeur (positive). En générale, l'évolution est croissante dans le temps. On s'intéresse alors à des processus stochastiques à trajectoires croissantes, ou du moins croissantes en moyenne. Les trois modèles les plus fréquemment étudiés sont les suivants : le processus gamma, le processus de Poisson composé et le mouvement brownien. On notera qu'ils appartiennent à la classe des processus de Lévy. Dans le second cas, on suppose que l'ensemble possible des états du système est fini, chaque état représentant un niveau de dégradation du système (il peut alors exister une relation d'ordre partielle ou totale entre les états). En l'absence d'actions de maintenance, le processus évolue en général d'un état vers un autre état plus dégradé traduisant une dégradation accrue du système. Dans tous ces modèles, il est également possible de prendre en compte des variables explicatives qui influent sur la vitesse de dégradation des systèmes. Diverses approches ont été proposées [1] : effets sur la tendance et/ou la variance à travers de fonctions de lien, changement de l'échelle de temps, etc. Ces modèles peuvent être ensuite utilisés pour définir une politique de maintenance optimale selon un critère donné.

2.4 Modèles mathématiques de dégradation :

Dans cette section nous présentons un modèle de dégradation de type discret de type choc, appelé DS

Fiabilité du modèle DS : [21]

Soient $\bar{F}_1(t)$ et $\bar{F}_2(t)$ respectivement les de survie à l'instant $t \geq 0$ associé à l'intensité $r_1(t)$ et $r_2(t)$ de choc, on obtient :

$$\bar{F}_i(t) = \exp\left\{-\int_0^t r_i(u) du\right\} \quad i = 1,2 \quad (1.19)$$

Etant donné que la date de défaillance liée au choc et son intensité sont données par

$$T_s = \inf\{t \geq 0, N_{t=1}\} \quad (1.20)$$

Où N_t correspond au nombre d'événements de choc survenus avant l'instant t .

et :

$$r(t, x_t) = r_1(t) 1\{x_t < M_s\} + r_2(t) 1\{x_t \geq M_s\} \quad (1.21)$$

Où :

$1\{\cdot\}$ Correspond à la fonction indicatrice, $r_1(t)$ et $r_2(t)$ sont des fonctions continues non décroissantes en temps qui représentent l'intensité de choc à l'instant t avec $r_2(t) \geq r_1(t)$.

M_s Correspond à un niveau de dégradation fixé a priori.

la fiabilité du modèle DS à l'instant $t \geq 0$ peut s'exprimer sous la forme :

$$\begin{aligned} \bar{F}_s(t) &= P(\tau_s > t) = P(N_t = 0) \\ &= P(x_t < M_s, N_t = 0) + P(N_t = 0, x_t \geq M_s) \\ &= \bar{F}_1(t) \bar{F}_{\tau M_s}(t) + \bar{F}_2 \int_0^t a(u) du, \end{aligned} \quad (1.22)$$

Dans laquelle

$$a(u) = \frac{\bar{F}_1(u)}{\bar{F}_2(u)} f_{\tau M_s}(u) \quad (1.23)$$

$\bar{F}_{\tau M_s}$ et $f_{\tau M_s}$ correspondent à la fonction de survie et à la densité du temps d'atteinte du τM_s niveau de dégradation M_s , \bar{F}_1 et \bar{F}_2 sont données par (1.19).

Conclusion:

Dans ce chapitre on a modélisé la dégradation. On a commencé à présenter la classification des défaillances. Où on adonner deux types de défaillances intermittentes et étendues. En deuxième lieux on a parlé sur les types de dégradation. Où on a donné deux modèles de dégradation qui sont : modèle de dégradation continue et modèle de dégradation discrète. Ensuite on a cité quelques exemples de modèles mathématiques de dégradation continue et discrète.

CHAPITRE 2

*Politique d'inspection d'un système multi-
état*

Introduction

Dans chaque entreprise les économistes cherchent à optimiser les coûts et de minimiser les pertes et surtout tous ce qui concerne les équipements car les actions de maintenance coûtent excessivement chère et cela a fait appels aux intellects de chercher comment optimiser tout le processus de maintenance afin de minimiser les factures lourdes de maintenance sur les entreprise et cela les a poussé à penser d'élaborer des politiques d'inspections. Ce que nous allons voir dans la suite de ce chapitre.

2.1 Politique d'inspection

Définition de l'inspection :

Selon la norme NF EN13306 [1] l'inspection est un contrôle de conformité réalisé en mesurant, observant, testant ou calibrant les caractéristiques significatives d'un bien. En général l'inspection peut être réalisé avant, pendant ou après d'autres activités de maintenance ».

Plusieurs classifications de politique de maintenance existent. P. K. N. THI dans [22] a exposé deux types d'inspection qui sont : politique d'inspection périodique et politique d'inspection non périodique. D'autre par il existe deux type d'inspection sont prêt on considération une inspection directe est indirecte.

Dans le cas d'une inspection directe, étant donné que la défaillance ne peut être détectée qu'à la suite d'une inspection, le système peut rester en état de défaillance durant la période entre l'apparition de la défaillance et sa détection. Cette période d'inactivité peut entraîner des pertes importantes.

Dans le cas d'inspections indirectes, le but est généralement de déterminer la séquence optimale des instants d'inspection suivant un seuil d'alerte donné, ou inversement, d'optimiser le niveau du seuil d'alerte pour des instants d'inspections prédéterminés.

2.1.1 Politique d'inspection non périodique

Lorsque la d'dégradation est monotone, il devient donc plus intéressant d'adapter l'intervalle d'inspection en fonction de niveau de dégradation observé. Ceci permet de limiter le nombre d'inspection pour des états peu dégradés et d'ajuster au plus près un éventuel

CHAPITRE 2 : Politique d'inspection d'un système multi-état

remplacement préventif. Jia et Christer [13] ont proposé une politique d'inspection non périodique pour laquelle les inspections sont effectuées à chaque instant T_n défini par :

$$T_n = T_{n-1} + I(D(T_n)) \quad (2.1)$$

Où la fonction $I(D(T_n))$ est la fonction d'inter-inspection qui est d'écroissante en fonction de niveau de dégradation du système observé à l'instant T_n . La défaillance est détectée seulement par l'inspection et le coût d'indisponibilité est donné par unité de temps de panne.

2.1.2 Politique d'inspection périodique

Le système est inspecté périodiquement. Lorsque le niveau de dégradation atteint un seuil B , une maintenance préventive est effectuée. Si le niveau de dégradation dépasse un seuil L , un remplacement parfait (maintenance corrective) est effectué. Les paramètres de décision dans cette politique sont l'intervalle d'inspection et le seuil de maintenance préventive B . On se retrouve alors face à un problème d'optimisation à deux dimensions. Dans ce cas, l'inspection est effectuée à chaque unité de temps et le problème se réduit à ne trouver que le seuil de maintenance préventive. Bérenguer et al. [5] ont proposé un modèle de surveillance continue et de réparation parfaite pour déterminer le seuil de maintenance préventive afin de minimiser l'indisponibilité du système. Ils ont également considéré dans leur modèle que le délai et la durée de la maintenance sont aléatoires.

En 2002, Jia et Christer [13] ont présenté une extension de la politique d'inspection périodique à deux pas. La date de la première inspection après maintenance est τ_1 et la périodicité des inspections suivantes est τ . Parmi les avantages de cette politique qu'elle prend en compte le niveau de dégradation.

3.2 Politique d'inspection pour un système multi-état unitaire

Nous considérons un système multi état unitaire comme un système constitué d'une seule composante. Dans [25], Zaitseva affirme que le comportement d'un SME ou de ces composants peut être modélisé par plus de deux états avec des niveaux de performances associés à chacun de ces états. Wu et Chan [23], quant à eux, stipulent que dans le cas d'un SME, la performance du système (ou de ses composants) comporte plus de deux états. En se basant sur ces réflexions, nous modélisons le plus petit SME unitaire en intégrant à la configuration binaire un 3ième état dit dégradé.

