

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEURE ET
DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université Badji Mokhtar- Annaba
FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIORAT
DEPARTEMENT D'ELECTROMECHANIQUE



جامعة باجي مختار- عنابة
كلية علوم الهندسة
قسم الإلكتروميكانيك

LABORATOIRE DES SYSTEMES D'ELECTROMECHANIQUE (LSELM)

مخبر الأجهزة الكهروميكانيكية

THESE

Présentée en vue de l'obtention du diplôme de
DOCTORAT EN SCIENCES

Thème

UTILISATION DES RESEAUX DE FILES D'ATTENTES POUR L'EVALUATION DES
PERFORMANCES DE LA MAINTENANCE

Option

ELECTROMECHANIQUE

Par

DEFDAF Mabrouk

Soutenue le 12/04/2018

DEVANT LE JURY :

| | | | |
|------------|---------------------|-----|---------------------------------|
| Président | : BELHAMRA Ali | Pr | Université-Badji-Mokhtar-Annaba |
| Rapporteur | : HADJADJ A Ilyes | Pr | Université-Badji-Mokhtar-Annaba |
| Examineur | : KABOUCHE Abdallah | MCA | Université-Badji-Mokhtar-Annaba |
| Examineur | : KESSAL Abdelhalim | MCA | Université Bordj Bou-Arréridj |
| Examineur | : BENSLIMANE Tarak | Pr | Université de M'sila |
| Examineur | : BENHAMIDA Mohamed | MCA | Université de M'sila |

Remerciements

Je tiens à remercier en premier lieu, Monsieur **Hadjadj.A.E**, Professeur à l'université d'Annaba, qui a dirigé ces travaux de thèse, et m'a accordé sa confiance pour mener à bien ce travail de recherche.

Je remercie très vivement mon cher enseignant Monsieur **Ali BELHAMRA**, Professeur à l'université Badji Mokhtar, Annaba, pour l'honneur qu'il me fait en présidant le jury de cette thèse.

Je tiens également à adresser mes remerciements à mon cher enseignant Monsieur **Abdallah KABOUCHE**, Maître de conférence à l'université Badji Mokhtar, Annaba, Monsieur **Abdelhalim KESSAL** Maître de conférence à l'université de Bordj Bou-Arréridj, Monsieur **Tarak BENSLIMANE**, Professeur à l'université de M'sila, et Monsieur **Mohamed BENHAMIDA**, Maître de conférence à l'université de M'sila de l'intérêt qu'ils ont montré pour mon travail et d'avoir accepté d'être examinateurs de ma thèse.

Un remerciement particulier pour Monsieur **Zine GHEMARI**, Maître de conférence à l'université de M'sila pour m'avoir soutenu dans cette longue démarche.

Une pensée particulière est dédiée à Mr **BELLALI, ABDOU, BENDAIKHA , BERRABAH** et **ZOUGUAR** pour leurs soutient et collaborations étroites.

Et je remercie également tous les enseignants et personnel administratif du département génie électrique, faculté de technologie, université de M'sila et du département électromécanique université Badji Mokhtar Annaba.

Dédicaces

Résumé

Dans ce travail, Nous évoquons en premier lieu les concepts de base de la maintenance et de la sûreté de fonctionnement des systèmes industrielles ayant un effet direct sur l'évaluation des performances de la maintenance, et en second lieu nous présentons des généralités sur les réseaux des files d'attentes. Ensuite, deux approches pour l'évaluation de la fiabilité et la disponibilité, basées à la fois sur le processus de Markov et sur la théorie des files d'attente ont été présentés. Ces domaines d'évaluation consistent en une évaluation probabiliste.

Dans le but d'améliorer la fiabilité et la disponibilité des systèmes de productions on a procédé à une évaluation des paramètres de la SDF des fours de la société Lafarge de m'sila. Cette évaluation porte sur la progression des paramètres de l'accéléromètre piézoélectrique qui influe sur les paramètres de la file d'attente ce qui se traduit par une amélioration des performance de la maintenance.

Mots clés: Sûreté de fonctionnement (SDF), File d'attente, Processus de Markov, Accéléromètre piézoélectrique, Fiabilité, Disponibilité.

Abstract

In this work, we will first discuss the basic concepts of maintenance and dependability of industrial systems having a direct effect on the evaluation of maintenance performances; then we present generalities on waiting line networks. After that, two approaches of reliability and availability assessment, based on both Markov process and queue theory were presented. These evaluation domains consist in a probabilistic evaluation.

In order to improve the reliability and availability of production systems, the safety operating parameters of the M'sila Lafarge Society furnaces were evaluated.

This evaluation is related to the piezoelectric accelerometer parameters progression affecting the queue, which is translated into maintenance performance improvement.

Key words: Dependability, Waiting line networks, Markov process, Piezoelectric accelerometer, Reliability, Availability.

في هذا العمل سنقدم أولاً المفاهيم الأساسية للصيانة التي يمكن الاعتماد عليها في ضمان استمرارية الأنظمة الصناعية و تحسين موثوقيتها والتي لها تأثير مباشر على تقييم أداء ونجاعة أنظمة الإنتاج ؛ ثم نقدم عموميات حول شبكات الانتظار . واستعمالاتها في تقييم النجاعة والتوافر باستخدام سلاسل ماركوف و نظريات سلاسل الانتظار التي تعتمد مجالات التقييم فيها على الاحتمالات.

ومن أجل تحسين الموثوقية والتوافر في نظم الإنتاج، نقوم بتحديد معايير الصيانة لفرني شركة لافارج لصناعة الاسمنت المتواجدة بالمسيلة اعتماداً على نظريات سلاسل ماركوف وسلاسل الانتظار من جهة وعلى تاريخ الأعطاب من جهة أخرى.

ويرتبط هذا التقييم لمعايير الصيانة على تحسين أداء سلاسل الانتظار، بواسطة تطوير أجهزة الاستشعار والتسارع الكهروضغطية الذي يؤدي إلى تحسين أداء الصيانة.

الكلمات المفتاح: ضمان استمرارية الأنظمة الصناعية، شبكات الانتظار، سلاسل ماركوف، أجهزة الاستشعار والتسارع الكهروضغطية، الموثوقية، التوافر.

Table des figures

Chapitre I la maintenance et les concepts de la SDF

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| FIG I. 1: LE CONTENU DE LA FONCTION MAINTENANCE- [5] | 7 |
| FIG I. 2: LES TROIS FONCTIONS OPERATIONNELLES DE LA MAINTENANCE..... | 7 |
| FIG I. 3: EXEMPLE DE POLITIQUES DE MAINTENANCE[11]..... | 8 |
| FIG I. 4: PROCESSUS DE DEROULEMENT D'UNE MAINTENANCE CORRECTIVE SUR UN SYSTEME OU UN EQUIPEMENT [11] | 9 |
| FIG I. 5: STRUCTURE DE LA MAINTENANCE CONDITIONNELLE [15]..... | 11 |
| FIG I. 6: PRINCIPE DE LA MAINTENANCE CONDITIONNELLE[13] | 12 |
| FIG I. 7: PERFORMANCE ET DEFAILLANCE D'UN DISPOSITIF[22]..... | 17 |
| FIG I. 8: LES TROIS PERIODES DE LA COURBE EN BAIGNOIRE AVEC DIFFERENTES VALEURS DE B.[21]...17 | |
| FIG I. 9: ALLURE D'UN TAUX DE DEFAILLANCE « EN BAIGNOIRE » [21]..... | 18 |
| FIG I. 10: LE NIVEAU DE RISQUE EST FONCTION DU COUPLE : GRAVITE, PROBABILITE D'OCCURRENCE. [25] | 20 |
| FIG I. 11: LES INTERACTIONS ENTRE LES GRANDEURS DE LA SURETE DE FONCTIONNEMENT (SDF) [26] | 21 |
| FIG I. 12:DIAGRAMME DES TEMPS MOYENS [25]. | 22 |
| FIG I. 13:MODELE RDP DE REFERENCE MACHINE. [30]. | 25 |

Chapitre II Généralités sur les files d'attentes

| | |
|----------------------------------------------------------------------|----|
| FIG II. 1 SYSTEME A UN SEUL SERVEUR, [34.] | 29 |
| FIG II. 2 SYSTEME MULTISERVEURS (S SERVEUR EN PARALLELES) ,[34]..... | 30 |
| FIG II. 3B SYSTEME DE FILE D'ATTENTE SIMPLE, [35]. | 32 |
| FIG II. 4 ILLUSTRATION DES DEUX DISTRIBUTIONS, [34]..... | 33 |
| FIG II. 5 SYSTEME D'ATTENTE [34]..... | 35 |
| FIG II. 6 ENSEMBLES DE M STATIONS INTER CONNECTEES, [38]..... | 38 |
| FIG II. 7 RESEAU OUVERT DES FILES D'ATTENTE, [34]..... | 38 |
| FIG II. 8 RESEAU FERME DES FILES D'ATTENTE, [37]. | 40 |
| FIG II. 9 RESEAU MIXTE DES FILES D'ATTENTE, [37]..... | 40 |
| FIG II. 10 FILE M/M/1. [39]. | 42 |
| FIG II. 11 FILE M/M/1/K, [39]..... | 44 |

Chapitre III. Evaluation de la Fiabilité et la Disponibilité par réseaux de Files d'Attentes

| | |
|---------------------------------------------------------------|----|
| FIG III. 1 GRAPHE D'ETAT POUR SYSTEME NON REPARABLE[40] | 48 |
| FIG III. 2 GRAPHE D'ETAT POUR SYSTEME REPARABLE,[40]. | 48 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| FIG III. 3 UN MODELE MARKOVIEN..... | 51 |
| FIG III. 4 BROYAGE CRU, [43]. | 52 |
| FIG III. 5 CUISSON, [43]. | 53 |
| FIG III. 6 GRAPHE G DES ETATS DE LA DISPONIBILITE. | 58 |
| FIG III. 7 GRAPHE G DES ETATS DE LA FIABILITE. | 58 |
| FIG III. 8 HISTOGRAMME DE NOMBRE DE CLIENTS DANS LE SYSTEME (DISPONIBILITE)..... | 61 |
| FIG III. 9 HISTOGRAMME DE NOMBRE DE CLIENTS DANS LE SYSTEME (FIABILITE)..... | 64 |
| FIG III. 10 HISTOGRAMME NOMBRE DE CLIENTS DANS LE SYSTEME (DISPONIBILITE)..... | 67 |
| FIG III. 11 HISTOGRAMME NOMBRE DE CLIENTS DANS LE SYSTEME, (FIABILITE). | 69 |
| FIG III. 12 GRAPHE DU FONCTION FIABILITE. | 71 |
| FIG III. 13 GRAPHE DU FONCTION DE REPARTITION..... | 71 |
| FIG III. 14 GRAPHE DU FONCTION DENSITE DE PROBABILITE. | 71 |
| FIG III. 15 GRAPHE DU FONCTION TAUX DE DEFAILLANCE..... | 72 |
| FIG III. 16 GRAPHE DU FONCTION MAINTENABILITE. | 72 |

Chapitre IV. Progression des paramètres d'accéléromètre piézorésistif

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| FIG IV. 1 ACCELEROMETRE PIEZORESISTIF | 79 |
| FIG IV. 2 MODELISATION DE L'ACCELEROMETRE PIEZORESISTIF. | 79 |
| FIG IV. 3 LES REPONSES INDICIELLES POUR DEUX ACCELEROMETRES PIEZORESISTIF | 81 |
| FIG IV. 4 LES REPONSES IMPULSIONNELLE POUR DEUX ACCELEROMETRES | 82 |
| FIG IV. 5 DIAGRAMMES DE BODE POUR LES DEUX ACCELEROMETRES | 83 |
| FIG IV. 6 LES LIEUX DE RACINES POUR LES DEUX ACCELEROMETRES | 84 |

Liste des tableaux

Chapitre I la maintenance et les concepts de la SDF

TABLEAU. I. 1 COMPARAISONS ENTRE LES DIFFERENTES METHODES DE MAINTENANCE PREVENTIVE [17]14
TABLEAU. I. 2 TYPES DES MAINTENANCES15

Chapitre II Généralités sur les files d'attentes

TABLEAU II. 1 SYMBOLES (MODELE AVEC POPULATION INFINIE),[34].....45

Chapitre III

TABLEAU III. 1 HEURES D’EXPLOITATION DU FOUR 01 (2014).....54
TABLEAU III. 2 HEURES D’EXPLOITATION DU FOUR 01 (2015).....54
TABLEAU III. 3 HEURES D’EXPLOITATION DU FOUR 02 (2014).....55
TABLEAU III. 4 HEURES D’EXPLOITATION DU FOUR 02 (2015).....55
TABLEAU III. 5 RESULTAT DE LA DISPONIBILITE63
TABLEAU III. 6 RESULTAT DE LA FIABILITE65
TABLEAU III. 7 RESULTAT DE LA DISPONIBILITE.....68
TABLEAU III. 8 RESULTAT DE LA FIABILITE70

Liste des symboles

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| SDF : Sûreté de fonctionnement R(t) : la fiabilité | f(t) : Densité de probabilité |
| $\lambda(t)$: Le taux de défaillance | MTBF : Le moyen de temps de bon fonctionnement |
| M(t) : La maintenabilité | μ : taux de réparation. |
| β : Paramètre de forme | γ : Paramètre de position |
| η : Paramètre d'échelle | MTBP : moyenne des temps entre panne. |
| MUT : moyenne de temps de bon fonctionnement. | MTTF : durée moyenne de fonctionnement avant défaillance |
| MC : maintenance corrective | MP : maintenance préventive |
| MPS : maintenance préventive systématique | MPC : maintenance préventive conditionnelle |
| $1/\mu$: la durée moyenne de service. | λ : taux d'arrivée |
| μ : taux de service | U : Taux d'utilisation du serveur |
| L : Nombre moyen des clients | W : Temps moyen de séjour |
| Wq : Le temps moyen passé dans la file d'attente | Lq : Nombre moyen de clients dans la file d'attente |
| U(K) : Taux d'utilisation du serveur | ρ : Le nombre moyen de clients en train d'être servis |
| \bar{n}_f : Nombre moyen de cliente en file | \bar{n} : Le nombre des clients dans le système |
| \bar{T}_f : Temps moyen d'attente en ligne | \bar{T} : Temps moyen d'attente dans le système |
| P₀ : Probabilité qu'il y ait zéro unité (client) dans le système | P_n : Probabilité qu'il y ait n unités (clients) dans le système |
| P_{<n} : Probabilité qu'il y ait moins de n unités (client) dans le système | |

Table des matières

| | |
|---------------------------------------------------------------------|-----------|
| INTRODUCTION GENERALE..... | 1 |
| CHAPITRE I. MAINTENANCE ET CONCEPTS DE LA SDF | 5 |
| I.1. Introduction | 5 |
| I.2. Objectifs de la maintenance | 5 |
| I.3. Définition de la maintenance | 6 |
| I.3.1. La fonction maintenance | 7 |
| I.4. Mise en œuvre d'une politique de maintenance | 8 |
| I.4.1. Maintenance corrective ou réactive | 9 |
| I.4.2. Maintenance préventive | 10 |
| I.4.2.a. Maintenance préventive systématique | 10 |
| I.4.2.b. Maintenance préventive prévisionnelle | 10 |
| I.4.2.c. Maintenance préventive conditionnelle | 10 |
| I.4.2.d. Principe de la maintenance conditionnelle | 11 |
| I.5. Classification des tâches de maintenance | 12 |
| I.6. Choix des outils de surveillance..... | 13 |
| I.7. Sûreté de Fonctionnement..... | 15 |
| I.7.1. Fiabilité..... | 15 |
| I.7.1.a. Différents types de fiabilité..... | 16 |
| I.7.1.b. Analyse de la fiabilité | 16 |
| • Taux de défaillance | 16 |
| • Moyen des temps de bon fonctionnement MTBF | 17 |
| I.7.1.c. Signification des différents paramètres | 17 |
| I.7.1.d. Courbe de défaillance | 18 |
| I.7.2. Maintenabilité..... | 19 |
| I.7.3. Disponibilité | 19 |
| I.7.3.a. Sortes de la disponibilité | 19 |
| I.7.4. Sécurité | 20 |
| I.8. Défaillance | 22 |
| I.9. Méthodes d'analyse de la sûreté de fonctionnement | 23 |

| | | |
|----------------------|------------------------------------------------------------------------|-----------|
| II.6.4. | Notations de Kendall..... | 37 |
| II.6.5. | Notion de classes de clients..... | 37 |
| II.7. | Réseaux de file d'attente..... | 38 |
| II.7.1. | Réseaux ouverts..... | 38 |
| II.7.1.a. | Processus d'arrive..... | 39 |
| II.7.1.b. | Routage des clients..... | 39 |
| II.7.2. | Les réseaux fermés..... | 39 |
| II.7.3. | Réseaux multiclassés..... | 40 |
| II.7.4. | Les réseaux de file d'attente à capacité limite..... | 41 |
| II.7.5. | Les réseaux de files d'attente ouverts à contrainte de population..... | 41 |
| II.8. | Files d'attente markoviennes..... | 42 |
| II.8.1. | File M/M/1..... | 42 |
| II.8.2. | File M/M/1/K..... | 43 |
| II.8.3. | Relations de base [34]..... | 45 |
| II.9. | Conclusion..... | 46 |
| | | |
| CHAPITRE III. | EVALUATION DE LA FIABILITE ET LA DISPONIBILITE PAR RESEAUX DE | |
| | FILES D'ATTENTES..... | 47 |
| III.1. | Introduction..... | 47 |
| III.2. | Notions de base des systèmes industrielles..... | 47 |
| III.2.1. | Systèmes non réparables..... | 47 |
| III.2.2. | Systèmes réparables..... | 48 |
| III.3. | Outils de modélisation..... | 49 |
| III.4. | Objectif du modèle..... | 49 |
| III.5. | Hypothèses de travail..... | 49 |
| III.5.1. | Processus de Poisson..... | 49 |
| III.5.2. | Processus des Services..... | 50 |
| III.5.3. | Temps de service suit une distribution exponentielle..... | 50 |
| III.6. | Méthodologies dynamiques pour l'étude de la fiabilité..... | 50 |
| III.7. | Réseau de production..... | 52 |
| III.8. | Etude du système de production..... | 53 |

| | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|-----------|
| III.8.1. | Etudes statistiques sur les Four01 et Four02..... | 54 |
| III.9. Utilisation de la théorie des files d'attente et la théorie de Markov pour la modélisation de la disponibilité et la fiabilité | | |
| | | 56 |
| III.9.1. | Définition d'une chaîne de Markov homogène dans le temps..... | 56 |
| III.9.2. | Evolution dans le temps du vecteur stochastique..... | 56 |
| III.9.3. | Distribution stationnaire | 57 |
| III.9.4. | Représentation graphique des chaînes de Markov | 57 |
| III.10.Paramètres de fiabilité de la FOUR 01..... | | |
| | | 59 |
| III.10.1. | Etapas d'analyse des réseaux ouverts de files d'attente. FOUR01..... | 59 |
| III.10.2. | Calcul de la disponibilité et de la fiabilité d'un système Four01 | 61 |
| III.11.Paramètres de fiabilité (FOUR 02)..... | | |
| | | 65 |
| III.11.1. | Etapas d'analyse des réseaux ouverts de files d'attente. FOUR 02..... | 66 |
| III.11.2. | Calcul de la fiabilité (FOUR 02) | 68 |
| III.12.Résultats des paramètres de la maintenance (Four01)..... | | |
| | | 71 |
| III.13.Résultats des paramètres de la maintenance (Four02)..... | | |
| | | 73 |
| III.14.Propositions pour améliorer la disponibilité et la fiabilité | | |
| | | 75 |
| III.15.Conclusion | | |
| | | 76 |
| CHAPITRE IV. AMELIORATION DES FILES D'ATTENTE PAR PROGRESSION DES | | |
| PARAMETRES D'ACCELEROMETRE PIEZORESISTIF | | |
| | | 77 |
| IV.1.Introduction | | |
| | | 77 |
| IV.2.Principe et objectif de la méthode des files d'attente..... | | |
| | | 78 |
| IV.3.Modélisation de l'accéléromètre..... | | |
| | | 78 |
| IV.4.Simulation du modèle mathématique..... | | |
| | | 81 |
| IV.5.Conclusion | | |
| | | 84 |
| CONCLUSION GENERALE..... | | |
| | | 86 |

Introduction générale

Introduction générale

De nos jours, les entreprises doivent évoluer dans un environnement dominé par une forte concurrence internationale. Pour rester compétitives, ces entreprises doivent s'adapter plus rapidement et être réactives au maximum. Afin d'atteindre cet objectif, les usines doivent maîtriser la capacité de leurs systèmes de production. Ainsi de nombreuses approches sont apparues pour la modélisation et l'étude de ces systèmes.

les systèmes de production actuels provoquent des irrégularités continues dans la production et ceci est dû aux pannes qui se produisent lors de la fabrication.

Le souci de toute entreprise est d'assurer sa fonction continuellement avec une meilleure qualité, un coût minimal et un maximum de sécurité ; pour atteindre cette perspective, les sociétés possèdent un service de maintenance.

Le rôle du service de la maintenance, est de choisir une politique de maintenance adéquate en prenant en considération l'aspect technique, économique et financier, des différentes méthodes en vue d'optimiser la sûreté de fonctionnement des systèmes de productions qui permettent de prendre des décisions; Pour évaluer la performance d'un système, on utilise soit les méthodes analytiques, telles que les réseaux de files d'attente, soit la simulation. Chacune de ces méthodes comporte ses avantages et ses inconvénients. Les solutions analytiques bénéficient de temps de résolution très rapides. Les résultats peuvent être immédiats, car ils sont déterminés à partir d'équations mathématiques issues du formalisme emprunté, [1].

L'utilisation des files d'attente remonte au début des années 1950,[2]. Ce formalisme a été essentiellement utilisé pour la modélisation des systèmes industriels. Mais, de nos jours, il représente un outil de modélisation analytique de plusieurs types de systèmes et notamment les systèmes de service tels que dans l'optimisation de trafic. La théorie des files d'attente est une technique de la Recherche Opérationnelle qui permet de modéliser un système admettant un phénomène d'attente, de calculer ses performances et de déterminer ses caractéristiques pour aider les gestionnaires dans leurs prises de décisions.

Les files d'attentes se forment lorsque les clients arrivent de façon aléatoire pour se faire servir. Les exemples les plus courants de la vie de tous les jours sont les caisses

des supermarchés, les établissements de restauration rapide, les billetteries des aéroports, les cinémas, les bureaux de poste, les banques. Toutefois, lorsqu'on parle d'attente, on pense souvent à des personnes. Or, les « clients » en attente sont aussi des commandes en attente de traitement, des camions en attente de chargement ou de déchargement, des machines en attente de réparation, des programmes d'ordinateur qui attendent d'être exécutés, des avions qui attendent l'autorisation de décoller, des bateaux qui attendent les remorqueurs pour accoster, les voitures aux panneaux d'arrêt, les patients dans les salles d'urgence, etc,[3].

Une file d'attente est constituée des clients qui demandent un service à un ou plusieurs serveurs et d'une salle d'attente. Le taux des clients qui arrivent et le taux de service par unité de temps sont respectivement notés λ et μ . L'apparition d'une file d'attente résulte d'un processus similaire à ce qui conduit aux ruptures de stock. Dans les deux cas un certain nombre de demandes n'ont pu être satisfaites immédiatement et les conséquences qui en découlent sont également très semblables. Elles sont susceptibles de conduire à des coûts explicites pour l'organisation tels que des pénalités de retard appliqués lorsque les délais de livraison ne sont pas respectés elles conduisent le plus souvent à des coûts implicites qui s'expriment en termes de manque à gagner de perte de clientèle ou de détérioration de l'image de marque, [4].

L'application des files d'attente sur un système de production nécessite l'utilisation d'un réseau des capteurs pour collecter les informations sur leur état de fonctionnement, les capteurs utilisés sont: capteurs de vibration, capteurs de température, capteurs de position.

L'amélioration des capteurs de vibration nous permette de progresser les paramètres de la file d'attente qui interviennent sur les performance de la sureté de fonctionnement.

Cette thèse est structurée en quatre chapitres.

Le premier chapitre traite des concepts de base de la maintenance et de SDF, ainsi que les différentes stratégies et politiques de maintenance dans les entreprises. Nous présentons les définitions de base et en particulier les méthodes d'analyse de la sureté de fonctionnement; ainsi que les différents niveaux de maintenance appliquées aux milieux industriels. Le but de cette introduction à la maintenance est de déterminer les objectifs des actions de maintenance,

Pour atteindre les objectifs de maintenance des processus industrielles, en se basant sur l'amélioration des performances de la fiabilité, la disponibilité et de la sûreté de fonctionnement de ces derniers.

Dans le deuxième chapitre nous avons présenté les notions de base exprimant les phénomènes d'attente, et les éléments importants à considérer dans la mesure de performance d'un système de file d'attente. Et nous avons aussi mis l'accent sur les processus stochastiques et les chaînes de Markov qui servent comme des outils mathématiques de base pour résoudre les problèmes d'attente.

La troisième partie de thèse détermine à un premier temps les notions de base des systèmes industriels, et en particulier le réseau de production du ciment au niveau de la société Lavarg de m'sila. Ainsi qu'une détermination des paramètres de fiabilité des fours. Celles-ci seront utilisées par la suite pour évaluer les performances de la maintenance à l'aide de la théorie des files d'attente et des chaînes de Markov. En un deuxième temps nous présentons les fonctions caractéristiques de la maintenance des fours par l'utilisation d'historiques des pannes durant deux ans, avec des propositions pour améliorer la fiabilité et la disponibilité.

Dans le dernier chapitre, les files d'attente seront utilisées comme une méthode pour améliorer les performances de maintenance. L'information recueillie par l'analyse des vibrations sera utilisée pour vérifier l'état du système et voir si une opération de maintenance doit être organisée. Ainsi, pour une décision précise, l'amélioration des paramètres de l'accéléromètre est nécessaire. Pour atteindre cet objectif, la réponse impulsionnelle et indicielle de l'accéléromètre piézorésistif sera améliorée en utilisant des paramètres appropriés (le taux d'amortissement et la gamme de fréquences). Des tests de simulation par Matlab seront effectués pour confirmer cette approche.

Chapitre I

Maintenance et Concepts de la SDF

Chapitre I. Maintenance et Concepts de la SDF

I.1. Introduction

Les préoccupations de maintenance sont très présentes dans l'industrie et en particulier les domaines de grand risque (pétrochimie, cimenteries, sidérurgies;...etc.). Dans d'autres industries, du type manufacturier, les préoccupations sont plutôt liées à la disponibilité. Dès lors que la sécurité ou la disponibilité d'un système est mise en cause, on incrimine la fiabilité. Finalement, en cas de dysfonctionnement, il convient de remettre le système en état fonctionnel et c'est là qu'intervient la maintenabilité. Ces quatre caractéristiques (fiabilité, maintenabilité, disponibilité et sécurité) constituent la sûreté de fonctionnement d'un système ou d'un dispositif

Les activités de maintenance, au sens de dépannage d'un équipement, ont toujours existé. Mais ces activités étaient au départ peu ou pas formalisées : elles n'étaient pas nécessairement assurées par du personnel spécialisé, ni encadrées par des méthodes spécifiques. De plus, elles consistaient essentiellement à réparer un équipement une fois que celui-ci était défaillant, mais n'intégraient que peu la notion de "préventif", c'est-à-dire des interventions visant à prévenir la panne.

La notion formalisée de "maintenance" est relativement récente. Elle est apparue avec l'automatisation des systèmes de production, les enjeux économiques et industriels croissants, les réglementations strictes pour la protection de l'individu et de l'environnement. La fonction de maintenance ne peut se réduire à la seule activité d'entretenir un parc de machine mais a vocation à intervenir dans tout le cycle de l'exploitation du système (choix et conception du matériel, mise en service, détermination des plans de maintenance, organisation et logistique des activités de maintenance, suivi de l'évolution du système, etc, [5].

I.2. Objectifs de la maintenance

Les objectifs assignés à la maintenance sont :

- 1- Mettre à la disposition de la production un outil fiable.

- 2- Améliorer pour un équipement le profil cumulé durant le cycle de vie par :
 - a. Diminution des coûts de défaillances (au niveau des coûts propres de maintenance et au niveau fiabilité maintenabilité).

- b. L'accroissement de la durée de vie rentable des équipements.
- c. Le maintien et / ou l'accroissement des performances du point de vue qualité / quantité.
- d. La réduction des risques d'accident.

3- La réduction des risques concernant la sécurité des hommes et de l'environnement. Il est évident que l'atteinte de ces objectifs, passe par l'amélioration de la compétence technique et de l'efficacité du personnel chargé de la maintenance.

En général la maintenance doit assurer la rentabilité des investissements matériels de l'entreprise, en maintenant le potentiel d'activités et en tenant compte de la politique définie de l'entreprise.

La fonction maintenance sera donc amené à considérer alors les :

- **Prévision a long terme** : liées à la politique de l'entreprise et permettant l'ordonnement des charges, des stocks, des investissements en matériel.
- **Prévisions a moyen terme** : la volonté de maintenir le potentiel d'activité de l'entreprise conduit veiller à l'immobilisation des matériels, qui perturbent le moins possible le programme de fabrication.
- **Prévision a court terme** : dans ce cas les services maintenance s'efforcera de réduire les durées d'immobilisation du matériel et les coûts de ces interventions.

Sachant que les réductions des coûts et d'immobilisations ne sont possibles que si le matériel et les interventions ont fait l'objet d'une étude préalable, il est donc nécessaire de préparer le travail et d'étudier les conditions de fonctionnement, les défaillances possibles et les conditions d'exécution des interventions, [2].

I.3. Définition de la maintenance

Selon la norme française NF EN13306, la maintenance est l'ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise. L'activité actuelle de la maintenance s'inscrit dans un cadre de participation à la réalisation des objectifs de productivité, de rentabilité et de croissance de l'entreprise.

R. Sarker, A. Haque, [6]; présentent la fonction maintenance comme un ensemble d'activités regroupées en deux sous-ensembles : les activités à dominante technique et les activités à dominante gestion (voir figure I.1).

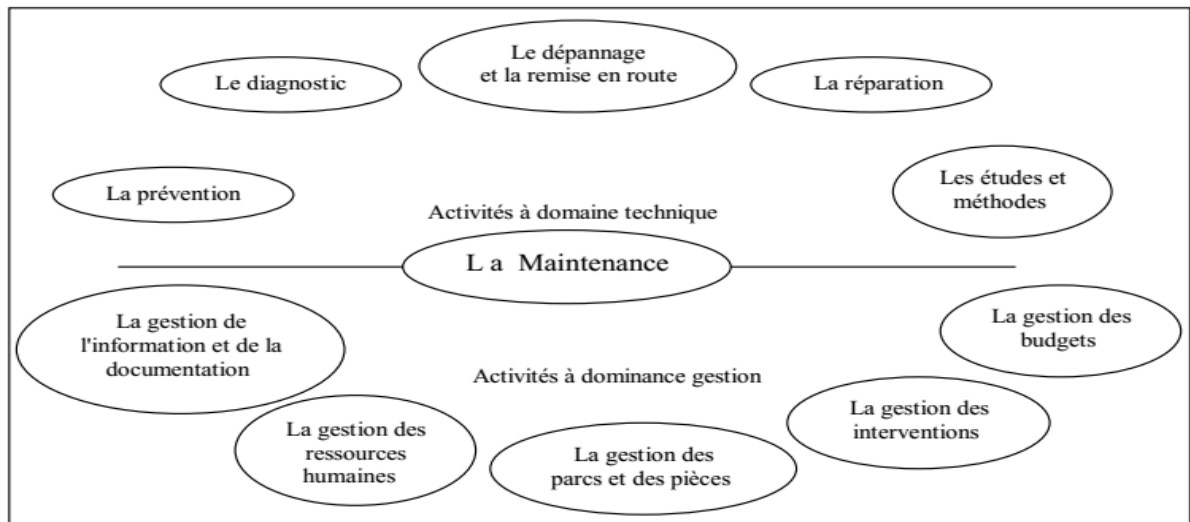


Fig I. 1: le contenu de la fonction maintenance- [6]

I.3.1. La fonction maintenance

La mission principale de la fonction maintenance est le maintien par des actions préventives et correctives de la disponibilité de l'outil de production; c'est-à-dire de son aptitude à accomplir une fonction requise, dans des conditions d'utilisation données, pendant une période donnée par les normes AFNOR, [7]. Autrement dit, la mission principale de la maintenance est la gestion optimisée des équipements de production en fonction des objectifs propres à l'entreprise, [8].

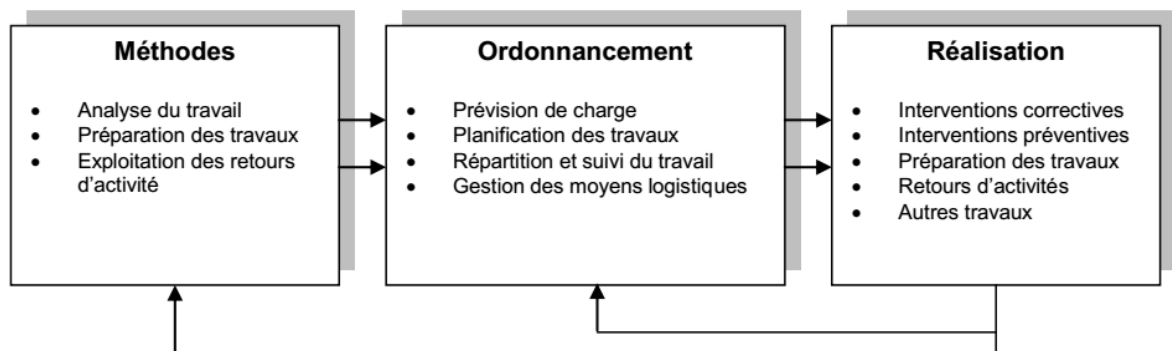


Fig I. 2: Les trois fonctions opérationnelles de la maintenance.

I.4. Mise en œuvre d'une politique de maintenance

Dans la définition de la maintenance, nous trouvons deux mots-clés : maintenir et rétablir. La norme européenne EN 13306, [9] « Terminologie de la maintenance » définit les différentes classes en maintenance.

Le premier fait référence à une action préventive, le deuxième fait référence à l'aspect correctif. On peut résumer les différentes politiques de maintenance selon la Figure I.3 Une bonne synthèse de ces différentes stratégies de maintenance se trouve par exemple dans [10] et [11].