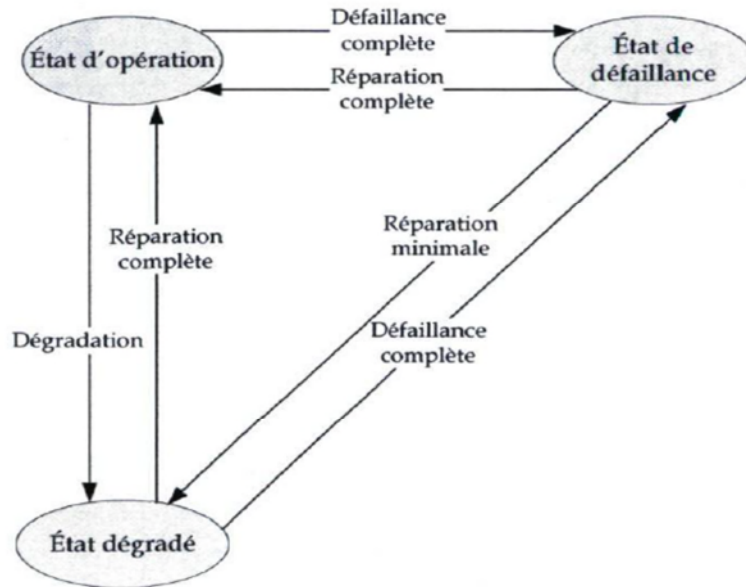


Figure 2.1 : Diagramme fonctionnel d'un SME unitaire à 3 états [23]

2.2 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 [24 , 25]. La figure 2.2. 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.

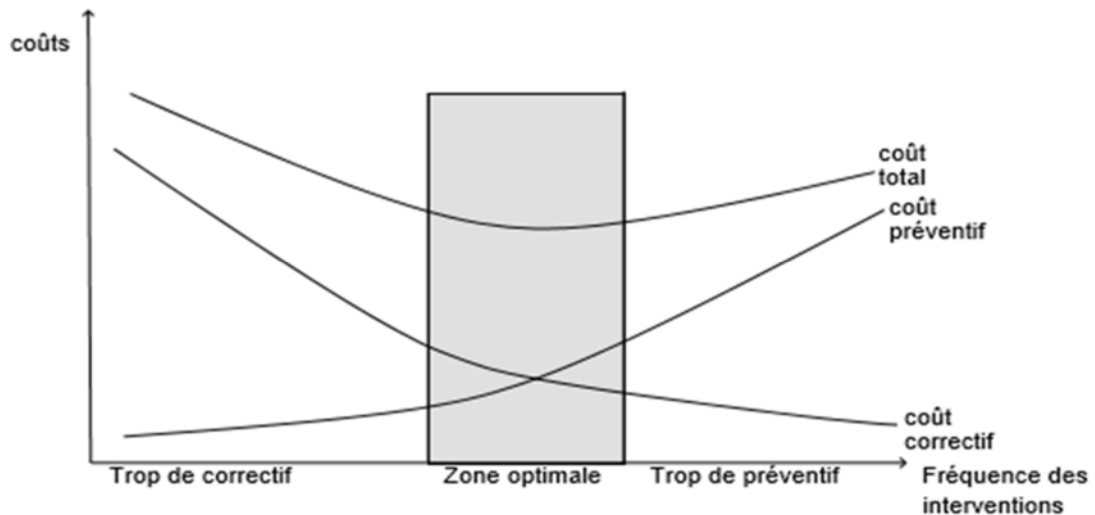


Figure 2.2 : La nécessité de contrôler l'équilibre entre maintenance préventive et maintenance corrective.[29.30]

2.3 Modélisation mathématique de la stratégie :

2.3.1 définition de la stratégie du travail

Nous considérons un système dont les défaillances sont de type 'Non-Self Announcing' qui veut dire que les défaillances sont détectables que suite à une inspection.

Notre système est sujet à une dégradation progressive dont le niveau est évalué par inspection qui consiste à effectuer des mesures d'un paramètre de contrôle dont l'évolution au cours du temps est étroitement liée au processus de dégradation des composants.

Notre système est inspecté. Au cas où la valeur mesurée du paramètre de contrôle lors d'une inspection se trouve au-delà du niveau prédéfini du seuil (S_1, S_2), des actions de maintenance doivent être faites soit par une action corrective qui veut dire faire une MP parfaite "as good as new" du composant défaillant.

2.3.2 Hypothèse de travail

Les hypothèses suivantes sont prises en considération

- Les durées de toutes les actions de maintenance sont supposées être négligeables.
- Les inspections sont parfaites et elles n'affectent pas l'état du système.
- Tous les coûts associés aux actions de maintenance (inspection et remplacement préventif et correctif) sont connus et constants.

2.4 Modèle mathématique

Notation :

Les notations suivantes sont utilisées:

- S₁** Le niveau prédéfini du seuil d'alerte correspondant au paramètre de contrôle du composant.
- S₂** Le niveau prédéfini du seuil danger correspondant au paramètre de contrôle du composant.
- C_i** Le coût d'inspection du composant.
- C_s** Le coût de setup pour le remplacement des composants.
- C_g** Le coût de remplacement du composant défaillant.
- C_p** Le coût de remplacement préventif du composant.
- C_d** Le coût encouru pour chaque unité de temps d'inactivité du système.
- X_i** Les instants d'inspection ($i=1, 2, \dots$) qui représentent les variables de décision. $X_0 = 0$.
- Aⁱ** La durée moyenne d'inactivité entre l'instant de défaillance du système et le prochain instant d'inspection dans le cas où la défaillance est causée par le bris du composant et quand le système est renouvelé.
- I** La durée moyenne d'inactivité du système due au bris du composant durant l'intervalle de temps $[0, X_{i-1}]$.
- E(I)** Le nombre moyen d'inspections durant un cycle de remplacement du système (remplacement du composants).
- E(C)** Le coût total moyen de maintenance durant un cycle de remplacement du système.
- E(T)** La durée moyenne d'un cycle de remplacement du système.
- p** La probabilité conditionnelle que le seuil d'alerte S du composant soit dépassé dans l'intervalle $[X_{i-1}, X_i]$ sachant qu'à l'instant X_{i-1} , la valeur mesurée du paramètre de contrôle du composant j est trouvée sous le niveau du seuil d'alerte.
- τ** La variable aléatoire associée à la durée de vie du composant avant que le seuil S ne soit franchi.

CHAPITRE 2 : Politique d'inspection d'un système multi-état

- t** La variable aléatoire associée à la durée de vie résiduelle une fois le seuil S franchi jusqu'à la défaillance du composant.
- Φ** La fonction de distribution de probabilité associée à la variable aléatoire τ
- F** La fonction de distribution de probabilité associée à la variable aléatoire t
- h(i)** La probabilité d'avoir i inspections au cours d'un cycle de remplacement du système.

❖ Expression du coût total moyen de maintenance par unité de temps sur un horizon infini :

Un cycle de remplacement est l'intervalle de temps entre des remplacements consécutifs du système. Rappelons que selon la stratégie proposée, le composant est remplacé dans le cas où le résultat de l'inspection révèle le dépassement des deux seuils S_1 et S_2 , ou la défaillance d'un composant et le dépassement du niveau de seuil de l'autre.

Puisque nous sommes en présence d'un cycle de renouvellement du système, en utilisant la théorie du renouvellement (**Barlow et Proschan, 1965**) [25], le coût total moyen de maintenance par unité de temps sur un horizon infini, $E(AC)$, peut être exprimé comme suit:

$$E(AC) = \frac{E(C)}{E(T)} \quad 2.2$$

Où $E(C)$ est le coût total moyen encouru durant un cycle de renouvellement du système qui englobe les coûts d'inspection, les coûts des remplacements préventifs et correctifs, les coûts associés à l'inactivité et les coûts de setup.

Pour pouvoir déterminer l'expression du coût total moyen de maintenance $E(C)$, les deux scénarios possibles de fin de cycle décrits ci-dessous (SC1) et (SC2) doivent être considérés par rapport à l'état observé du composants à l'instant d'inspection X_i auquel un cycle de remplacement se termine (renouvellement du composant). Les 2 scénarios possibles se traduisant par un remplacement du composant (remplacement du système) sont les suivants :

Scenario (SC1) :

Ce scénario indique qu'à l'instant d'inspection X_i , le cycle de remplacement se termine avec:

- S1 ayant été dépassé durant l'intervalle de temps $[X_{i-1}, X_i]$ et le composant se trouve en état de défaillance.

Le système est donc à l'arrêt (présence d'inactivité durant le cycle). Suite à l'occurrence de ce scénario, les actions de maintenance sont les suivants : remplacement correctif du composant .

Scenario (SC2) :

Ce scénario indique qu'à l'instant X_i , le cycle de remplacement se termine avec:

- S1 ayant été dépassé pendant l'intervalle de temps $[X_{i-1}, X_i]$ et le composant 1 se trouve en état de fonctionnement.

Le système n'est pas à l'arrêt. Les actions de maintenance à effectuer dans ce cas sont : remplacement préventif du composant.

❖ Expression de la probabilité d'occurrence du scénario

SC1 : $P^i(SC1)$

Pour calculer la probabilité d'occurrence de ce scénario on a

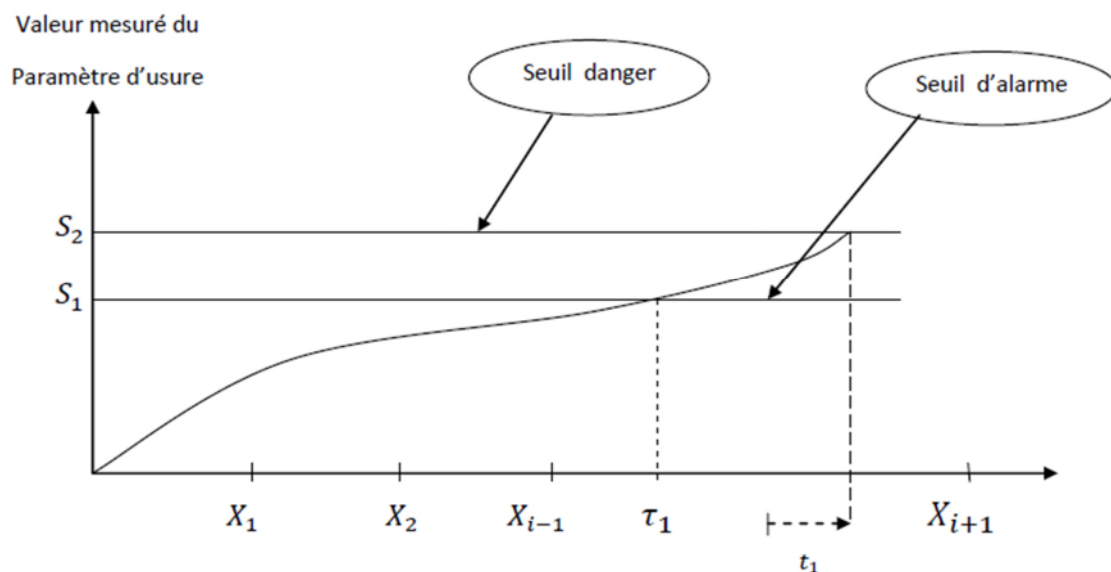


Figure 2.3: L'évolution du paramètre de contrôle de chaque composant avec le temps

$$P^i(SC1) = \frac{\int_{X_{i-1}}^{X_i} \int_{\tau_1}^{X_i} S_1(\tau_1) \cdot (F_1(X_i - \tau_2)) d\tau_2 d\tau_1}{(1 - \phi_1(X_{i-1}))} \quad 2.3$$

Toujours dans le même scénario, l'inactivité moyenne du système correspond à l'intervalle de temps $(X_i - (\tau_1 + t_1))$ assorti de la probabilité d'occurrence du scénario durant le dernier intervalle d'inspection $[X_{i-1}, X_i]$. elle est donnée par la formule suivante :

$$A^i = \frac{\int_{X_{i-1}}^{X_i} \int_{\tau_1}^{X_i} S_1(\tau_1) \cdot (X_i - (\tau_1 + t_1)) \cdot (F_1(X_i - \tau_2)) d\tau_2 d\tau_1 + \int_{X_{i-1}}^{X_i} \int_{\tau_2}^{X_i} S_1(\tau_1) \cdot (X_i - (\tau_1 + t_1)) \cdot F_1(X_i - \tau_1) d\tau_1 d\tau_2}{(1 - \phi_1(X_{i-1}))} \quad 2.4$$

❖ **Expression du coût total de maintenance C(SC1) correspondant au scénario SC1 :**

Ce coût est exprimé par la somme des coûts moyens relatifs à :

- ✓ Les cout d'inspection du composent (C_i) le long de cycle aux instants X_K ($K=1,2,3,\dots,i-1,i$)
- ✓ Les coûts de remplacement correctif du composant (C_g) suite à la dernière inspection à l'instant X_i . Ainsi que le coût de setup C_s .
- ✓ Le coût d'inactivité du système entre l'instant de sa défaillance (due à la défaillance du composant) et l'instant X_i de son renouvellement ($C_d \cdot A^i$)
- ✓ Le cout de remplacement correctif ou préventif qui peuvent avoir lieu pour le composent lors des inspection précédente X_i , c'est t-a-dire pour des instants X_k ($k=1,2,3,\dots,i-1$) ainsi que les cout d'inactivité dans le cas ou il y'a des défaillance du composent durent (X_{k-1}, X_k) ($k=1,2,3, \dots,i-1$)

Les coûts associés à chacune de ces situations sont exprimés ci-dessous en tenant compte respectivement de leur probabilité d'occurrence.

CHAPITRE 2 : Politique d'inspection d'un système multi-état

- (1) Remplacement correctif du composant induisant un coût lié au remplacement et à l'inactivité du système :

$$(C_g + C_d \cdot I + C_s) \times \left(\sum_{k=1}^{i-1} \frac{\int_{X_{k-1}}^{X_k} (S_1(\tau_1) \cdot F_1(X_k - \tau_1)) d\tau_1}{(1 - \Phi_1(X_{k-1}))} \right) \quad 2.5$$

- (2) Remplacement préventif du composant coutant :

$$(C_p + C_s) \times \left(\sum_{k=1}^{i-1} \frac{\int_{X_{k-1}}^{X_k} (S_1(\tau_1) \cdot F_1(X_k - \tau_1)) d\tau_1}{(1 - \Phi_1(X_{k-1}))} \right) \quad 2.6$$

Aucun remplacement n'est effectué (cout égal a 0) : cette situation se produit lorsqu'aucun des seuils n'est atteint jusqu'à l'instant X_{i-1}

$$0 \times \sum_{k=1}^{i-1} (1 - \Phi_1(X_k)) \quad 2.7$$

Les deux premières situations ci-dessus impliquent une inactivité du système. I représente la durée moyenne d'inactivité du système suite à la panne du composant durant n'importe quel intervalle (X_{k-1}, X_k) avec $(k = 1, 2, 3 \dots i-1)$:

$$I = \sum_{k=1}^{i-1} \left| \frac{\int_{X_{k-1}}^{X_k} \int_0^{X_{k-1} - \tau_1} S_1(\tau_1) \cdot \{(X_k - (\tau_1 + t_1)) \cdot f_1(t_1)\} d\tau_1}{(1 - \Phi(X_{k-1}))} \right| \quad 2.8$$

A titre indicatif, la figure ci-dessous présente un exemple de ce qui pourrait se passer comme événements le long d'un cycle complet de remplacement avec une fin de cycle correspondant au scénario SC1.