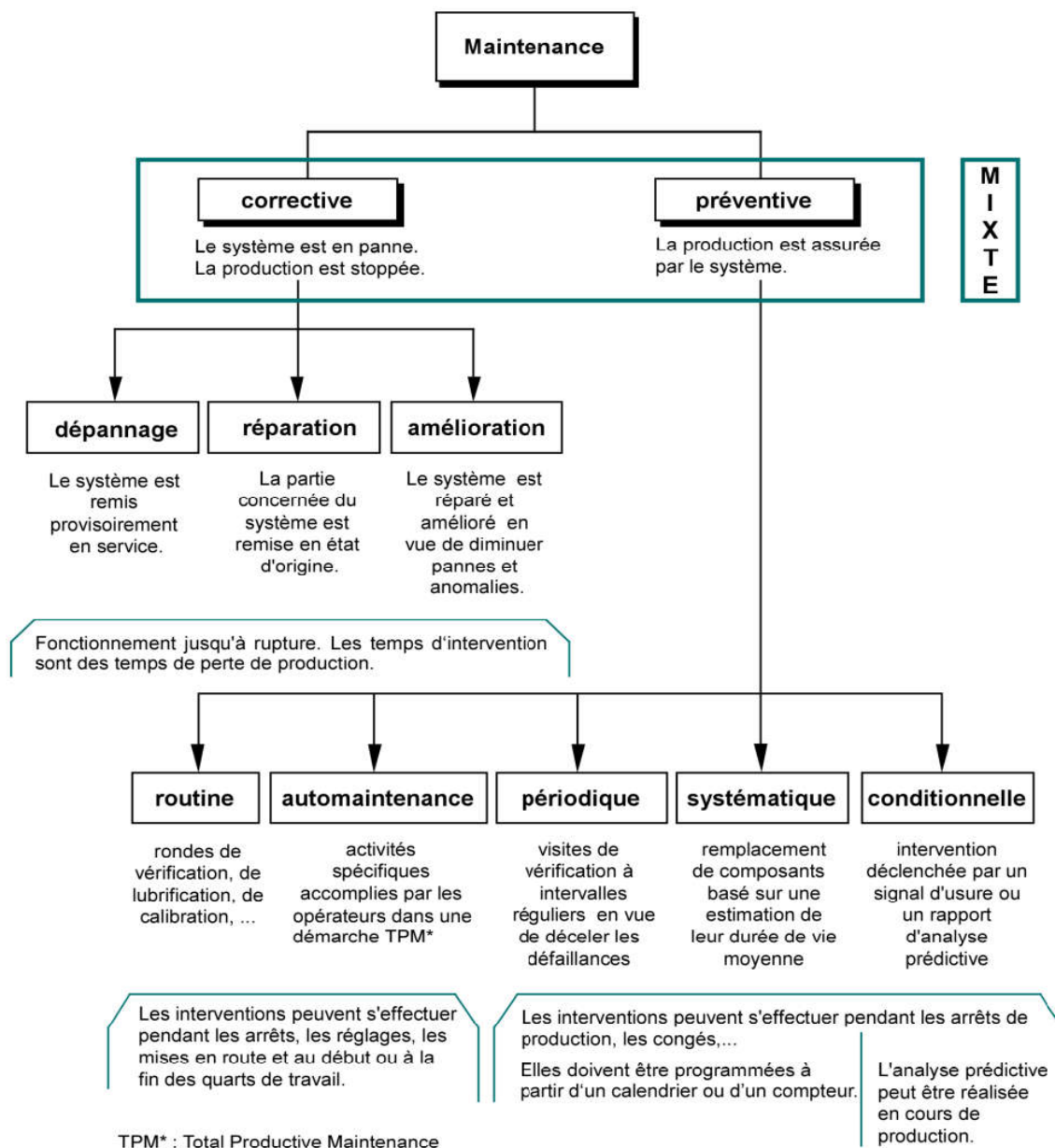


Fig I. 3: Exemple de politiques de maintenance[12].

La Figure I.3 propose d'incorporer une démarche TPM « *Total Productive Maintenance* » au sein d'un plan d'action « *terrain* ». Cette démarche est une démarche de management organisationnel, de changement de comportement et de responsabilité. Indépendante de la taille de l'entreprise, son objectif est d'amener les processus de fabrication à leur rendement maximal en tentant d'éliminer les dysfonctionnements potentiels, [12].

I.4.1. Maintenance corrective ou réactive

Dans la littérature, la maintenance corrective et la maintenance réactive sont identiques. Cette maintenance est exécutée après détection d'une panne ou d'une défaillance (Figure I.4). Elle est destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise. Pratiquement, c'est faire fonctionner sans entretien un système jusqu'à la « rupture ou la panne » de ce dernier. Nous constatons que les activités de maintenance corrective sont subies et découlent directement des conséquences de l'apparition d'une défaillance. Ces activités englobent deux types d'intervention :

- les interventions palliatives qui remettent le système en état de fonctionnement provisoire,
- les interventions curatives permettant de réparer le système d'une manière définitive. C'est une « politique de maintenance » (dépannage ou réparation) qui correspond à une réactivité, à des événements plus ou moins aléatoires et qui s'applique après la panne. C'est un choix politique de l'entreprise qui malgré tout, nécessite la mise en place d'un certain nombre de méthodes qui permettent d'en diminuer les conséquences ,[12].

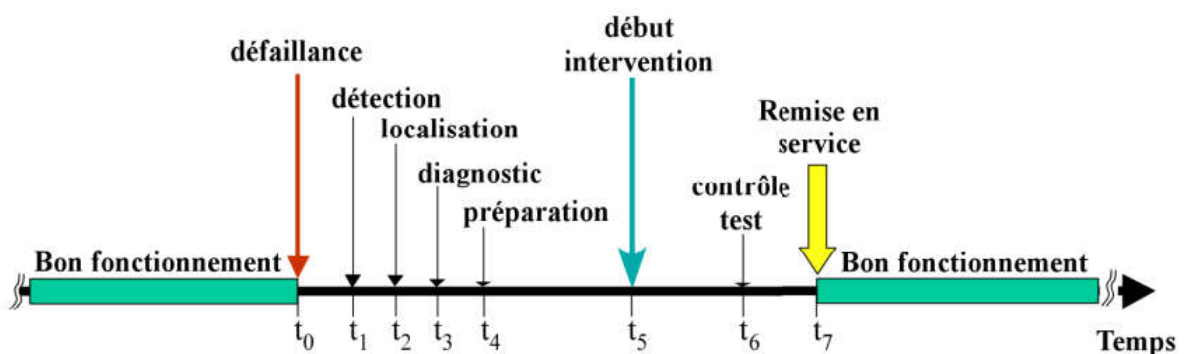


Fig I. 4: Processus de déroulement d'une maintenance corrective sur un système ou un équipement, [12].

I.4.2. Maintenance préventive

Dans une stratégie de maintenance globale, il faut tendre vers une diminution des dépannages et des réparations au profit d'activités d'amélioration mais surtout d'entretien préventif structuré. Une synthèse des politiques de maintenance préventive est donnée par Rausand et al. [13]. La maintenance préventive peut se réaliser de diverses façons et comprend généralement :

Maintenance préventive systématique,

Maintenance préventive conditionnelle,

Maintenance préventive prévisionnelle.

I.4.2.a. Maintenance préventive systématique

Lorsque la maintenance préventive est réalisée à des intervalles prédéterminés, on parle de maintenance systématique, l'opération de maintenance est effectuée conformément à un échéancier, un calendrier déterminé a priori. Aucune intervention ne peut avoir lieu avant l'échéance prédéterminée, [14]. L'optimisation d'une maintenance préventive systématique consiste à déterminer au mieux la périodicité des opérations de maintenance sur la base du temps, du nombre de cycles de fonctionnement, du nombre de pièces produites... etc

I.4.2.b. Maintenance préventive prévisionnelle

Lorsque la maintenance préventive est effectuée sur la base de l'estimation du temps de fonctionnement correct qui subsiste avant l'observation de l'événement redouté, on parle de maintenance prévisionnelle. Une maintenance prévisionnelle peut prendre en compte un âge du matériel qui n'est pas forcément calendaire mais par exemple le temps de fonctionnement mesuré depuis la dernière inspection. Cependant, la maintenance systématique est coûteuse car l'usure des pièces dépend beaucoup des conditions de fonctionnement. Elle risque donc d'intervenir trop tôt ou trop tard, [16].

I.4.2.c. Maintenance préventive conditionnelle

La norme AFNOR X 60-010 définit la maintenance conditionnelle ainsi : « les activités de maintenance conditionnelle sont déclenchées suivant des critères prédéterminés significatifs de

l'état de dégradation du bien ou du service », Donc il n'y a plus d'échéancier mais plutôt un événement, une condition, le franchissement d'un seuil, qui provoque l'intervention. Le signal peut être donné par un capteur décelant une dérive de comportement (élévation de température, modification du niveau vibratoire, fuite, usure, etc...) comme il est montré sur la (figure I.5) à tout type de système pour lequel un capteur arrive à détecter une anomalie et c'est d'ailleurs grâce au développement de la technologie de ces capteurs que cette forme de maintenance a pu faire de tels progrès ces vingt dernières années , [17]. Comme elle peut être appliquée suite d'une inspection ou d'un contrôle. Ainsi, le système n'est arrêté que lorsqu'il existe une certaine probabilité de défaillance, définie par l'analyse de niveaux d'indicateurs issus de mesures et établis en permanence au cours du fonctionnement. Cette méthode présente donc l'avantage d'éviter la surprise du disfonctionnements.

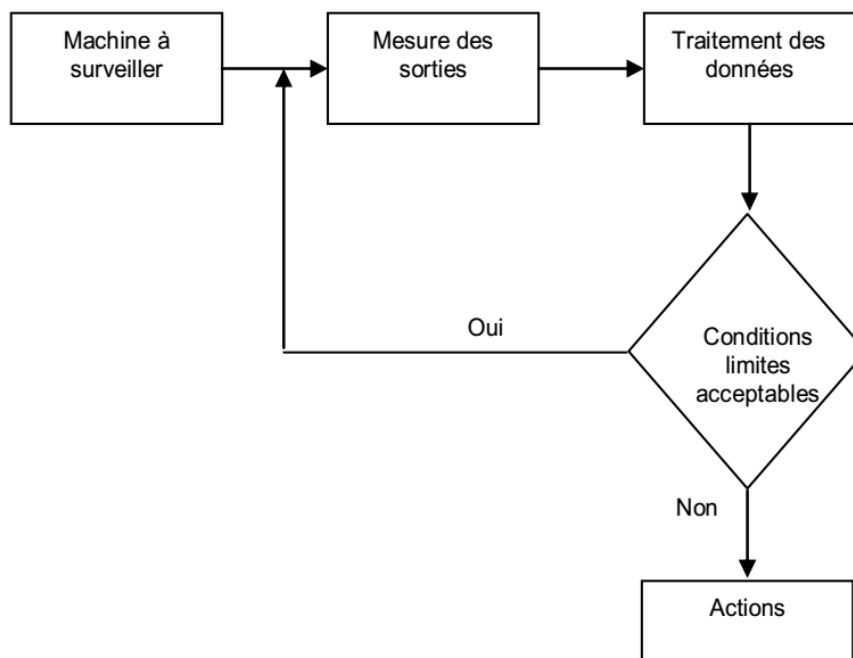


Fig I. 5: Structure de la maintenance conditionnelle, [16].

1.4.2.d. Principe de la maintenance conditionnelle

La maintenance préventive conditionnelle est définie comme étant celle que l'on réalise uniquement lorsque l'état du bien le nécessite, [18]. La conséquence immédiate est qu'il est nécessaire de savoir mettre en place des techniques de surveillance de l'état du bien (fiabilité technique et économique) et surtout d'être capable de qualifier de façon précise l'état de ce bien. Cette opération nécessite de procéder au préalable au choix d'un certain nombre d'indicateurs de surveillance, issus d'un paramètre ou d'une grandeur plus ou moins

élaborée dont l'acquisition est le plus souvent possible en fonctionnement. La (figure I.6) illustre le principe de ce type de maintenance conditionnelle, [15].

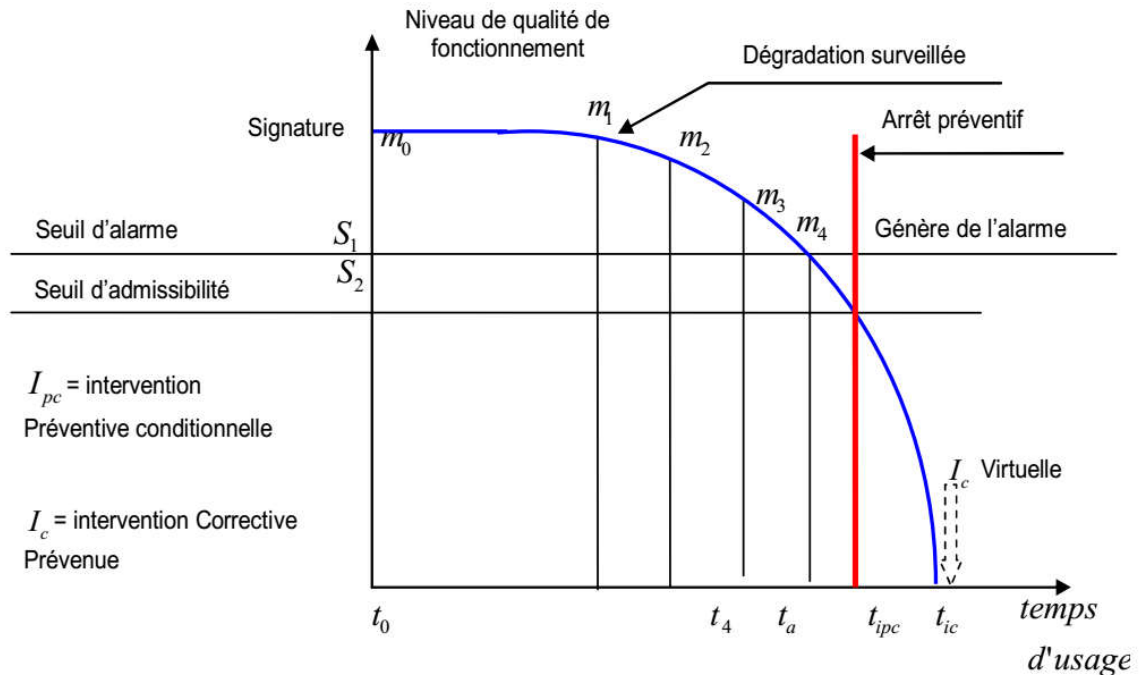


Fig I. 6: Principe de la maintenance conditionnelle,[14].

I.5. Classification des tâches de maintenance

Les tâches de maintenance sont classées en cinq niveaux. Ceux-ci font référence à la complexité des tâches à effectuer et, entre autres aux ressources matérielles nécessaires à la réalisation de chacune des tâches, [15].

• Tâches de maintenance du premier niveau

Comporte des réglages simples prévus par le constructeur au moyen d'organes accessibles sans aucun démontage ; ou échange d'éléments accessibles en toute sécurité, sans avoir la nécessité à un outillage spécifique.

• Tâches de maintenance de deuxième niveau

Comporte des opérations de dépannage par échange standard d'éléments prévus à cet effet ou opérations mineures de maintenance préventive qui peuvent nécessiter un outillage standard.

• Tâches de maintenance de troisième niveau

Nécessite une identification et un diagnostic des pannes. La réparation s'effectue toujours par un échange de composants fonctionnels et les réparations mécaniques à réaliser sont mineures. L'outillage nécessaire est courant et prévu pour ce type d'intervention. De plus des

appareils de mesure (banc d'essai, contrôle, etc...) sont nécessaires pour la remise en route correcte de l'équipement qui a nécessité l'intervention.

- **Tâches de maintenance du quatrième niveau**

Est celui des travaux importants de maintenance corrective ou préventive. Un outillage plus spécialisé est généralement requis tel que du matériel d'essai ou de test, un banc de contrôle, ...etc.

- **Tâches de maintenance du cinquième niveau**

Comporte les travaux de rénovation, de reconstruction ou réparations importantes confiés à un atelier central. Les moyens nécessaires pour effectuer ce type d'intervention sont proches de ceux qui ont été utilisés lors de la fabrication de l'équipement par le constructeur. Après avoir défini l'activité du service de maintenance dans le milieu industriel, nous allons maintenant en détailler la composition avec notamment ses ressources.

I.6. Choix des outils de surveillance

Toutes les méthodes présentées dans les paragraphes précédents, ne permettent pas de voir les mêmes types de défauts, ni de réaliser un diagnostic approfondi pour en connaître l'origine et la gravité du défaut. En effet, chaque méthode possède son champ d'application privilégié. Le (tableau I.1) montre des comparaisons entre les différentes méthodes de maintenance préventive.