Ainsi, le coût total moyen de maintenance encouru durant un cycle de renouvellement du système et correspondant à ce premier scénario est exprimé comme suit:

$$C(SC1) = \sum_{i=1}^{\infty} \left\{ \left((C_g + C_d \cdot I + C_s) \times \left[\sum_{k=1}^{i-1} \frac{\int_{X_{k-1}}^{X_k} S_1(\tau_1) \cdot F_1(X_k - \tau_1) d\tau_1}{(1 - \Phi(X_{k-1}))} \right] + \right) \cdot P^i(SC1) \right\} + \left((C_i) \cdot i + C_s + C_g \right) + C_d \cdot A^i \quad 2.9$$

❖ **Expression de la probabilité d'occurrence du scénario SC2 : $P^i(SC2)$**

Comme le premier scenario pour calculer la probabilité d'occurrence du scénario SC2 on a la formule suivante :

$$P^i(SC2) = \frac{\left[\int_{X_{i-1}}^{X_i} \int_{\tau_1}^{X_i} S_1(\tau_1) \cdot (1 - F_1(X_i - \tau_1)) d\tau_2 d\tau_1 \right]}{(1 - \Phi(X_{i-1}))} \quad 2.10$$

❖ **Expression du cout total de maintenance $C(SC2)$ correspondant au scénario SC2**

Ce cout est la somme des couts moyens relatif aux items suivants :

- Le coût d'inspection du composants C_i le long du cycle aux instants X_k ($k = 1, 2, 3, i-1, i$).
- Les coûts de remplacement préventif du composant (C_p) suite à la dernière inspection à l'instant X_i . Ainsi que le coût de setup C_s .
- Les coûts encourus à chacun des instants d'inspection précédents X_k ($k = 1, 2, 3 \dots i-1$). Ces coûts sont les mêmes : que ceux expliqués ci-dessus dans le cas du scenario (SC1) donnés par les équations (2.5), (2.6), (2.7)

Par conséquent, le coût total moyen de maintenance correspondant à ce scénario est exprimé comme suit:

$$C(SC2) = \sum_{i=1}^{\infty} \left\{ \left((C_p + C_s) \times \left[\sum_{k=1}^{i-1} \frac{\int_{X_{k-1}}^{X_k} S_1(\tau_1) \cdot (1 - F_1(X_k - \tau_1)) d\tau_1}{(1 - \Phi(X_{k-1}))} \right] + \right) \cdot P^i(SC2) \right\} + \left((C_i) i + C_s + C_p \right) \quad 2.11$$

CHAPITRE 2 : Politique d'inspection d'un système multi-état

Quant à la durée moyenne du cycle de renouvellement, $E(T)$, elle est exprimée sous la forme suivante:

$$E(T) = \sum_{i=1}^{\infty} [X_i \cdot h(i)] \quad 2.12$$

$h(i)$ étant la probabilité d'avoir i inspection au cours d'un cycle de remplacement du système.

Elle est donnée par

$$h(i) = P^i(SC1) + P^i(SC2) \quad 2.13$$

Ainsi, il est maintenant possible de calculer le coût total moyen de maintenance par unité de temps $E(AC)$, (équation 3.2), pour une séquence donnée d'instant d'inspection, (X_1, X_2)

Il est intéressant de rappeler que comme les deux scénarios, (SC1), (SC2) représentent les seuls scénarios possible de fin de cycle par un remplacement du système et compte tenu du fait qu'ils sont mutuellement exclusifs, la probabilité d'occurrence des deux scénarios satisfait l'équation suivante :

$$P(SC1) + P(SC2) = 1 \quad 2.14$$

Où :

$$P(SC1) = \sum_{i=1}^{\infty} P^i(SC1) \quad ; \quad P(SC2) = \sum_{i=1}^{\infty} P^i(SC2) \quad 2.15$$

Enfin le modèle moyen d'inspection, $E(I)$, effectuées au cours d'un cycle de remplacement est exprimé par :

$$E(I) = \sum_{i=1}^{\infty} i \cdot h(i) \quad 2.16$$

Le modèle du coût total moyen de maintenance par unité de temps étant maintenant établi, force est de constater que la difficulté majeure liée à ce modèle réside dans le fait que ce coût est exprimé en fonction de plusieurs variables qui sont les instants d'inspection ($X_1, X_2, X_3...$). Ces instants représentent les variables de décision dans la mesure où l'on cherche à déterminer la séquence d'inspection la plus économique. Afin de surmonter cette difficulté

CHAPITRE 2 : Politique d'inspection d'un système multi-état

pour l'optimisation, nous considérons la même hypothèse retenue par (Munford et Shahani, 1972)[27] et (Turco et Parolini 1984)[28] stipulant que la probabilité conditionnelle que le seuil d'alerte du composant soit dépassée durant l'intervalle de temps X_{i-1}, X_i sachant qu'il ne l'était pas à X_i , reste constante au cours du temps pour chaque composant. Cette probabilité conditionnelle p est donnée par l'expression suivante :

$$p = \frac{\Phi(X_i) - \Phi(X_{i-1})}{1 - \Phi(X_{i-1})} \quad \text{pour } (i = 1, 2, 3, \dots) \quad 3.17$$

Ceci implique que :

$$\Phi(X_i) = 1 - (1 - p)^i \quad \text{pour } (i = 1, 2, 3, \dots) \quad 3.18$$

Avec $p = \Phi(X_1)$ et X_0 .

En utilisant l'équation 2.18 on peut facilement trouver les instants d'inspection (X_1, X_2, X_3, \dots)

Pour une valeur donnée de p_j entre 0 et 1

$$X_i = \Phi^{-1} \left\{ 1 - (1 - p_j)^i \right\} \quad \text{pour } (i = 1, 2, 3, \dots) \quad 3.19$$

Conclusion

Dans ce chapitre, tout d'abord on a présenté les différents types d'inspection dans l'entreprise, d'où on a cité deux politiques ensuite nous avons proposé un modèle mathématique qui nous permet de résoudre le problème lié à la maintenance pour un système multi-états (2 états ou plus). à la fin on a présenté l'algorithme et les étapes principales de la procédure de résolution du modèle étudié.

CHAPITRE 3

Présentation de l'entreprise

3.I. La Sonatrach

I.1) Présentation de la Sonatrach :

Sonatrach (Société National de Transport et de Commercialisation des Hydrocarbures) est la première entreprise d'hydrocarbures en Afrique et en Méditerranée ; en plus un acteur majeur de l'industrie pétrolière.

La compagnie a été créée le 31 décembre 1963 pour le transport et la commercialisation des hydrocarbures extraits des gisements du Sahara par les premières compagnies étrangères opérantes à l'époque en Algérie, elle est classée au 12^{ème} rang des compagnies pétrolières mondiales, 2^{ème} exportateur de GNL et de GPL et 3^{ème} exportateur de gaz naturel et exerce ses activités dans quatre principaux domaines, et ses activités constituent environ 30% du PNB de l'Algérie.

I.2) Les activités de la Sonatrach :

Sonatrach exerce ses activités dans quater (4) principaux domaines :

I.2.A) Activité exploration et production:

Elle recouvre les métiers de recherche, d'exploration, de développement et de production d'hydrocarbures.

I.2.B) Activité raffinage et pétrochimie :

Elle prend en charge le développement et l'exploitation des complexes de liquéfaction de gaz naturel, de séparation de GPL, de gaz industrie et le raffinage du pétrole brut.

I.2.C) Activité Commercialisation :

Elle a pour missions l'élaboration et l'application de la stratégie de Sonatrach en matière de commercialisation des hydrocarbures sur le marché national et international par les opérations de trading et de shipping.

I.2.D) Activité Transport par Canalisation :

Le transport par canalisation est le moyen le plus simple, le plus sûr et le plus écologique pour transporter le pétrole.

L'Activité Transport par Canalisation est en charge de l'acheminement des hydrocarbures ; de pétrole brut, du condensat, de gaz et du GPL, à partir des zones de production vers les zones

de stockage, les complexes GNL et GPL, les raffineries, les ports pétrolière ainsi que vers les pays importateurs. Elle constitue le noyau de la chaîne pétrolière du groupe Sonatrach.

Dans les années 50, juste après la découverte du gisement de Hassi-Messaoud, deux types de transport d'hydrocarbures étaient employés par les entreprises en cette période : l'oléoduc qui reliait Hassi-Messaoud à Touggourt et les wagons-citernes de Touggourt au port de Skikda.

Peu à peu les sociétés pétrolières présentes en Algérie ont investies dans les oléoducs en réalisant l'OB1, canalisation qui relie Haoud-EL-Hamra à Bejaia, et qui l'alimente en pétrole brut. En 1961 le GZ1 a vu le jour ; il alimente le parc d'Arzew en gaz naturel.

Sonatrach a repris par la suite la construction d'autres lignes en commençant par l'OZ1 canalisation qui relie Haoud-El-Hamra à Arzew. De nos jours Sonatrach dispose de plus de 17500km de canalisation pour le transport d'hydrocarbures voir Figure 01 ci-dessous.

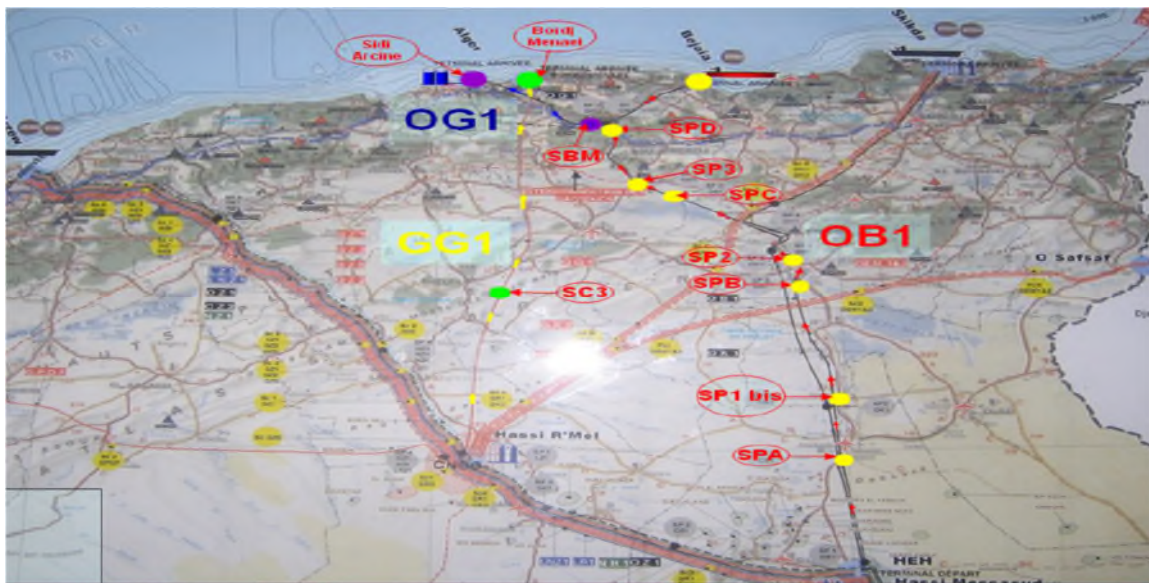


Figure 3.1: Réseau de Transport par Canalisation

I.3) L'organisation de la Sonatrach :

Sonatrach se situe au premier plan par l'importance de ses activités de base qui ont été fixées en 1992 afin d'atteindre ses objectifs en l'exploitation et la recherche, le transport par canalisation et la commercialisation ...etc. Et pour la réalisation de ces objectifs, Sonatrach est divisée en cinq branches différentes, représentées par l'organigramme (Figure 02) suivant :

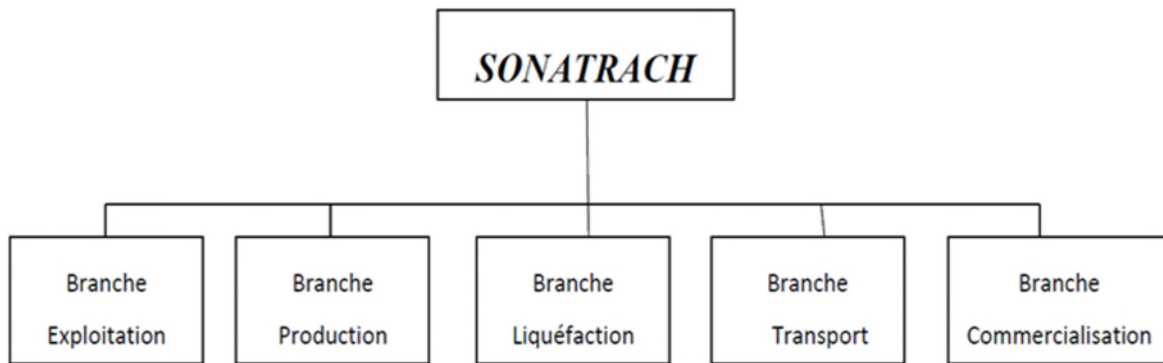


Figure 3.2 :les branches de SONATRACH

I.4) Les directions régionales de transport des hydrocarbures :

Sonatrach possède cinq directions régionales et deux directions de maintenance qui sont comme suit :

- ✓ La direction régionale EST, **RTE** (Skikda).
- ✓ La direction régionale Centre, **RTC** (Bejaia).
- ✓ La direction régionale Ouest, **RTO** (Oran).
- ✓ La direction régionale de Haoud-EL-Hamra, **HEH**.
- ✓ La direction régionale d' Ain Amenas, **RTI**
- ✓ La direction de maintenance BISKRA, **DMB**
- ✓ La direction de maintenance LAGHOUAT, **DML**

NB :Ces deux directions de maintenance sont créés pour accompagner les différentes régions de transport dans leurs missions en leurs assurant un soutien technique (révisions générales des équipements principaux, interventions en cas d'urgence signalée Etc.)

I. 5 Description du département de maintenance :

Le département maintenance est chargé d'entretenir la ligne de transportant les produits de la source vers le port pétrolier de Bejaia, ainsi que les équipements. Ce département rassemble cinq services différents :

- Service mécanique ;
- Service électricité ;

- Service instrumentation ;
- Service télécommunication ;
- Service méthodes ;

❖ **Service mécanique :**

Ce service mécanique a pour tâches l'exécution des travaux maintenance mécanique des machines tournante (pompes, turbines, moteurs thermique, ...), ainsi les travaux sur machines-outils (tournage, fraisage, ...).

❖ **Service électricité:**

Prend en charge les travaux de maintenance électrique.

❖ **Service instrumentation:**

Assure l'exécution des travaux de maintenance concernant l'instrumentation et la régulation.

❖ **Service télécommunication:**

Il s'occupe de la maintenance du matériel de communication tel que les radios fixes ou mobiles, radars et réseaux téléphonique.

❖ **Service méthode:**

Le service méthode assure la préparation, la planification, l'estimation du coût et le lancement des interventions de maintenance.