Tableau. I. 1 Comparaisons entre les différentes méthodes de maintenance préventive [18]

| | Principaux avantages | Champs d'applications privilégiée | Principales limitations |
|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Analyse vibratoire | Détection des défauts à un stade précoce, possibilité de réaliser un diagnostic approfondi, autorise une surveillance continue, permet de surveiller l'équipement à distance | Détection des défauts de tous les organes cinématiques de la machine (balourd, jeux, défauts d'alignement,..) et de sa structure | spectres parfois difficiles dans le cas de surveillance continue, installations relativement coûteuses |
| Analyse d'huiles | Détection d'une pollution anormale du lubrifiant, avant que celle-ci n'entraîne une usure ou un échauffement, Possibilité de connaître l'origine de l'anomalie par analyse des particules | Contrôle des propriétés physico-chimiques du lubrifiant, détection d'un manque de lubrification, analyse des éléments d'usure, analyse de contamination par le processus (étanchéité) ... etc. | Ne permet pas de localiser précisément le défaut, Nécessite de prendre de nombreuses précautions dans le prélèvement de l'échantillon. |
| Thermographie IR | Permet de réaliser un contrôle rapide de l'installation, Interprétation souvent immédiate des résultats. | Détection de tous les défauts engendrant un échauffement (manque de lubrification en particulier). | Détection de défauts à un stade moins précoce que l'analyse vibratoire; Contrôle limité à ce que 'voit' la caméra (échauffement de surface); Ne permet pas de réaliser un diagnostic approfondi |
| Analyse acoustique | Permet de détecter l'apparition de défauts audibles, Autorise une surveillance continues | Détection d'un bruit inhabituel pouvant ensuite être analysé par analyse vibratoire | Sensibilité au bruit ambiant, Diagnostic souvent difficile à réaliser, Problèmes de répétitivité des mesures |

Tableau. I. 2 Types des maintenances

| Type | Corrective | Systématique | Conditionnelle |
|---------------------------|---------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Conditions d'intervention | Fonctionnement jusqu'à la rupture | Basée sur l'estimation de la durée de vie moyenne du composant | Intervention conditionnée par la dérive d'un paramètre significatif |
| Aide au diagnostic | Les outils utilisés ne servent qu'à déterminer la cause de la panne | Ajuster les échéanciers en fonction des états d'usure constatés | Analyse de l'évolution des paramètres de fonctionnement et le diagnostic sur l'origine du défaut |
| Application | Machines doublées, panne acceptable et imprévisible | Graissage, petites pièces et impossibilité d'obtenir des mesures fiables | Machines stratégiques, à problème et risque de panne dangereuse |
| Durée de vie d'un organe | Rupture | Remplacement | Détection de défaut, analyse de tendance et réparation programmée |
| Coûts | Coûte cher en perte de production et en sécurité | Coûte cher en matériel | Optimise les coûts des matériels au plus près de la rupture et augmente la productivité par la programmation des arrêts nécessaires |

I.7. Sûreté de Fonctionnement

Le fonctionnement d'une entité est le succès de la « mission » qui lui a été assignée. Souvent on parle de « fonction requise » qui se définit selon la norme CEI 50(191) (CEI 50(191), 1990) comme une fonction ou un ensemble de fonctions d'une entité dont l'accomplissement est considéré comme nécessaire pour la fourniture d'un service donné, [19].

I.7.1. Fiabilité

Se définit par l'aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise dans des conditions d'utilisation et pour une période de temps déterminée, [20]. D'un point de vue probabiliste,

Types des maintenances la fiabilité est la probabilité pour qu'une entité remplisse une fonction requise dans des conditions définies et pendant une période précise, [21] :

$R(t) = \text{Probabilité } \{E \text{ soit non défaillante sur } [0, t]\}$

1.7.1.a. Différents types de fiabilité

Fiabilité opérationnelle: (observée ou estimée) déduite de l'analyse d'entités identiques dans les mêmes conditions opérationnelles à partir de l'exploitation d'un retour d'expérience.

Fiabilité prévisionnelle : (prédite) correspondant à la fiabilité future d'un système et établie par son analyse, connaissant les fiabilités de ses composants.

Fiabilité extrapolée : déduite de la fiabilité opérationnelle par extrapolation ou interpolation pour des conditions ou des durées différentes.

Fiabilité intrinsèque ou inhérente : qui découle directement des paramètres de conception. Sans modification de conception des entités, il n'est pas possible d'obtenir un niveau de fiabilité au plus égal à la fiabilité intrinsèque, [22].

1.7.1.b. Analyse de la fiabilité

Selon la loi de Weibull qui est une loi continue à être utilisée le long du cycle de vie d'un matériel, les fonctions de la fiabilité dépendent de trois paramètres: β , γ , η Caractérisent ce modèle.

- **Densité de probabilité**

Elle caractérise la probabilité de panne juste à temps.

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left[\frac{t-\gamma}{\eta} \right]^{\beta-1} e^{-\left[\frac{t-\gamma}{\eta} \right]^\beta} \quad (1.1)$$

- **Fonction de répartition**

Elle représente la probabilité des pannes cumulée de défaillance entre 0 et t

$$F(t) = 1 - e^{-\left[\frac{t-\gamma}{\eta} \right]^\beta} \quad (1.2)$$

- **Taux de défaillance**

C'est la probabilité instantanée d'une panne au temps $(t + \Delta t)$, sachant que mon dispositif est bon à l'instant t.

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\beta}{\eta} \left[\frac{t-\gamma}{\eta} \right]^{\beta-1} \quad (1.3)$$

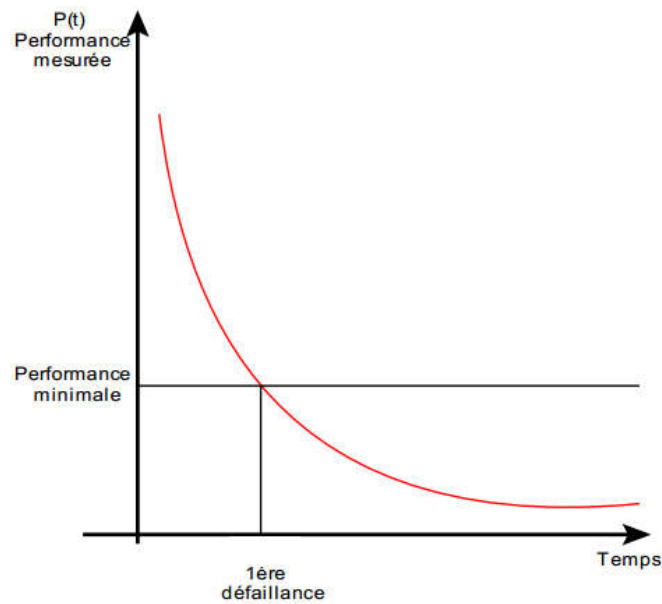


Fig I. 7: Performance et défaillance d'un dispositif[23]

- **Moyen des temps de bon fonctionnement MTBF**

C'est la racine de temps de bon fonctionnement [MTBF] divisée par le nombre des pannes.

$$MTBF = \gamma + A \eta$$

1.7.1.c. Signification des différents paramètres

- **Paramètre de forme β**

Ce paramètre donne l'allure de la distribution des défaillances, il est sans dimensions

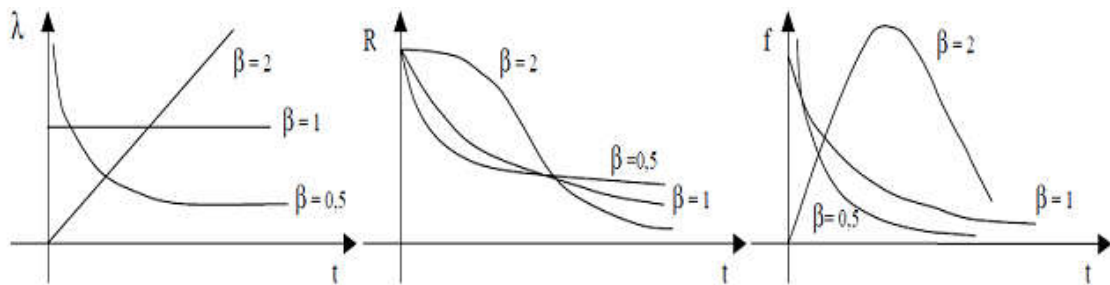


Fig I. 8: Les trois périodes de la courbe en baignoire avec différentes valeurs de β . [22]

$\beta < 1$:

Correspond à la zone décroissante de la courbe, c'est la période de mise en place de rodage de l'installation (période de jeunesse).

$\beta = 1$:

Correspond à la zone où le taux de défaillance est pratiquement constant, c'est la période de défaillance aléatoire qui ne présente généralement avec un symptôme de dégradation préalable (vie utile). C'est la période la plus longue

$\beta > 1$:

Correspond à la zone croissante rapide, c'est la période de vieillesse provoqué par l'usure mécanique

- **Paramètre de position γ**

Son unité est celle de la variable, il explique la survie du lot

Si $\gamma < 0$ dès la réception du matériel, il y a défaillance.

Si $\gamma > 0$ il y a survie totale du lot.

- **Paramètre d'échelle η**

En unité de temps qui est associé à l'échelle utilisée sur le graphe d'ALAIN PLATT.

Ce dernier qui est en papier de WEIBULL utilise la méthode graphique pour l'estimation des Paramètres de cette loi. Il est gradué comme suit :

- En abscisse: $\ln(t)$

- En ordonnées : $\ln\left(\ln\left(\frac{1}{1-F(t)}\right)\right)$

1.7.1.d. Courbe de défaillance

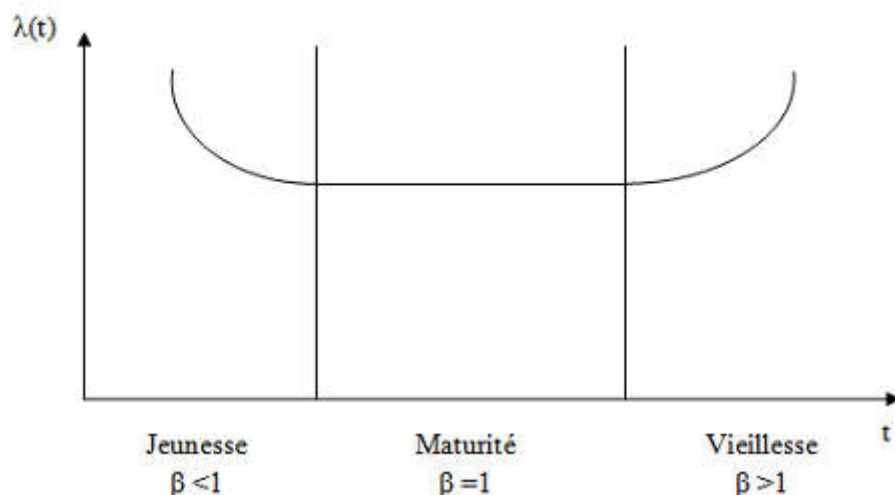


Fig I. 9: Allure d'un taux de défaillance « en baignoire », [22].

I.7.2. Maintenabilité

Dans des conditions données d'utilisation, est l'aptitude d'une entité à être maintenue ou rétablie sur un intervalle de temps donné, dans un état dans laquelle elle peut accomplir une fonction requise lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données avec des procédures et des moyens prescrits, [24].

soit, $M(t) = 1 - \text{Probabilité \{E soit non réparée sur } [0, t[\}$

La fonction maintenabilité est la probabilité pour qu'un dispositif soit réparé avant (t).

$$M(T) = 1 - e^{-\mu.t}$$

$M(t)$: est constant alors μ : taux de réparation

I.7.3. Disponibilité

est l'aptitude d'une entité, sous les aspects combinés de sa fiabilité, de sa maintenance et de l'organisation de sa maintenance, à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions de temps données, [20] .

$A(t) = \text{Probabilité \{E soit non défaillante à l'instant t\}$.

I.7.3.a. Sortes de la disponibilité

Disponibilité intrinsèque

Cette disponibilité est évaluée en prenant en compte les moyennes des temps de bon fonctionnement et les moyennes des temps de réparation.

$$D_i = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

Disponibilité instantanée

C'est la probabilité pour qu'un dispositif puisse accomplir une fonction requise dans des conditions données et une instants donnée, [13].

$$D(t) = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} + \frac{\mu}{\lambda + \mu} e^{-(\lambda + \mu)t}$$

Avec :

μ : Taux de réparation, λ : Taux de défaillance.

I.7.4. Sécurité

Bien que la norme [CEI 50 (191), 1990] n'intègre pas la sécurité comme composant de la sûreté de fonctionnement, nous considérons qu'il est important de la prendre en compte car l'occurrence d'un événement catastrophique met en péril la vie humaine.

En fait, le concept de sécurité est probablement le plus difficile à définir et à évaluer, car il englobe des aspects très divers. Cependant, la norme [EN 292 – 1, 1991] sur la sécurité des machines donne cette définition :

Aptitude d'une machine à accomplir sa fonction, à être transportée, installée, mise au point, entretenue, démontée et mise au rebut dans les conditions d'utilisation normales spécifiées dans la notice d'instructions, sans causer de lésions ou d'atteinte à la santé.

La sécurité peut également s'exprimer sous forme d'une probabilité que le système évite de faire apparaître, dans des conditions données, des événements critiques ou catastrophiques (Villemeur, 1988). Si on considère que les défaillances d'un système se partagent en deux catégories, celles qui sont dangereuses et celles qui ne le sont pas, la sécurité peut être considérée comme la part de la fiabilité relative aux défaillances dangereuses. Ce concept peut devenir prépondérant dans une analyse de sûreté de fonctionnement, dans la mesure où une défaillance du système peut présenter un risque de dommage corporel à l'encontre des usagers. [25]

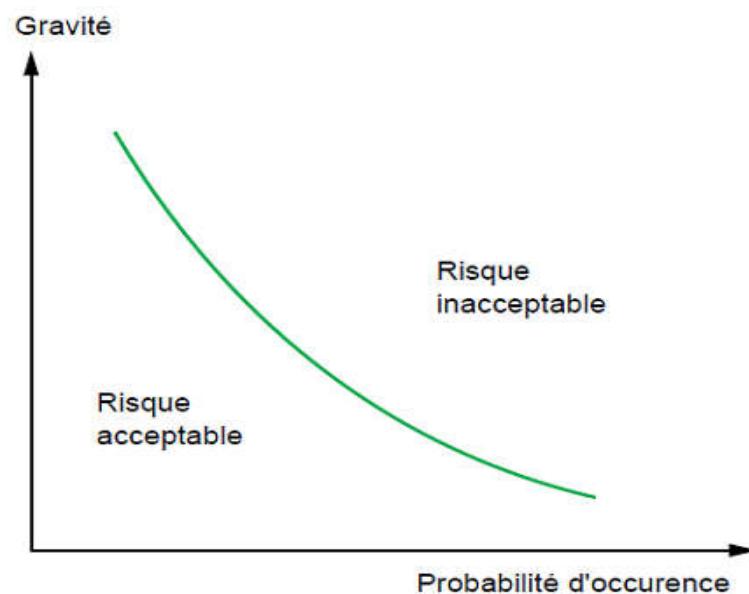


Fig I. 10: Le niveau de risque est fonction du couple : gravité, probabilité d'occurrence, [26]

La Sécurité, se définit par l'aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise dans des conditions données sans provoquer d'événement catastrophique [24] :

$S(t)$ = Probabilité {E soit sans défaillance catastrophique sur $[0,t]$ }

Les grandeurs caractéristiques de la sûreté de fonctionnement sont régies par un certain nombre d'interactions (Figure 1.1).

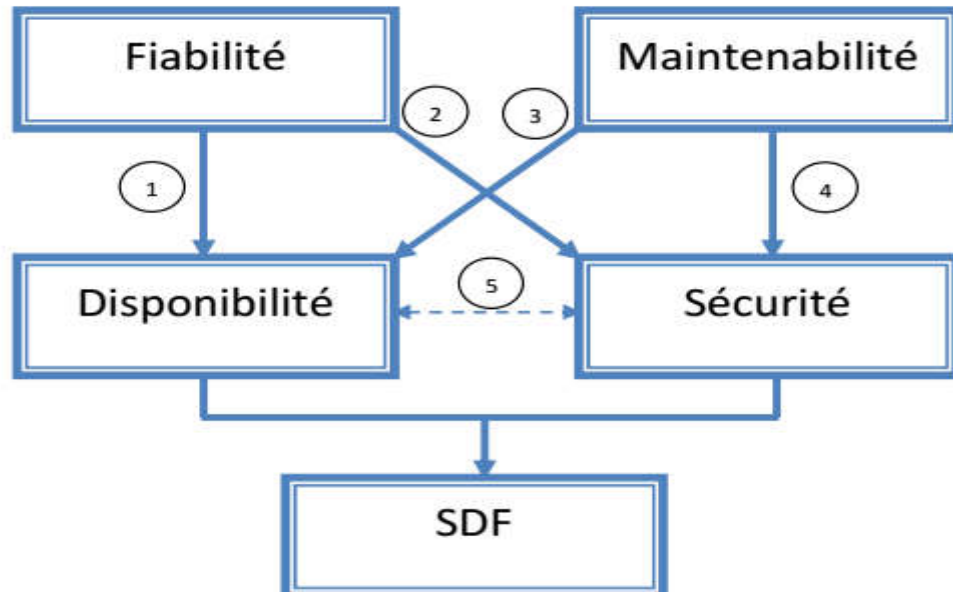


Fig I. 11: Les interactions entre les grandeurs de la Sûreté De fonctionnement (SDF), [27].

La Figure I.11 montre que :

- une mauvaise fiabilité peut impliquer une mauvaise disponibilité du système dans le cas d'une forte fréquence de défaillances (interaction 1).
- une mauvaise fiabilité peut impliquer une mauvaise sécurité car il est statistiquement prouvé que l'occurrence d'accident est souvent liée à l'apparition d'une défaillance du système (interaction 2).
- une mauvaise maintenabilité peut impliquer une mauvaise disponibilité puisque qu'elle provoque une augmentation du nombre de défaillances (interaction 3);
- une mauvaise maintenabilité peut impliquer une mauvaise sécurité. En effet, de même que pour la fiabilité, les statistiques montrent que l'occurrence d'accident est également liée à l'apparition d'une défaillance du système (interaction 4);
- des contraintes élevées en matière de sécurité conduisent à une mauvaise disponibilité (interaction 5). [27].

I.8. Défaillance

D'après la norme AFNOR 60010X : une défaillance est l'altération ou la cessation de l'aptitude d'un ensemble à accomplir sa ou ses fonctions requises avec les performances définies dans les spécifications techniques.

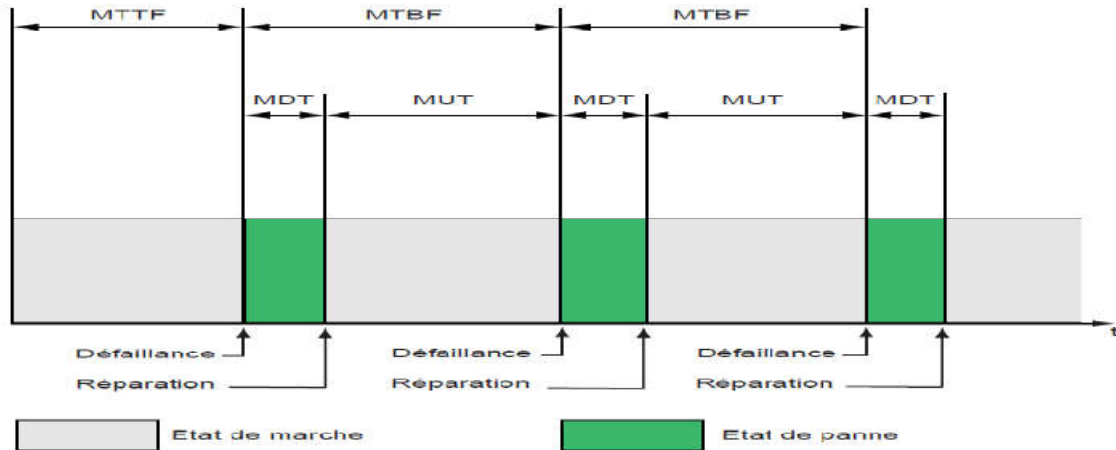


Fig I. 12: Diagramme des temps moyens, [26].

Les différents temps caractérisant la Sdf se définissent en fonction de leur état de fonctionnement : avant défaillance, entre défaillance, entre défaillance et réparation, etc. Ces temps dépendent des probabilités d'occurrences des divers événements comme les défaillances et les réparations des composants. Ce sont des variables aléatoires que l'on cherche à caractériser par leurs espérances mathématiques, [26].

[28] et [29] présentent quelques temps caractérisant de la Sdf. De même, ils présentent aussi, au moyen d'un graphique, la relation existant entre eux.

Cependant, la norme [CEI 50 (191), 1990] présentent les définitions d'une façon plus fines par rapport aux autres auteurs :

- **MTTF** (mean time to failure) : durée moyenne de fonctionnement avant défaillance, espérance mathématique de la durée de fonctionnement avant défaillance. La définition du MTTF est :

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

- **MTBF** (mean time between failures) durée moyenne entre deux défaillances consécutives d'une entité réparée.

- **MRT** (mean repair time) durée moyenne de réparation, espérance mathématique de la durée du temps de réparation.

- **MTTR** (mean time to repair or restoration) durée moyenne de panne ou moyenne des temps pour la remise en état de fonctionnement, espérance mathématique de la durée de panne.

- **MUT** (mean up time) ou TMD temps moyen de disponibilité, espérance mathématique de la durée de disponibilité.

- **MDT** (mean down time) ou TMI temps moyen d'indisponibilité, espérance mathématique de la durée d'indisponibilité.

I.9. Méthodes d'analyse de la sûreté de fonctionnement

Une analyse prévisionnelle de sûreté de fonctionnement est un processus d'étude d'un système réel de façon à produire un modèle abstrait du système relatif à une caractéristique de sûreté de fonctionnement (fiabilité, disponibilité, maintenabilité, sécurité). Les éléments de ce modèle seront des événements susceptibles de se produire dans le système et son environnement, tels par exemple :

des défaillances et des pannes des composants du système,

des événements liés à l'environnement,

des erreurs humaines en phase d'exploitation.

Le modèle permet ainsi de représenter toutes les défaillances et les pannes des composants du système qui compromettent une des caractéristiques de SDF.

An aidant l'analyste, plusieurs méthodes d'analyse ont été mises au point. Les principales sont:

I.9.1. L'Analyse préliminaire de Risques (APR)

L'Analyse Préliminaire de Risques est la première étape de la politique de gestion de risques, l'Analyse de la Valeur étant considérée comme une phase d'étude et non d'analyse de risques.

C'est une analyse déductive dont les objectifs sont :

de forcer le projet à pratiquer une décomposition fonctionnelle de base, de tout le concept de l'instrument, y compris les softs, pendant la phase de design,

l'identification des erreurs et des non-conformités de design en comparaison aux spécifications d'origine,

l'identification très tôt dans le déroulement du projet, des modes de pannes possibles et en particulier des pannes à effet catastrophique sur le système, ces dernières sont traitées en priorité,

l'apport de modifications pour réduire le nombre d'éléments critiques et, plus généralement, pour réduire les risques de pannes,[30].

I.9.2. Réseaux de pétri (RDP)

Un réseau de Pétri est constitué de places, transitions et arcs, qui vont représenter successivement les propriétés du système à modéliser lors de ses changements d'état, à travers les relations place/transition.

Couplés à la simulation de Monte Carlo, ils permettent d'évaluer la fiabilité et la disponibilité de systèmes divers et notamment dans le domaine de l'automatique et de la productique en considérant des transitions déterministes ou aléatoires.

Le pouvoir de modélisation de cette méthode est très riche, mais demande en contrepartie une grande maîtrise du processus de modélisation de la part de l'analyste qui doit en être expert, [31].

Modèle RdP de référence du module machine

Une machine M_1 (figure I.13) puisant les pièces à usiner dans un (ou plusieurs) stock(s) amont(s), et déposant les pièces finies dans un (ou plusieurs) stock(s) aval(s) est caractérisée par quatre paramètres : le taux moyen de chargement (ϵ_i), le taux moyen de service (δ_i), le taux moyen de panne (λ_i), et le taux moyen de réparation (μ_i). Ce sont des paramètres de loi de probabilités distribuées exponentiellement, [31].

I.9.3. Analyse des Modes de Défaillances de leur Effets et de leur Criticité (AMDEC)

L'AMDEC est une analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité. C'est une technique d'analyse qui part de l'examen des causes possibles de défaillance des éléments d'un système pour aboutir aux effets de ce système. Cette méthode peut s'appliquer à un produit, mais aussi à un procédé ou à un moyen de production. [31].

L'Analyse des Modes de Défaillance de leurs Effets et de leur Criticité, (AMDE) est une méthode d'analyse systématique des causes et des effets des défaillances pouvant affecter les composants d'un système. L'AMDEC est l'extension de l'AMDE à l'analyse de criticité. Cette analyse permet de déterminer l'importance de chaque mode de défaillance compte tenu de son influence sur le comportement normal du système et d'évaluation impact sur la fiabilité et la sécurité du système. On peut ainsi éviter des modifications coûteuses en détectant les faiblesses de la conception

Vis-à-vis des exigences de sûreté de fonctionnement, et en proposant des mesures pour y remédier le plus tôt possible. L'AMDE(C) peut être réalisée au niveau fonctionnel (décomposition en fonctions élémentaires), ou structurel (décomposition en composants matériels ou logiciels).

Permet de recenser les défaillances des composants dont les conséquences affectent le fonctionnement du système.

Méthodologie

L'AMDEC se pratique, comme l'Analyse de la Valeur, en groupe de travail dirigé par un animateur.

La méthode comprend 4 étapes que l'on va retrouver dans le formalisme [32] :

une revue aussi détaillée que possible, à partir de l'APR, des possibilités de pannes (dégradation dans le temps ou rupture brutale) pour chaque fonction de l'équipement et des interfaces, pour chaque panne identifiée, détermination des **causes** et des **effets** (dommages et interférences) sur les autres sous-systèmes en terme de « *sévérité* » .

la détermination des moyens de détection et de recouvrement de la fonction en question, des propositions d'action pour supprimer la panne.

I.9.4. Méthode des arbres de défaillances (ADD)

Est une analyse déductive qui permet de représenter graphiquement les combinaisons d'événements élémentaires qui conduisent à la réalisation d'un événement redouté. L'arbre de fautes, dont la racine correspond à l'événement redouté pour lequel on cherche à évaluer la probabilité d'occurrence, est formé de niveaux successifs tels que chaque événement soit généré à partir des événements du niveau inférieur par l'intermédiaire d'opérateurs logiques (OU, ET). La décomposition s'arrête au niveau des événements élémentaires, caractérisés par le fait qu'ils sont indépendants entre eux ou que leurs probabilités peuvent être estimées ou qu'on ne désire pas les décomposer en éléments plus simples.

L'analyse peut être uniquement qualitative, par recherche systématique des combinaisons minimales de défaillances entraînant l'apparition de l'événement redouté (coupes minimales) afin d'identifier les chemins les plus critiques, et donc d'identifier les points faibles du système, ou quantitative ; dans ce cas, on assigne à chaque événement de base une indisponibilité pour effectuer le calcul de la valeur d'indisponibilité de l'événement redouté. [32]

I.9.5. Blocs Diagrammes de Fiabilité (BDF) :

Le BDF est une représentation des éléments qui participent à la réalisation des diverses fonctions d'un produit, sous la forme de blocs rectangulaires, en série ou parallèle, liés entre eux. Le fonctionnement est assuré tant que la chaîne n'est pas rompue par la défaillance de certains blocs. La fiabilité de la chaîne est calculée et différentes redondances sont simulées pour augmenter sa fiabilité.

Les types de redondances sont :

la redondance active M parmi N : les N éléments en redondance fonctionnent simultanément, sachant que seulement M éléments sont nécessaires pour assurer le service attendu.

la redondance passive M parmi N : M-N éléments sont des éléments de rechange.

les redondances chaude/froide : Elles caractérisent l'état énergétique d'un système.

le cross-strapping : qui partage les circuits en éléments redondés individuellement. Simple en apparence, en fait, il introduit le ralentissement des informations et des risques de non-fonctionnement qui sont liés à l'activation du commutateur.

Limite de la méthode : La BDF est une méthode simple, dont la symbolique s'est récemment enrichie pour tenir compte des taux de réparation après panne, des taux d'utilisation pour les éléments actifs, de ressources supplémentaires quand la redondance est activée. La modélisation

doit se faire avec soin pour tenir compte à la fois des pannes dites « Avant » qui sont des fonctionnements intempestifs et des pannes « Retard » ou absence de fonctionnement.

I.9.6. Graphe de Markov :

Le traitement du graphe consiste à calculer le vecteur probabilité de trouver les différents états du système à t. Il est utilisé pour décrire le comportement dynamique d'un produit par la représentation matricielle des états du système.

Cette méthode est maintenant combinée avec la précédente dans des logiciels de simulation. Cependant dans ce cas, il faut que les taux de transition entre états soient constants, ce qui exclut le fonctionnement quand le taux de pannes varie avec le temps (jeunesse des dispositifs ou fin de vie avec usure).[30]

I.9.7. Simulation de Monte-Carlo :

Elle est utilisée en SdF quand un système s'avère trop complexe pour pouvoir être traité par les deux méthodes précédentes combinées. Son principe consiste à simuler un grand nombre de fois le comportement dynamique des composants d'un système afin d'évaluer ses caractéristiques de fonctionnement, en reconstituant l'état total.[33]

Les inconvénients :

- la précision est liée au nombre de simulations effectuées,
- le traitement est long et peut difficilement s'appliquer aux évènements rares
- la méthode peut faire l'objet de développements logiciels spécifiques contrairement aux méthodes précédentes qui utilisent des logiciels du commerce.

I.10. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons traité les concepts de base de la maintenance et de SdF, ainsi que les différentes stratégies et politiques de maintenance dans les entreprises. Nous avons présenté les définitions de base et en particulier les méthodes d'analyse de la sûreté de fonctionnement; ainsi que les différents niveaux de maintenance appliquées aux milieux industriels.

Pour atteindre les objectifs de maintenance des processus industrielles, en utilise les outils d'analyse de la sûreté de fonctionnement parmi ces derniers, les réseaux de files d'attente qui sont le sujet du chapitre suivant.

Chapitre II Généralités sur les files d'attente

Chapitre II. Généralités sur les files d'attentes

II.1. Introduction

Le problème des files d'attente est constaté couramment dans notre vie quotidienne : en bus, en supermarché, chez un médecin,, etc.

Ce phénomène a lieu dans les étapes suivantes :

- Un ensemble d'individus, qu'on appelle clients, viennent suivant un processus quelconque (le plus souvent aléatoire) acquérir un service auprès d'un notre individu dit serveur.

- Le processus d'attente, ou la constitution de la file commence à se manifester dès que le taux des arrivées excède le taux de service (par taux, on entend le nombre moyen des clients arrivants ou servis par unité de temps).

- La file d'attente peut ne pas se manifester de façons : on peut parler d'une file des machines en panne dans un atelier qui attendent la préparation, ou d'une file des bateaux qui attendent le déchargement devant un quai, ou aussi d'un ensemble des programmes qui attendent l'acquisition d'une composante de la machine,.....etc.

Remarquons que le processus ainsi décrit est un processus stochastique, car on ne peut connaître à l'avance ni le temps d'arrivée d'un client, ni la durée de service qu'il demandera.

II.2. Origine de la théorie des files d'attente

La théorie des files d'attente fut développée pour fournir des modèles permettant de prévoir le comportement des systèmes répondant à des demandes aléatoires.

Les premiers problèmes étudiés concernaient la congestion du trafic téléphonique (Erlang, « the théorie of probabilités and téléphone conversations », 1909) , Erlang constata qu'un système téléphonique peut être modélisé par des arrivées des clients poissonniennes et des temps de service exponentiels, [34].

Un système des files d'attente pourrait-être représenté par la figure suivante :

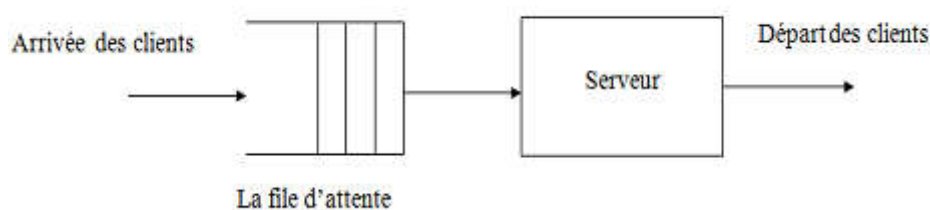


Fig II. 1 Système à un seul serveur, [35] .

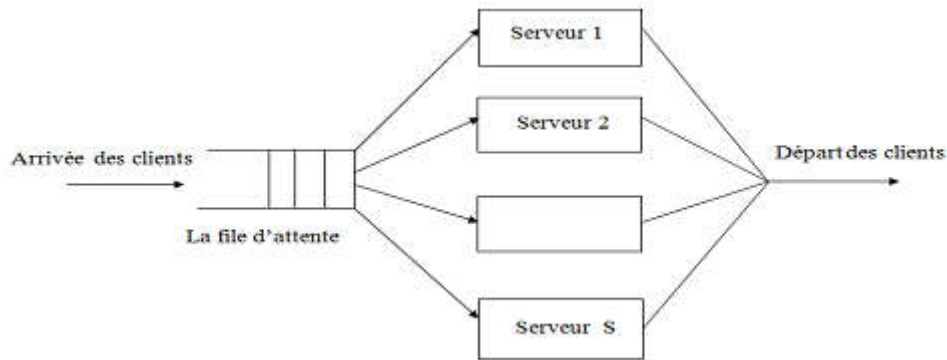


Fig II. 2 Système multiserveurs (S serveur en parallèles) ,[35].

Remarque

Les deux files d'attente schématisées ne sont pas les seuls types de files qu'on rencontre dans ce domaine, mais il en existe plusieurs.

Remarquons d'autres parts, que dans un processus de files d'attente, si le client arrive et trouve le serveur occupé, il joint la file associée à ce serveur. A un certain moment, le client est sélectionné pour être servi suivant une règle dite politique ou discipline de service. Le service attendu est alors fourni et le client quitte le système.

Dans les systèmes de files d'attente, on distingue les systèmes ouverts où aucune restriction sur la taille de la file n'est imposée ; et les systèmes fermés où seul un nombre limité de clients est autorisé à séjourner dans la file.

II.3. Pourquoi y a-t-il de l'attente

Il est surprenant d'apprendre que des files d'attente se forment même dans les systèmes non congestionnés. L'expression clé est « en moyenne ». Le problème vient du fait que les arrivées des clients ont lieu à intervalles aléatoire plutôt qu'à intervalles fixe. De plus, certaines commandes requièrent un temps de traitement plus long. En d'autres termes, les processus d'arrivée et de service ont un degré de variabilité élevé. Par conséquent, le système est soit temporairement congestionné, ce qui crée des files d'attente, soit vide, parce qu'aucun client ne se présente, [36].

II.4. L'objectif de l'analyse des files d'attentes

L'objectif de l'analyse des files d'attente est de minimiser le coût total, qui équivaut à la somme de deux coûts : le coût associé à la capacité de service mise en place (coût de service) et le coût associé à l'attente des clients (coût d'attente). Le coût de service est le coût résultant du maintien d'un certain niveau de service, par exemple le coût associé au nombre de caisses dans un

supermarché, au nombre de réparateurs dans un centre de maintenance, au nombre de guichets dans une banque, au nombre de voies d'une autoroute, etc. En cas de ressources inoccupées, la capacité est une valeur perdue, car elle est non stockable. Les coûts d'attente sont constitués des salaires payés aux employés qui attendent pour effectuer leur travail (mécanicien qui attend un outil, chauffeur qui attend le déchargement du camion, etc.), du coût de l'espace disponible pour l'attente (grandeur de la salle d'attente dans une clinique, longueur d'un portique de lave-auto, kérosène consommé par les avions qui attendent pour atterrir) et, bien sûr, du coût associé à la perte de clients impatients qui vont chez les concurrents.