Il tient à jour les fichiers historiques des équipements.

3.II. Description de la pompe TP01 SP1Biss :

C est une pompe centrifuge de type 10×18 BFD/2, avec un corps de 02 étages est montée avec 02 impulseur, c'est une machine qui est destinée à les régions industriel de production l'hydrocarbure pour réinjecter le pétrole dans les puits afin de maintenir la pression de gisement.

Le liquide à injecter est ensuite traité et filtré avant d'être admise à l'aspiration des pompes haute pression.



Figure 3.3: pompe TP01 SP1Biss

II .1 Corps de la pompe :

Le Corps de la pompe centrifuge multi-étages est divisé en deux parties (corps supérieur et corps inférieur). Les deux Demi-corps sont assemblés horizontalement par goujons (boulons d'assemblages). Les volutes sont à double becs, opposées diamétralement pour assurer l'équilibrage radial.

❖ Demi- corps inférieur :



Figure 3.4 : Demi-court inférieur

❖ Demi-corps supérieur :



Figure 3.5: demi-court supérieur

II.2 Equipement du corps de la pompe :

- De bague d'usure arrêtée en rotation par ergots.
- D'une bague entre 1^{er} et 2^{ème} étage arrêtée en rotation également par ergots.
- D'un coussinet d'étanchéité central en deux parties arrêté en rotation par un point fixe.

II.3. Mobile de la pompe : Le mobile de la pompe comporte :

- ✓ Un arbre cylindrique de diamètre constant.
- ✓ Des roues placées en opposition et correspondant aux canaux d'aspiration et à la volute du corps.
- ✓ Les entretoises des roues.
- ✓ Une chemise centrale d'étanchéité.
- ✓ Une chemise d'équilibrage cote butée.
- ✓ Une bague entretoises
- ✓ Des chemises d'arbre pour garnitures à tresses ou mécaniques.
- ✓ Des paliers.
- ✓ Le demi-manchon d'accouplement pompe-moteur
- ✓ L'écrou blocage de roue.
- ✓ Bague d'arrêt de la chemise d'équilibrage (bague en deux parties).



Figure 3.6: demi-cout inferieur partie mobile

a) Roue :

C'est l'élément principale de la pompe, c'est une couronne composée de deux flasques parallèles dans l'écartement correspond à la largeur de la roue relié entre eux par des ailettes. Dans notre pompe on a sept roues identiques, elles sont munies de bagues d'usure interchangeable et elles sont soigneusement équilibrées après usinage, Les roues sont montées sur l'arbre avec entretoises et bloqué par l'écrou. La roue est en acier de nuance.



Figure 3.7: les 2 roue de la pompe

b) Arber :

L'arbre de la pompe est fabriqué d'une façon d'assurer un minimum de flèches et de vibrations et aussi dans le but de prolonger au maximum sa durée de vie. Il est constitué d'acier inoxydable de nuance (A322 Gr 4140), il est supporté et guidé par deux paliers.



Figure 3.8 : l'arbre de la pompe

C) Paliers :

Le mobile est supporté à l'extrémité par des paliers prévus avec chambre de refroidissement à huile. Cette chambre circulaire éloignée des roulements, est d'une conception de telle qu'aucune déformation (par différence de dilatation thermique) ne vienne fausser l'alignement du mobile ; réalisé au montage.

- Un palier coté accouplement.
- Un palier coté libre.
- Une butée cotée libre avec deux roulements à billes à contact oblique.

Le graissage des paliers est prévu à l'huile avec anneau de graissage en version standard.

Un graisseur à niveau visible, sur chaque palier, maintient le niveau d'huile constant.

Le réglage du mobile en latérale est obtenu à l'aide d'une bague support anneau de graissage.

Il est nécessaire de changer l'huile des paliers après les 50 premières heures de marche.



Figure 3.9 : Chapeau du palier



Figure 3.10 : palier de butée

II.4. Fiche technique de la pompe

FICHES TECHNIQUES POUR POMPE CENTRIFUGE									
CAS DE FONCTIONNEMENT APPLICABLES									
Le point garanti de fonctionnement est donné pour le cas d'étude N° 5									
Cas d'études	BRUT				CONDENSATS				
	45 °C		5 °C		45 °C		5 °C		
1	2	3	4	5	6	7	8		
Débit (m3/h)	2200	1700	2200	1700	2200	1700	2200	1700	
Température (°C)	45	45	5	5	45	45	5	5	
M/V @ T (kg/m3)	802	802	828	828	693	693	723	723	
Viscosité @ T (Cst)	3,1	3,1	7,2	7,2	0,64	0,64	1,0	1,0	
Tv @ T Bar A	0,85	0,85	0,32	0,32	0,72	0,72	0,18	0,18	
P. Aspi. Bar A	6,0	6,0	5,9	5,9	6,0	6,0	6,0	6,0	
P. Refoult Bar A	84,3	84,3	84,4	84,4	84,3	84,3	84,3	84,3	
NPSH dispo. (m)	65	65	69	69	78	78	82	82	
HMT (m)	995	995	966	966	1152	1152	1104	1104	
Pw (hydraulique) MW	4,79	3,70	4,80	3,71	4,79	3,70	4,79	3,70	

Le brut est filtré en ligne à 500µm.

La pompe sélectionnée doit satisfaire à ces 4 cas de marche.

Débit de service (nominal): 2200 m3/h
 La pompe sélectionnée doit pouvoir fonctionner dans une plage de débit allant de 1700 m3/h jusqu'à 2200 m3/h, par variation de vitesse (cfr SOA12447/4 "Variable Speed Performance Curve")

Chaque pompe doit assurer un service sévère de 60% à 120% du débit nominal durant sa mise en service.

Figure 3.11:Fiche technique de la pompe

CHAPITRE 4

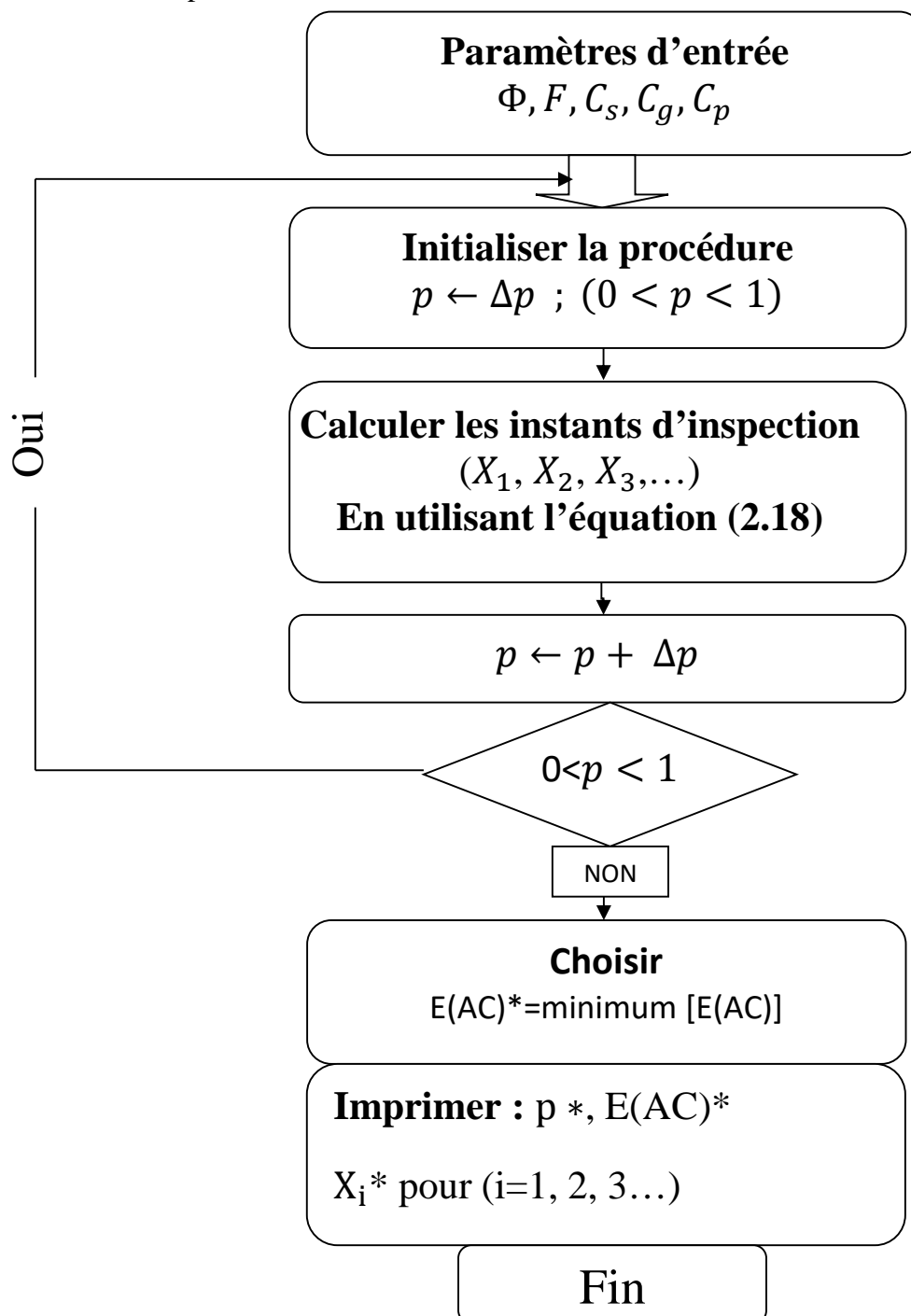
Application Numérique

Introduction

Dans le cadre de l'optimisation de l'inspection, au niveau de la pompe TP01 SP1Bis. Nous voulons appliqué le modèle mathématique donné dans le chapitre précédent et les résultat obtenue sont très bien détaillé dans la suite de ce chapitre.

4.1 Procédure de résolution:

Une procédure numérique a été développée pour générer une séquence d'inspection quasi optimale pour n'importe quelle situation caractérisée par un ensemble de paramètres d'entrée et de couts. Cette procédure est illustrée ci-dessous



❖ Les principales étapes de cette procédure sont les suivantes:

- Tout d'abord, tous les paramètres d'entrée sont introduits par l'utilisateur (coûts, distributions, etc.). Les valeurs des probabilités conditionnelles p sont initialisées à une valeur égale à 0,1.
- Ensuite, les instants d'inspection X_i (, correspondant à p sont calculés en résolvant l'équation (2.18) sur la base des distributions Φ du composant.
- Une fois que les instants d'inspection sont obtenus, on passe au calcul des probabilités instantané des scénario 1 et 2 ($P^i(\text{SC1})$ et $P^i(\text{SC2})$), montré respectivement dans les équations (2.3) et (2.10). Ensuite on passe au calcul de A^i montré dans (2.4) et enfin on termine par déterminé la valeur de I montré dans (2.8).
- Ensuite on passe au calcul des valeurs de $C(\text{SC1})$ et $C(\text{SC2})$ montré respectivement dans (2.9) et (2.11).
- Enfin on détermine la valeur de $H(i)$ montré dans (2.13) ensuite calcule le $E(T)$ montré dans (2.12).
- Une fois tous ces paramètres sont calculé on peut facilement obtenir la valeur de $E(\text{AC})$ montré dans (2.2).
- Ces étapes sont ensuite répétées en augmentant à chaque fois p (de l'ordre de 0,05 jusqu'à ce que p atteigne une valeur proche de 1).
- Enfin, la séquence d'inspection quasi-optimale qui a généré la plus petite valeur d' $E(\text{AC})$ est identifiée parmi l'ensemble des séquences d'inspection générées.
- une fois la valeur de $E(\text{AC})$ minimale est obtenue cela nous permet d'identifier les valeurs de X_i correspondante ainsi qu'a la valeur de p et déterminer les valeurs de $C(\text{SC1})$, $C(\text{SC2})$, $E(T)$, $E(C)$ correspondant à cette séquence quasi-optimale.

4.2 Présentation de données

La programmation du modèle et de la procédure numérique a été faite en utilisant le logiciel de programmation Matlab

Dans l'exemple présenté ci-dessous, nous considérons une situation où les paramètres d'entrées sont obtenues par le bureau de méthode au sein de l'entreprise TRC Bejaia sur la pompe SP1BI TP01.

La fonction de distribution de notre système est comme suit

✓ Φ Weibull(2,190)

✓ F Weibull (2,290).

- Le coût d'inspection $C_i = 1000$ DA
- Le coût d'inactivité $C_d = 150.000$ DA/heures
- Le coût de remplacement $C_g = 3.058.040$ DA
- Le coût de la maintenance préventive $C_p = 40.000$ DA

4.3 Résultats et interprétation

En considérant les paramètres d'entrée indiqués ci-dessus, une séquence d'inspection quasi-optimale été générée (tab 4.1) correspondant à un cout total moyen de maintenance par unité de temps minimal égale à 3947.6 DA/heures. Selon cette séquence d'instant d'inspection, la première inspection soit être effectuée après 250 Heures à partir de l'instant ou un nouveau système a été mis en marche. Cette séquence d'inspection quasi-optimal a été obtenue pour une valeur de $p=0.25$.

i	X_i	$X_i - X_{i-1}$
1	250	250
2	437	187
3	578	141
4	683	105
5	762	79
6	822	60
7	866	44
8	900	34

Tableau 4.1: La séquence quasi-optimal d'inspection.

Cela signifie que la probabilité d’avoir une valeur de seuil correspondant à notre pompe dépassé avant la première inspection ($X_i=250$ h) est égale à 25%.

On remarque aussi que les intervalles entre deux inspections consécutives diminuent avec le temps. Cela était prévisible car le système est sujet à une dégradation progressive (taux de défaillance croissant).

Le tableau 4.2 ci-dessous montre les paramètres de sortie correspondants à la séquence d’inspection quasi-optimale obtenue. La durée moyenne du cycle de remplacement du système $E(T)$, est trouvée égale à 5300 heures. Par ailleurs, le nombre moyens d’inspection par cycle $E(I)$ est de l’ordre de 36

P(SC1)	P(SC2)	E(I)	E(T)	C(SC1)	C(SC2)	E(C)	E(AC)
0.32	0.68	36	5300	9.079.900	3.593.000	12.673.000	3947.6

Tableau 4.2: les paramètres de sortie correspondant à la séquence quasi-optimale d’inspection.

<i>I</i>	$C_i = 500$ $P^* = 0,15$ $E(AC)^* = 3667.2$ $E(T)^* = 3877$		$C_i = 1000$ $P^* = 0,25$ $E(AC)^* = 3947.6$ $E(T)^* = 5300$		$C_i = 3000$ $P^* = 0,35$ $E(AC)^* = 4922.3$ $E(T)^* = 6202$	
	X_i	$X_i - X_{i-1}$	X_i	$X_i - X_{i-1}$	X_i	$X_i - X_{i-1}$
1	150	150	250	250	350	350
2	277	127	437	187	558	208
3	386	109	578	141	725	167
4	468	82	683	105	841	116
5	536	68	762	79	924	83
6	591	55	822	60	996	72
7	630	39	866	44	1056	60
8	653	23	899	33	1100	44

Tableau 4.3 Influence du coût de la maintenance sur la séquence quasi-optimale.