En pratique, lorsque le client est externe à l'entreprise, le coût d'attente est difficile à évaluer, car il s'agit d'un impact plutôt que d'un coût pouvant être comptabilisé. Cependant, on peut considérer les temps d'attente comme un critère de mesure du niveau de service. Le gestionnaire décide des temps d'attentes acceptables, « tolérables », et il met en place la capacité susceptible de fournir ce niveau de service.

Lorsque le client est interne à l'entreprise les clients sont les machines et les commis, l'équipe d'entretien, on peut établir directement certains coûts se rapportant au temps d'attente des clients(machines). Par ailleurs, il ne faut pas conclure trop rapidement que pour l'entreprise, le coût du temps d'attente d'un employé qui attend est égal à son salaire durant le temps d'attente ; cela impliquerait que la baisse nette des gains de l'entreprise, du fait de l'inactivité d'un employé, est égale au salaire de ce dernier, ce qui, a priori, n'est pas évident. L'employé, qu'il travaille ou qu'il attende, reçoit le même salaire. Par contre, sa contribution aux gains de l'entreprise est réellement perdue, car la productivité baisse. Quand un opérateur de machine est inactif parce qu'il attend, sa force productive (qui peut comprendre, outre son salaire, une proportion des coûts fixes de l'entreprise) est perdue. En d'autres termes, il faut tenir compte non pas de la ressource physique en attente, mais plutôt de la valeur (coût) de toutes les ressources économiques inactives, et évaluer ensuite la perte de profit à partir de la perte de productivité.

L'objectif de l'analyse des files d'attente est de trouver un compromis entre le coût associé à la capacité de service et le coût d'attente des clients. La figure II.4 illustre bien ce concept. Notez que lorsque la capacité de service augmente, le coût de service augmente. Par souci de simplicité, nous avons illustré un coût de service linéaire. Cela n'affecte en rien la démonstration. Lorsque la capacité de service augmente, le nombre de clients en attente et le temps d'attente tendent à diminuer, donc les coûts d'attente diminuent. Le coût total (la somme des coûts de service et d'attente) est représenté sur le graphique par une courbe en forme de U. Graphiquement, il suffit de déterminer le niveau de service se traduisant par le coût total minimum. (Contrairement

au modèle de la quantité économique utilisé dans la gestion des stocks, le minimum n'est pas nécessairement atteint au point d'intersection de la droite et de la courbe.)

Dans le cas d'une clientèle externe à l'entreprise, les files d'attente donnent une image négative de la qualité du service offert. Dans cette situation, les entreprises auront tendance à augmenter la rapidité du service plutôt que d'augmenter le nombre d'employés. Le fait d'abaisser le coût d'attente aura pour effet de déplacer vers le bas la courbe en U, qui représente le coût total [36].

II.5. les caractéristiques du système des files d'attentes

Dans le cadre de la théorie des files d'attentes, on a conçu plusieurs modèles d'analyse. Le succès de l'analyse des files d'attente repose surtout sur le choix du modèle approprié. Plusieurs caractéristiques sont à prendre en considération :

- 1) La population.
- 2) Le nombre de serveurs.
- 3) Les tendances quant à l'arrivée et au service.

L'ordre de traitement des clients. L'illustre un système de file d'attente.

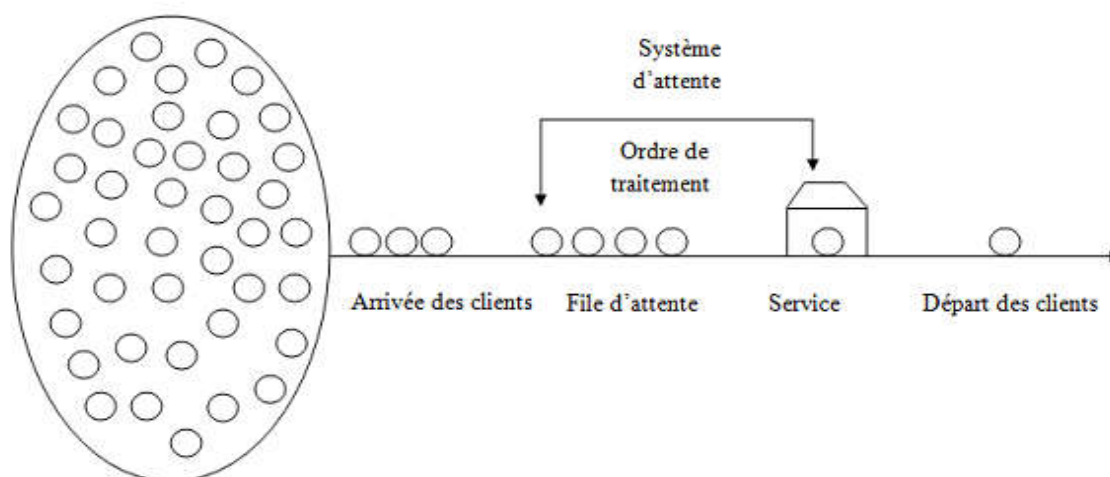


Fig II. 3 Système de file d'attente simple [36].

II.5.1. La population

La population c'est la source des clients potentiels : il y a deux situations possibles. Dans le premier cas, la population est infinie, c'est-à-dire que le nombre potentiel des clients est infiniment grand en tout temps. C'est le cas des clients des supermarchés, des banques, etc. De plus, les clients proviennent de toutes les régions possibles. Dans la deuxième situation, la population est finie, ce qui signifie que le nombre des clients potentiels est limité,[36].

II.5.2. Le nombre de serveur

La capacité de service dépend de la capacité de chaque serveur et du nombre de serveurs disponibles. Le terme « serveur » représente ici la ressource, et en général, on suppose qu'un serveur ne traite qu'un client à la fois.

Les systèmes des files d'attente fonctionnent avec serveur unique ou serveurs multiples (plusieurs serveurs travaillant en équipe constituent un serveur unique, par exemple une équipe chirurgicale).

Les exemples des systèmes des files d'attente avec serveur unique sont nombreux : les petits magasins avec une seule caisse, tels que les dépanneurs, certains cinémas, certains lave-autos et établissements de restauration rapide avec guichet unique. Les systèmes à multiples serveurs sont les banques, les billetteries d'aéroports, les garages et les stations -service.

II.5.3. Les tendances quant à l'arrive et au service

Les files d'attente résultent de la variabilité des tendances d'arrivée et de service. Elles se forment parce que le degré élevé de variation dans les intervalles entre les arrivées et dans les temps de service cause des congestions temporaires. Dans plusieurs cas, on peut représenter ces variations par des distributions théoriques des probabilités. Dans les principaux modèles utilisés, [35].

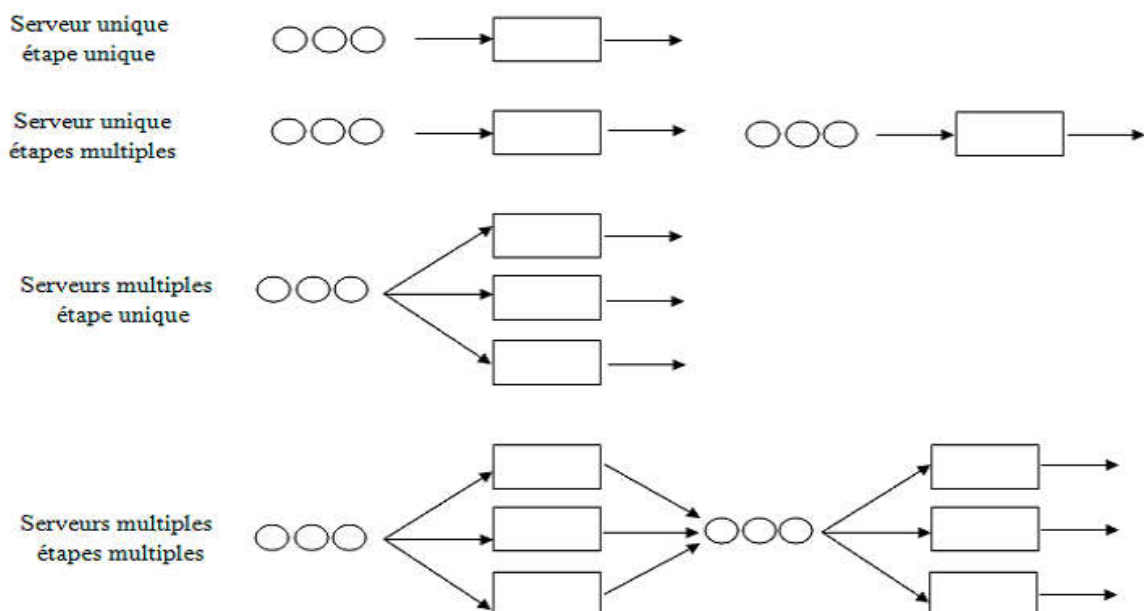


Fig II. 4 Illustration des deux distributions, [34].

II.5.4. Les clients

C'est l'ensemble des objets ou personnes qui arrivent dans le processus, attendent s'il y a lieu, sont traités et repartent, [37].

II.5.5. Les instants d'arrives

C'est l'instant où les clients arrivent dans la file. Les intervalles entre ces instants sont appelés inter arrivées.

II.5.6. La station

C'est chacun des serveurs installés dans le cadre de service.

II.5.7. La file d'attente

C'est l'ensemble des individus qui dans un contexte donné attendent d'être servis à l'exclusion de ceux qui sont en train de se faire servir.

II.5.8. Le service

Le service est le fait de s'acquitter de ces obligations envers un employeur.

II.5.9. Le temps de service

C'est le temps séparant le moment où un client commence à être servi, du moment où il finit d'être servir.

II.5.10. Le temps d'attente

Le temps pendant lequel un client est obligé d'attendre dans la file avant de se faire servir, [37].

II.6. File d'attente simple

Une file simple (ou station) est un système constitué d'un ou plusieurs serveurs et d'un espace d'attente. Les clients arrivent de l'extérieur, patientent éventuellement dans la file d'attente, reçoivent un service, puis quittent la station. Afin de spécifier complètement une file simple, on

doit caractériser le processus d'arrivée des clients, le temps de service ainsi que la structure et la discipline de service de la file d'attente, [35].

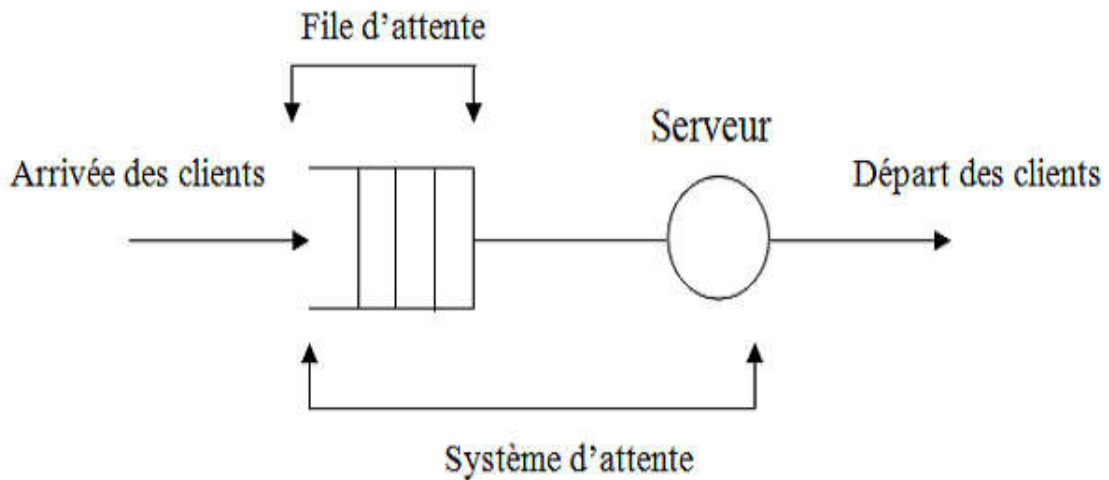


Fig II. 5 Système d'attente, [35].

II.6.1. Processus d'arrive

Les clients arrivent au sien du système en décrivant un processus déterminé. Ils peuvent par exemple être réguliers et leurs arrivées sont espacées par un temps égal soit à τ (c'est -à-dire chaque τ unité de temps, on a une arrivée), mais ce cas est rare et assez difficile à schématisé mathématiquement.

Le modèle le plus simple et le plus courant plus celui des arrivées complètement aléatoire, ce qui est caractérisé par le processus de poisson, [34].

II.6.2. Temps de service

Considérons tout d'abord une file à serveur unique. On note D_n la variable aléatoire mesurant l'instant de départ du $n^{\text{ième}}$ client du système et Y_n la variable aléatoire mesurant le temps de service du $n^{\text{ième}}$ client (temps séparant le début et la fin du service).

Un instant de départ correspond toujours à une fin de service, mais ne correspond pas forcément à un début de service. Il se peut en effet qu'un client qui quitte la station laisse celle-ci vide. Le serveur est alors inoccupé jusqu'à l'arrivée du prochain client.

On considérera uniquement des stations dont les temps de service consécutifs sont décrits par des variables Y_n indépendantes et identiquement distribuées.

On note μ le taux de service.

$1/\mu$ est la durée moyenne de service.

La distribution du temps de service la plus simple à étudier est la distribution exponentielle.

Cependant, la propriété « sans mémoire » de la loi exponentielle fait que celle-ci n'est généralement pas très réaliste pour modéliser les phénomènes réels. On est donc souvent obligé de recourir à d'autres distributions de service, [35].

II.6.3. Structure et discipline de la file

II.6.3.a. Nombre de serveur

Le nombre de serveurs indique le nombre maximal d'exécutions en parallèle du même service. Dans un système de file d'attente multiserveur, les clients qui arrivent se placent dans une seule file d'attente. Chaque fois qu'un serveur est libéré, un client en attente dans la file entre en service. Les temps de service des serveurs sont généralement indépendants et identiquement distribués, [38].

II.6.3.b. Capacité de la file

Dans certains systèmes de file d'attente, des contraintes physiques ou organisationnelles peuvent exister et limitent la longueur maximale de la file. Dans ces types de cas, la capacité du système indique le nombre maximal des clients qui peuvent se retrouver dans le système (en attente de service et en service). Dans un système de production, cette capacité peut être liée à une limite de l'espace de stockage.

II.6.3.c. Discipline de service

La discipline de service détermine l'ordre dans lequel les clients sont rangés dans la file et y sont retirés pour recevoir un service. Les disciplines les plus courantes sont :

- FIFO (first in, first out) ou FCFS (first come first served) ou PAPS (premier arrivé, premier servi) : c'est la file standard dans laquelle les clients sont servis dans leur ordre d'arrivée. Notons que les disciplines FIFO et FCFS ne sont pas équivalentes lorsque la file contient plusieurs serveurs. Dans la première, le premier client arrivé sera le premier à quitter la file alors que dans la deuxième, il sera le premier à commencer son service. Rien n'empêche alors qu'un client qui commence son service après lui, dans un autre serveur, termine avant lui. En français, le terme PAPS comporte une ambiguïté, puisqu'il ne peut différencier une file "premier arrivé, premier servi" d'une file "premier arrivé, premier sorti".
- LIFO (last in, first out) ou LCFS (last come, first served) ou DAPS (dernier arrivé, premier servi). Cela correspond à une pile, dans laquelle le dernier client arrivé (donc pose sur la pile) sera

la première traite (retiré de la pile). A nouveau, les disciplines LIFO et LCFS ne sont équivalentes que pour une file mono-serveur

- RANDOM (aléatoire) Le prochain client qui sera servi est choisi aléatoirement dans la file d'attente :
- Round-Robin (cyclique). Tous les clients de la file d'attente entrent en service à tour de rôle, effectuant un quantum Q de leur temps de service et sont replacés dans la file, jusqu'à ce que leur service soit totalement accompli. Cette discipline de service a été introduite afin de modéliser des systèmes informatiques ;
- PS (Processor Sharing). C'est le cas limite de la distribution Round-Robin lorsque le quantum de temps Q tend vers 0. Tous les clients sont servis en même temps, mais avec une vitesse inversement proportionnelle au nombre de clients simultanément présents. Si le taux du serveur est égal à μ et qu'à un instant donné il y a n clients à la station, tous les clients sont donc servis simultanément avec un taux μ/n (Attention, dire que les n clients sont servis simultanément ne signifie absolument pas qu'ils seront libérés simultanément), [35].

II.6.4. Notations de Kendall

La notation de Kendall normalise la description d'une file simple : $T/Y/C/K/m/Z$ Avec :

T : Distribution d'inter arrivée

Y : Distribution de service

C : Nombre de serveurs

K : Capacité de la file

m : Population des usagers

Z : Discipline de service.

Lorsque les trois derniers éléments de la notation de Kendall ne sont pas précisés, il est sous-entendu que

$K = +\infty$, $m = +\infty$, et $Z = \text{FIFO}$. Le paramètre m précise le nombre maximum d'usagers susceptibles d'arriver dans la file, cette dernière étant "plongée" dans un monde fermé contenant m clients, [36].

II.6.5. Notion de classes de clients

Une file d'attente peut être parcourue par différentes classes de clients. Ces différentes classes se distingueront par :

- des processus d'arrivée différents ;

- des temps de service déférents ;

II.7. Réseaux de file d'attente

Un réseau des files d'attente est constitué de systèmes de file d'attente interconnectés. Les clients circulent entre les différents systèmes des files. Les réseaux des files d'attente sont bien adaptés pour la modélisation des interactions entre les différentes ressources d'un système de production, de stockage, de communication ou d'information. Soit M le nombre de stations du réseau [38].

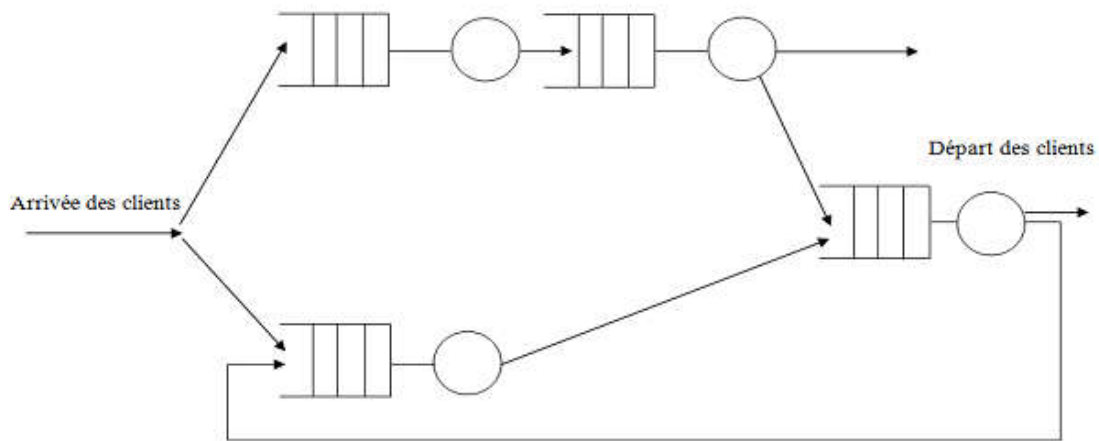


Fig II. 6 Ensembles de M stations inter connectées, [39].

II.7.1. Réseaux ouverts

Dans un réseau de file d'attente ouvert, les clients arrivent de l'extérieur, circulent dans le réseau à travers les déférentes stations, puis quittent le réseau. Le nombre de clients pouvant se trouver à un instant donné dans un réseau ouvert n'est donc pas limité. Afin de spécifier complètement un réseau ouvert, il faut bien sur caractériser chaque station, mais également le processus d'arrivée des clients et le routage (cheminement) des clients dans le réseau. [35]

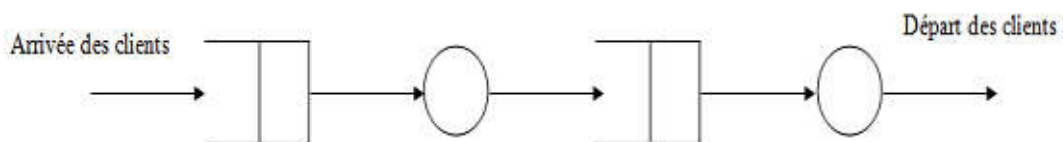


Fig II. 7 Réseau ouvert des files d'attente, [35].

II.7.1.a. Processus d'arrive

Le processus d'arrivée des clients dans le réseau sera décrit, comme pour une file simple, à l'aide d'un processus de renouvellement (et sera donc caractérisé par la distribution du temps d'inter arrivée). Si l'arrivée des clients suit un processus de Poisson, les inters arrivées sont exponentielles et sont caractérisées par un unique paramètre : le taux d'arrivée λ . Dans le cas d'un processus d'arrivée non poissonnier, ce paramètre reste intéressant, puisqu'il indique le nombre moyen de clients qui arrivent dans le système par unité de temps, mais devient insuffisant pour caractériser parfaitement l'arrivée des clients.

II.7.1.b. Routage des clients

Lorsqu'un client termine son service à une station, il faut préciser où ce client va se rendre : soit à une autre station, soit à l'extérieur (le client quitte alors le réseau). A nouveau, le routage des clients est très souvent caractérisé de façon probabiliste : soit P_{ij} la probabilité pour qu'un client qui quitte la station i se rende à la station j et soit P_{i0} la probabilité pour qu'un client qui quitte la station i quitte le système. Les P_{ij} sont tels que $\sum P_{ij} = 1$

Il existe cependant d'autres types de routages :

- le routage vers la file la plus courte (routage dynamique) : un client quittant une station choisira, parmi toutes les destinations possibles, la station qui comporte le moins de clients ;
- le routage cyclique (routage déterministe) : les clients quittant une station choisiront à tour de rôle chacune des stations parmi toutes les destinations possibles [35].

II.7.2. Les réseaux fermés

Dans un réseau de files d'attente fermé, les clients sont en nombre constant. Soit N le nombre total de clients du système. Il n'y a donc pas d'arrivée ni de départ de clients. La spécification d'un réseau fermé se réduit donc à celle des différentes stations et à celle du routage des clients[34].

Par un mécanisme de routage probabiliste, on définit P_{ij} la probabilité qu'un client qui quitte la station i se rende à la station j . Les P_{ij} sont tels que $\sum P_{ij} = 1$

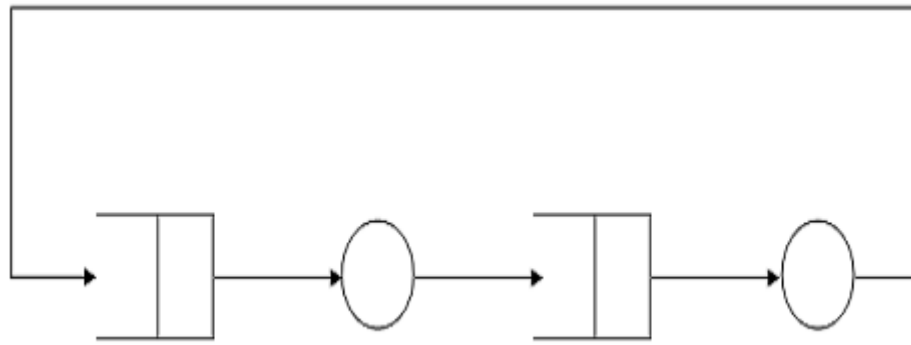


Fig II. 8 Réseau fermé des files d'attente, [38].

II.7.3. Réseaux multiclassés

Comme pour les files simples, les réseaux de files d'attente peuvent être parcourus par différentes classes de clients. Soit R le nombre de classes de clients. Ces différentes classes se distingueront par:

- des processus d'arrivée différents (si le réseau est ouvert)
- des comportements différents à chaque station (service et discipline de service)
- des routages différents dans le réseau.

On est alors amené à caractériser pour chaque classe r :

- pour un réseau ouvert, le processus d'arrivée (pour un processus d'arrivée poissonnier, il suffit alors de donner le taux d'arrivée λ_r des clients de classe r) ;
- pour un réseau fermé, le nombre total N_r de clients de classe r ;
- le routage de clients. Si on se limite aux routages probabilistes, on définit P_{rij} la probabilité pour qu'un client de classe r qui quitte la station i se rende à la station j . (Si i ou j est égal à 0, cela fait la différence à l' "extérieur" d'un réseau ouvert.) [35].

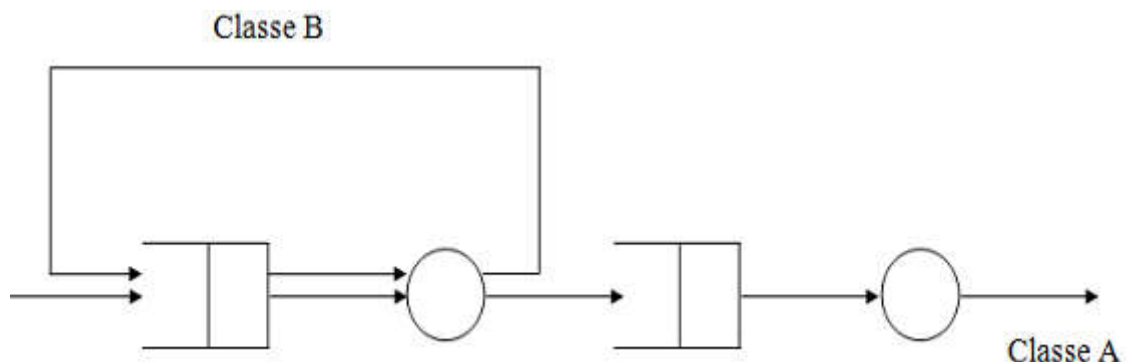


Fig II. 9 Réseau mixte des files d'attente, [38].

II.7.4. Les réseaux de file d'attente à capacité limite

Les différentes stations du réseau peuvent avoir des capacités limitées. Lorsqu'une file est pleine, plus aucun client ne peut y entrer. Cela introduit des blocages dans les autres stations amont et éventuellement des pertes de clients à l'entrée du système (si celui-ci est ouvert), [34].

On distingue principalement deux types de blocage : le blocage avant service et le blocage après service.

Dans un blocage avant service (ou blocage de type réseau de communication), un client voulant commencer son service à une station donnée doit tout d'abord s'assurer qu'il y a une place de libre dans la station de destination. Si c'est le cas, son service commence. Dans le cas contraire, le serveur de la station est bloqué et le client doit attendre la libération d'une place en aval avant de commencer son service.

Dans un mécanisme de blocage après service (ou blocage de type système de production), un client commence sans attendre son service dès l'instant où le serveur est disponible. Ce n'est qu'à la fin de son service qu'un blocage peut survenir. Si la station de destination est pleine, le client reste au niveau du serveur qui se trouve alors bloqué, jusqu'à ce qu'une place se libère en aval, [35].

II.7.5. Les réseaux de files d'attente ouverts à contrainte de population

Certains réseaux de files d'attente, bien qu'étant des modèles ouverts, peuvent être soumis à une limite supérieure sur le nombre total de clients pouvant s'y trouver simultanément. Cette "contrainte de population" implique que le réseau n'est ni réellement un modèle ouvert, puisque le nombre de clients qui peuvent s'y trouver est limité, ni réellement un réseau fermé, puisque le nombre total de clients dans le système n'est pas constant. On parlera de "modèle ouvert à contrainte de population". Lorsqu'un client arrive dans le réseau alors que celui-ci est plein (la contrainte de population est atteinte), deux cas peuvent être envisagés. Soit le client est "rejeté", ce qui rejoint le modèle de la section précédente, soit le client est "mémorisé" et se place en attente dans une file externe (généralement FIFO). Par la suite, on ne s'intéressera qu'au cas où le client est mémorisé, [33].

Un système ouvert à contrainte de population est souvent modélisé à l'aide d'un formalisme de type "sémaphore". Une file de "jetons" contenant initialement N jetons est alors associée à la file externe des clients. Lorsqu'un client arrive alors qu'il reste un jeton de libre, il prend le jeton et entre instantanément dans le système. Il conserve alors le jeton pendant tout son séjour dans le système et le libère dès qu'il quitte le système. Le jeton revient alors instantanément dans la file des jetons et devient à nouveau disponible pour un autre client. Lorsqu'un client arrive alors

qu'il n'y a aucun jeton de libre, il se place dans la file externe (des clients) en attente de libération d'un jeton. Le nombre initial N de jetons impose donc une limite supérieure sur le nombre total de clients pouvant se trouver simultanément dans le système[34].

II.8. Files d'attente markoviennes

Les files d'attentes markoviennes sont celles pour lesquelles les inters arrivées et les durées de service sont exponentielles. Leur notation de Kendall sera de la forme $M/M/\dots$ (M comme markovien...)

II.8.1. File M/M/1

Cette file est caractérisée par une arrivée poissonnienne de taux λ et une durée de service exponentielle de taux μ [34]. On pose $\rho = \lambda/\mu$.

La file peut être considérée comme un processus de naissance et de mort, pour lequel :

$$\lambda_n = \lambda, \quad \mu_n \begin{cases} \mu & \text{si } n \neq 0 \\ 0 & \text{si } n = 0 \end{cases} \quad (\text{II.1})$$

La probabilité d'état (en tenant compte que $\rho < 1$ pour qu'il y ait un régime permanent) est donnée par :

$$\begin{cases} \pi_n = \pi_0 \rho^n \\ \pi_0 = \frac{1}{\sum_{n=0}^{+\infty} \rho^n} = 1 - \rho \end{cases} \quad \text{Donc:} \quad \pi_n = (1 - \rho) \rho^n \quad (\text{II.2})$$

Tous les paramètres de performances sont calculés dans le cas où la file est stable ($\lambda < \mu$, c'est-à-dire $\rho < 1$) et pour le régime stationnaire de la file.

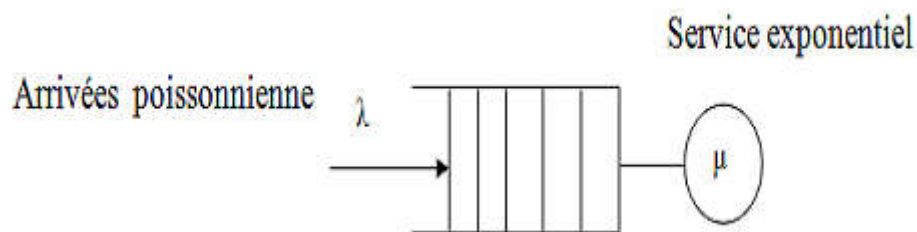


Fig II. 10 File M/M/1. [39].

Ici $d = \lambda$ car $\lambda_n = \lambda$ pour tout $n \geq 0$. Une autre façon de voir les choses est de remarquer que le Service s'effectue avec un taux μ dans chaque état où le système contient au moins un client :
 $d = \text{Proba} ([\text{file non vide}])$

$$\mu = \sum_{n=1}^{+\infty} \pi_n \mu = [1 - \pi_0] \mu = \rho \mu = \lambda \quad (\text{II.3})$$

On retrouve bien que si la file est stable, le débit moyen de sortie est égal au débit moyen d'entrée.

- **Taux d'utilisation du serveur U**

Par définition, le taux d'utilisation est la probabilité pour que le serveur de la file soit occupé

$$\mu = \sum_{n=1}^{+\infty} \pi_n = 1 - \pi_0 = \rho = \frac{\lambda}{\mu} \quad (\text{II.4})$$

- **Nombre moyen de clients L**

Le nombre moyen de clients se calcule à partir des probabilités stationnaires de la façon suivante :

$$\begin{aligned} L &= \sum_{n=1}^{+\infty} n \pi_n = \sum_{n=1}^{+\infty} n (1 - \rho) \rho^n = \rho (1 - \rho) \sum_{n=0}^{+\infty} (n + 1) \rho^n \\ &= \rho (1 - \rho) (1 - \rho) (1 + 2\rho + 3\rho^2 + \dots) \\ &= \rho (1 - \rho) \frac{d}{d\rho} (\rho + \rho^2 + \rho^3 + \dots) = \rho (1 - \rho) \frac{d}{d\rho} \left(\frac{1}{1 - \rho} - 1 \right) \end{aligned}$$

$$\text{Soit } L = \frac{\rho}{1 - \rho} \quad (\text{II.5})$$

- **Temps moyen de se jour W**

Ce paramètre est obtenu en utilisant la loi de Little :

$$W = \frac{L}{d} = \frac{1}{\mu(1 - \rho)} \quad (\text{II.6})$$

Qui peut se décomposer en :

$$W = \frac{1}{\mu} + \frac{\rho}{\mu(1 - \rho)} \quad (\text{II.7})$$

On en déduit le temps moyen passé dans la file d'attente W_q :

$$W_q = \frac{\rho}{\mu(1 - \rho)} \quad (\text{II.8})$$

- **Nombre moyen de clients dans la file d'attente L_q :**

$$L_q = \lambda W_q = \frac{\rho^2}{1 - \rho} \quad (\text{II.9})$$

II.8.2. File M/M/1/K

On considère un système à serveur simple identique à la file M/M/1 excepté que la capacité de la file d'attente est finie. On a donc toujours les hypothèses suivantes : le processus d'arrivée des clients dans la file est un processus de Poisson de taux λ et le temps de service d'un client est une variable aléatoire exponentielle de taux μ . Soit K la capacité de la file d'attente :

c'est le nombre maximal des clients qui peuvent être présents dans le système, soit en attente, soit en service. Quand un client arrive alors qu'il y a déjà K clients présents dans le système, il est perdu [35].

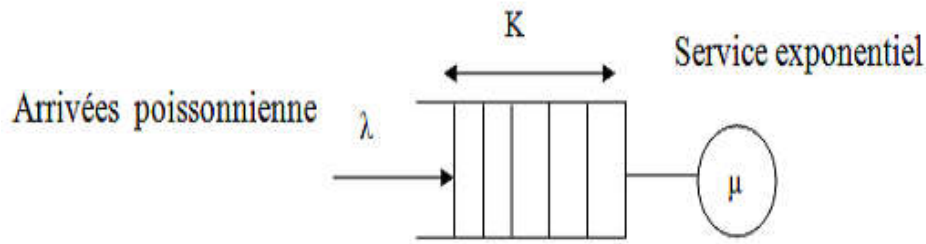


Fig II. 11 File M/M/1/K, [40].