❖ **Influence du coût de la maintenance sur la séquence quasi-optimale**

Nous considérons le même exemple précédent avec les mêmes distributions de probabilité

Nous faisons varier le coût d’inspection tout en gardant les valeurs de tous les autres coûts fixes (C_g, C_p, C_d)

Comme on peut constater sur le tableau 4.3 précédent , lorsque les coûts d'inspection augmentent, les intervalles de temps entre deux inspections consécutives deviennent plus grand et le cycle de remplacement s'allonge. Nous remarquons aussi que le meilleur instant pour effectuer la première inspection est retardé.

Conclusion

Après avoir élaborer un programme Matlab permettant de résoudre le modèle mathématique, ou on a pu en tirer la séquence d'inspection quasi-optimale des X_i correspondant a une valeur de $(p=0.25)$ et $E(AC)=3947.6$ DA/H, ensuite nous avons essayé de voir l'impact de la variation du coût de l'inspection sur la séquence quasi-optimale. On remarque que l'élévation du coût de l'inspection induit une élévation de $E(T)$ ainsi une élévation du $E(AC)$, et la diminution du coût de l'inspection induit une diminution de $E(AC)$, $E(T)$.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Conclusion générale

Dans ce travail, nous nous sommes intéressés à la modélisation et aux choix de la politique d'inspection pour un système multi-états, où le premier niveau S1 est considéré comme seuil d'alarme et qui est situé entre l'état neuf du système et de défaillance. Le deuxième niveau S2 est considéré comme seuil de danger (seuil critique). Le franchissement de l'état de l'équipement de ce seuil entraîne un arrêt total. Pour subvenir à nos besoins nous avons fait appel à un modèle mathématique d'inspection incluant la dégradation et le coût de la maintenance. Et ce modèle donne la séquence quasi optimale des temps en fonction des coûts de maintenance, et le type de dégradation pris dans ce modèle est une dégradation continue (usure).

Afin de mettre en évidence le modèle introduit, nous avons fait deux applications numériques, la première est une optimisation avec des données réelles qui ont été collectées au niveau de bureau méthode de la so.na.tra.ch pour la pompe TP01 SP1 Bis. Tandis que la deuxième application, nous avons essayé de mettre en évidence l'influence du coût d'inspection sur le coût total de la maintenance ainsi qu'à la durée moyenne d'un cycle de remplacement du système.

Les résultats obtenus illustrent le lien entre les différents paramètres du modèle de coût et la politique d'inspection optimale.

Le travail réalisé dans ce mémoire ouvre de nombreuses perspectives intéressantes. Parmi elle on peut citer :

- En pratique, il est rare si ce n'est pas impossible que le niveau de dégradation d'un système puisse être mesuré directement d'une façon exacte. Donc il faut trouver la politique de maintenance conditionnelle pour lesquelles la décision est prise à partir de cette information partielle imparfaite.
- Il est intéressant de faire appel à des logiciels très puissants comme Mathematica pour une meilleure interprétation des données et une meilleure vitesse d'exécution.

Reference :

- [1] AFNOR NF EN 13306. Terminologie de la maintenance (2001).
- [2] R. Laggoune, A. Châteauneuf, and D. Aissani. Maintenance opportune des systèmes Multi-composants. Sarre Bruk, Allemagne,(2011).
- [3] Rausand, M. and Hoyland, A. System Reliability Theory : Models, Statistical Methods, and Applications. Wiley, 2 edition. (2004).
- [4] Deloux, E. (2008). Politiques de maintenance conditionnelle pour un système à dégradation continue soumis à un environnement stressant. Ph.D. thesis, Université de Nantes(2008).
- [5] Booher, T.B. Optimal periodic inspection of a stochastically degrading system. Ph.D. thesis, Air Force Institute of Technology. (2006).
- [6] Esary, J.D. Shock models and wear processes. The Annals of Probability, 1(4), 627–649. . (1973).
- [7] H. Chouikhi. Optimisation des stratégies de maintenance verte pour les systèmes de production de biens et de services. Doctorat, Ecole doctorale IAEM Lorraine UFR Mathématiques, Informatique, Mécanique–Metz, (Décembre 2012).
- [8] Kiessler, P.C. Availability of periodically inspected systems subject to markovian degradation. Journal of Applied Probability, 39(4), 700–711 (2002).
- [9] Feldman, R.M. Optimal replacement with semi-markov shock models. Journal of Applied Probability, 13(1), 108–117 . (1976).
- [10] Igaki, N., Sumita, U., and Kowada, M. Analysis of markov renewal shock models. Journal of Applied Probability, 32(3), 821–831. (1995).
- [11] Optimal continuous-wear limit replacement under periodic inspections. IEEE Transactions on Reliability, 37(1), 97 –102.
- [12] Richard E. Barlow et Frank Proschan. Mathematical Theory of Reliability (Classics in Applied Mathematics). Society for Industrial Mathematics, (Janvier 1987)
- [13] B. Castanier. Modélisation stochastique et optimisation de la maintenance conditionnelle des systèmes à dégradation graduelle.(2001).
- [14] Sheldon M. Ross. Stochastic Processes. Wiley, 2 édition, (Janvier 1995).
- [15] Wayne B. Nelson. Accelerated Testing : Statistical Models, Test Plans, and Data Analysis (Wiley Series in Probability and Statistics). Wiley-Interscience, 1 édition, (1990).

-
- [16] whitmore G.A. Whitmore. Estimating Degradation By a Wiener Diffusion Process Subject to Measurement Error. *Lifetime Data Analysis*, 1 :307–319, (1995).
- [17] Kjell A. Doksum, Arnljot Hóyland et Arnljot Hoyland. Models for Variable-Stress Accelerated Life Testing Experiments Based on Wiener Processes and the Inverse Gaussian Distribution. *Technometrics*, vol. 34, no. 1, pages 74–82, (Février 1992).
- [18] Kjell A. Doksum et Sharon-Lise T. Normand. Gaussian models for degradation processes-part I : Methods for the analysis of biomarker data. *Lifetime Data Analysis*, vol. 1, no. 2, pages 131–144, (Juin 1995).
- [19] R. M. Feldman. Optimal Replacement with Semi-Markov Shock Models Using Discounted Costs. *Mathematics of Operations Research*, vol. 2, pages 78–90, (1977).
- [20] Isaac W. Soro, Mustapha Nourelfath et Daoud Ait-Kadi. Performance evaluation of multi-state degraded systems with minimal repairs and imperfect preventive maintenance. *Reliability Engineering & System Safety*, vol. 95, no. 2, pages 65–69, (2010).
- [21] Khac Tuan HUYNH. quantification de l'apport de l'information de surveillance dans la prise de decision en maintenance. *Optimisation et sureté des système* (2011)
- [22] P. K. N. THI. Politiques de maintenance et d'investissement sous évolution Technologique incertaine. Doctorat, Ecole Centrale de Nantes 'Ecole doctorale Sciences et Technologies de l'Information et Mathématiques, (Juin 2012).
- [23] Wu S., Chan L.-Y. Performance utility-analysis of multi-sate systems. *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. 52 n°1, 2003, pp. 14-19.
- [24] B. Castanier. Modélisation stochastique et optimisation de la maintenance conditionnelle des systèmes à dégradation graduelle. PhD thesis, Université de Technologie de Troyes, (2002).
- [25] W.J. Hopp and Y.L. Kuo. An optimal structured policy for maintenance of partially observable aircraft engine components. *Naval Research Logistics*, 45 :335–352, (1998).
- [26] Barlow R. et Proschan F., *Mathematical theory of reliability*, New York, *John Wiley & Sons*.(1965),
- [27] Munford A. et Shahani A., A nearly optimal inspection policy, *Operational Research Quarterly*, vol.23, pp:373-379. (1972),
- [28] Turco T. et Parolini P.A nearly optimal inspection policy for productive equipment, *International Journal of Production Research*, vol.22, pp: 515-528. (1984),