Le processus de naissance et de mort modélisant ce type de file d'attente est alors défini de la façon suivante :

$$\lambda_n = \begin{cases} \lambda & \text{si } n < K \\ 0 & \text{si } n = K \end{cases} \quad \mu_n = \begin{cases} \mu & \text{si } n \neq 0 \\ 0 & \text{si } n = 0 \end{cases} \quad (\text{II.10})$$

L'intégration de l'équation récurrente permettant de calculer π_n se fait alors comme suit :

$$\pi_n = \pi_0 \rho^n \text{ pour } n \leq K \quad (\text{II.11})$$

$$\pi_n = 0 \text{ pour } n > K \quad (\text{II.12})$$

$$\pi_0 = \frac{1}{\sum_{n=0}^K \rho^n} = \frac{1-\rho}{1-\rho^{K+1}} \text{ si } \lambda \neq \mu \text{ et } \left(\frac{1}{K+1} \text{ si } \lambda = \mu \right) \quad (\text{II.13})$$

• Débit d

Le débit du système peut être calculé de deux manières équivalentes :

Soit en mesurant le taux de départ des clients en sortie du serveur, d_s , soit en mesurant le taux d'arrivée effectif des clients acceptés dans le système d_e . On s'attend bien sûr à obtenir l'égalité de ces deux débits, [34].

Le débit en sortie du serveur est égal à μ dès l'instant où la file n'est pas vide :

$$d_s = \text{Proba}([\text{file non vide}]) \mu = \sum_{n=1}^{+\infty} \pi_n \mu = [1 - \pi_0] \mu = \frac{\rho - \rho^{K+1}}{1 - \rho^{K+1}} \mu \quad (\text{II.14})$$

Le débit effectif d'entrée dans la file est égal à λ dès l'instant qu'un client arrive lorsque la file n'est pas pleine :

$$d_e = \text{Proba}([\text{file non pleine aux instants d'arrivée}]) \lambda$$

$$\lambda = \sum_{n=0}^{K-1} \pi_n \lambda = [1 - \pi_K] \lambda = \frac{1 - \rho^K}{1 - \rho^{K+1}} \lambda \quad (\text{II.15})$$

Puisque $\rho = \frac{\lambda}{\mu}$, on a bien $d_e = d_s = d$, ou d est le débit moyen de la file (d'entrée ou de sortie) :

$$d = \frac{1-\rho^K}{1-\rho^{K+1}} \lambda \quad (\text{II.16})$$

Notons que, lorsque K tend vers l'infini, on retrouve bien les résultats de la M/M/1, c'est-à-dire $d = \lambda$, à condition que $\rho < 1$, ce qui correspond à la condition de stabilité de la M/M/1.

Taux d'utilisation du serveur $U(K)$

$$U(K) = \sum_{n=1}^K \pi_n = 1 - \pi_0 = \frac{\rho - \rho^{K+1}}{1 - \rho^{K+1}} = \rho \frac{1 - \rho^K}{1 - \rho^{K+1}} \quad (\text{II.17})$$

Ainsi, dans le cas d'une file à capacité limitée, le taux d'utilisation n'est plus égal à ρ . En effet, le taux d'utilisation est toujours égal au rapport du débit moyen d'entrée sur le taux moyen de service (loi de Little) : $U = \frac{d}{\mu}$ Mais ici d n'est plus égal à λ .

Remarquons que, lorsque $K \rightarrow +\infty$ $U(K)$ tend vers ρ si $\rho < 1$ et vers 1 si $\rho > 1$. [6]

Tableau II. 1 Symboles (modèle avec population infinie),[34].

| Symbole | Signification |
|----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| P | Taux d'utilisation du système |
| \bar{n}_f | Nombre moyen de clients qui attendent d'être servis |
| \bar{n} | Nombre moyen de clients dans le système (clients qui attendent et clients qui sont en train d'être servis) |
| \bar{T}_n | Temps moyen d'attente en file |
| \bar{T} | Temps moyen d'attente dans le système |
| P₀ | Probabilité qu'il y ait zéro unité (client) dans le système |
| P_n | Probabilité qu'il y ait n unités (clients) dans le système |

II.8.3. Relations de base

Dans les modèles de files d'attente avec population infinie, il existe certaines relations de base (entre certains paramètres et les mesures de performance) qui permettent de déterminer les mesures de performance désirées grâce à quelques valeurs clés. Les principales relations sont présentées ci-dessous :

Le taux d'utilisation du système : il représente le rapport entre la demande (mesurée grâce au taux d'arrivée, X) et la capacité de service (produit du nombre de serveurs M par le taux de service).

$$\rho = \frac{\lambda}{M \cdot \mu} \quad (\text{II.18})$$

Le nombre moyen de clients en train d'être servis si $M=1$, $\rho = \frac{\lambda}{\mu}$ (II.19)

Le nombre moyen de clients en file : $\bar{n}_f = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)}$ (II.20)

$$\text{Le nombre de clients dans le système : } \bar{n} = \bar{n}f + \rho \quad (\text{II.21})$$

$$\text{Le temps moyen d'attente en file : } \bar{T} = \frac{\bar{n}f}{\lambda} \quad (\text{II.22})$$

$$\text{Le temps moyen d'attente le système : } \bar{T} = \bar{T}f + \frac{1}{\mu} = \frac{\bar{n}}{\mu} \quad (\text{II.23})$$

II.9. Conclusion

L'analyse des files d'attente peut être un aspect important de la conception des systèmes de productions, le fonctionnement d'un atelier de production peut être modélisé par plusieurs files d'attentes. Chaque poste de travail constitue une entité ou un service est rendu.

Pour analyser les files d'attente, il est important de définir la population des clients pour l'application de chaque modèle.

L'utilisation des réseaux des files d'attentes dans les systèmes de production permet de déterminer les différentes chronologies de la production qui ouvre la possibilité de planifier les travaux d'entretien.

Chapitre III

Evaluation de la Fiabilité et la Disponibilité par Réseaux de Files d'Attentes

Chapitre III. Evaluation de la Fiabilité et la Disponibilité par Réseaux de Files d'Attentes

III.1. Introduction

A cause de la grande influence du temps de réparation sur la disponibilité des FOUR 01 et FOUR 02, dans ce chapitre, on mettra l'accent sur la fiabilité des ateliers de réparation en utilisant la théorie des files d'attente, et nous montrerons comment utiliser nos connaissances sur la théorie des chaînes de Markov pour nous aider dans l'analyse des phénomènes d'attente; Ensuite nous ferons une application sur Usine Che Lafarge Ciment M'sila où le processus d'arrivée est poissonnier. Enfin nous présentons des propositions afin d'améliorer la disponibilité des installations de la cimenterie Lafarge de M'sila.

III.2. Notions de base des systèmes industrielles

Dans l'ensemble des systèmes industriels, on identifie deux catégories:

- Systèmes non réparables.
- Systèmes réparables

III.2.1. Systèmes non réparables

On désigne par système non réparable, tout système pour lequel les tâches de réparation sont techniquement impossibles au cours de sa mission. Les défaillances des aéronefs en plein vol en sont un parfait exemple. Dans certaines conditions, la réparation est techniquement réalisable, mais, économiquement parlant, elle est difficilement justifiable: on cite l'exemple des cartes électroniques, En effet, pour certaines cartes, le coût de remplacement est nettement inférieur à celui de la réparation. La fiabilité est souvent la grandeur la plus utilisée pour mesurer la performance de ce genre de système par rapport à leurs âges.

Pour cette famille de systèmes, on s'intéresse aux grandeurs suivantes :

- .Durée de vie.
- .Fiabilité.
- .Défaillance,
- .Taux de défaillance.
- .Temps moyen de bon fonctionnement: MTBF

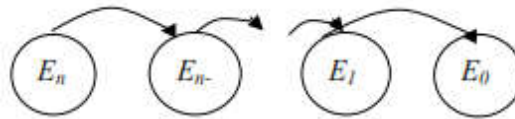


Fig III. 1 Graphe d'état pour système non réparable[40]

III.2.2. Systèmes réparables

Pour ce genre de systèmes, l'occurrence d'un bris est généralement suivie d'une série d'activités d'entretien. A titre d'exemples, on cite: le diagnostic, l'affectation des ressources pour effectuer les réparations, la commande des pièces de rechange, les tâches de-réparation, les tests fonctionnels et la remise en service. Cette liste n'est pas exhaustive. Dans certaines conditions, d'autres activités peuvent se rajouter comme les délais administratifs. Non seulement les défaillances qui nécessitent des efforts d'entretien, mais aussi les activités de maintenance préventive et les réfections. Pour les systèmes réparables, on convient d'utiliser la disponibilité comme indicateur de performance par rapport au temps. Dans certaines configurations où les machines opèrent selon des structures parallèles, l'utilisation de la fiabilité pour mesurer la performance du système est Aussi indiquée[40].

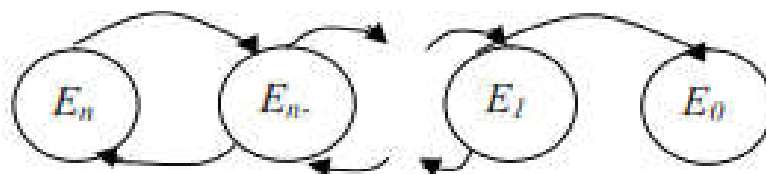


Fig III. 2 Graphe d'état pour système réparable,[40].

III.3. Outils de modélisation

La modélisation des systèmes de production avec des stocks tampons, dont la nature est stochastique, repose sur une panoplie de techniques. On propose dans ce qui suit une liste des principales techniques les plus fréquemment utilisées :

- Chaines de Markov.
- Files d'attente.

D'autres techniques sont aussi utiles mais moins populaires. On cite notamment la programmation linéaire [42]. Un modèle hybride utilisant l'approche par programmation linéaire est présentée dans [43]

III.4. Objectif du modèle

L'objectif à atteindre est celui de calculer l'efficacité du système étant donné un niveau X d'en cours de déterminer. Afin d'analyser ce système de production, un modèle basé sur l'approche des chaînes de Markov a été développé

III.5. Hypothèses de travail

discipline de service, premier arrive, premier servi, (PAPS)

arrivées selon un processus de Poisson

III.5.1. Processus de Poisson

Supposons que le processus des arrivées obéisse aux règles suivantes: La probabilité d'une arrivée dans un intervalle $[t, t + \Delta t]$ ne dépend pas de ce qui s'est passé avant l'instant t . C'est la propriété dite "sans mémoire".

La probabilité d'apparition d'une demande est proportionnelle à Δt , la probabilité de plus d'un événement étant "négligeable" (infinitement petit d'ordre supérieur). Le coefficient de proportionnalité est noté λ (intensité du processus).

La probabilité d'observer « k » arrivées dans un intervalle de longueur « t », [27].

III.5.2. Processus des Services

Le processus de service pourra être d'une complexité extrême, mais on se borne le plus souvent à supposer que chaque durée de service est indépendante des autres, et qu'elles obéissent toutes à une même loi de distribution: on parle de variables indépendantes et identiquement distribuées. On décrira cette loi par sa distribution de probabilité:

$$F(t) = P(\text{temps de réparation} \leq t)$$

III.5.3. Temps de service suit une distribution exponentielle

- **Loi exponentielle**

La loi de service la plus populaire est la loi exponentielle, qu'il est traditionnel d'écrire en utilisant comme "taux de service" la lettre μ :

$$F(t) = P(\text{temps de réparation} \leq t)$$

La densité correspondante est

$$f(t) = \mu e^{-\mu t}$$

capacité de stockage illimitée

demande totale $\lambda_i \leq \mu_i C_i, \forall j$.

III.6. Méthodologies dynamiques pour l'étude de la fiabilité

- **Chaîne de Markov**

Les chaînes de Markov - ou Méthode de l'espace des états (MEE) - ont été développées dans les années 1950 pour l'analyse de la fiabilité des systèmes réparables.

Cette méthode consiste à représenter le fonctionnement d'un système par un ensemble de composants pouvant se trouver dans un nombre fini d'états de fonctionnement et de panne. Un support graphique (le graphe des états) permet de visualiser les différents états d'un système qui sont représentés par des cercles et reliés entre eux par des arcs orientés qui correspondent aux transitions (pannes et réparation) entre états. Pour un système à n composants, si chaque composant a deux états (fonctionnement et panne).

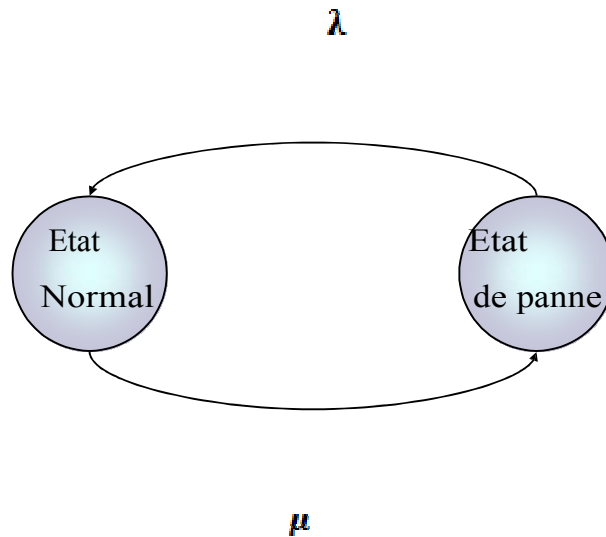


Fig III. 3 Un modèle Markovien.

Pour réaliser cette analyse, il faut tout d'abord recenser tous les états du système, les modèle classer en états de fonctionnement ou en états de panne. Ensuite, il est nécessaire de chercher comment passer d'un état à un autre lors d'un dysfonctionnement ou d'une réparation. A chaque transition de l'état E_i vers l'état E_j , un taux de transition L_{ij} est associe qui est définit de telle façon que $L_{ij} \cdot dt$ est égal à la probabilité de passer de E_i vers E_j entre deux instants très proches t et $t + dt$ sachant que l'on est à l'instant t en E_i .

Enfin, la dernière étape consiste à calculer la probabilité de se trouver dans les différents états au cours d'une période de vie du système ainsi que de calculer les caractéristiques de Sûreté de fonctionnement (MTTF, MTBF, MTTR, etc.).

A l'aide de la modélisation par les graphes de Markov, les dépendances temporelles et stochastiques sont plus largement prises en compte qu'avec les méthodes classiques. De plus, ils sont simples d'utilisation. Cependant, les graphes de Markov souffrent de l'explosion du nombre d'états car tous les états possibles et de toutes les transitions entre les états doivent être pris en compte dans le processus de modélisation. Cette limite peut se poser dans le cas de la modélisation de l'aspect dysfonctionnel uniquement, mais il devient un énorme handicap dans le cas où l'on souhaite ajouter la description de l'aspect fonctionnel a celui de l'aspect dysfonctionnel possible de s'orienter vers les réseaux Bayésiens ou les réseaux de Pétri. [43]

III.7. Réseau de production

Dans cette section, les réseaux de files d'attente sont exploités comme étant un outil de modélisation d'un système de production composé de plus d'un poste de travail. Un réseau de files d'attente est constitué d'un ensemble de files d'attente qui s'alimentent mutuellement. Nous pouvons distinguer deux types de réseaux, les réseaux ouverts et ceux dits fermes.[43].

- **Préparation du cru**

La préparation du cru est composée de deux opérations : Le broyage et le stockage des matières premières

- **Broyage du cru**

Un broyage très fin permet d'obtenir une farine crue. Une fois concassés, les matériaux subissent un pré-mélange dans des halls de pré-homogénéisation ce qui permet d'obtenir une plus grande régularité de composition, les matières premières doivent être finement broyées pour faciliter les réactions chimiques au cours de la cuisson dans le four. Ils sont ensuite séchés et broyés dans un broyeur (à boulets ou à galets) afin de réduire leur taille à quelques dizaines de microns.

Le passage des gaz du four dans le broyeur permet le séchage de la matière et une captation partielle du soufre - SO_2 de ces gaz par la matière broyée. La poudre fine alors obtenue est appelée farine crue, d'où l'expression de broyeur à cru. (Figure III.4), [44].

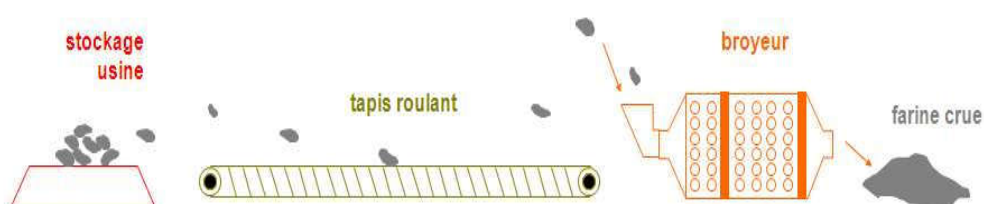


Fig III. 4 Broyage cru, [44].

- **Homogénéisation:**

À la suite du broyage et après séparation, les matières premières sont transformées en une poudre de grande finesse appelée dans le jargon cimentier « Farine ». Cette farine doit présenter

une composition chimique aussi constante que possible. Ces matières premières sont acheminées vers des silos dans lesquelles elles sont homogénéisées.

L'opération d'homogénéisation complète le processus de pré-homogénéisation préalable, elle permet d'obtenir un produit de caractéristiques chimiques uniformes qui permettent la fabrication d'un clinker de qualité constante. La préparation de matière première est maintenant achevée, [44].

- **Cuisson des matières premières**

La farine crue est préchauffée puis passe au four : une flamme atteignant 2000 °C porte la matière à 1500 °C, avant qu'elle ne soit brutalement refroidie par soufflage d'air. Après cuisson de la farine, on obtient le clinker, matière de base nécessaire à la fabrication de tout ciment.

La farine est introduite sous forme de poudre dans une tour de préchauffage où la farine est préalablement chauffée par les gaz produits dans le four rotatif (phase de pré calcination). Elle subit au cours de cette cuisson des réactions chimiques complexes : tout d'abord, le calcaire se décarbonate sous l'action de la chaleur à une température avoisinant les 900°C et se transforme en chaux, tandis que les argiles se décomposent en silicates et aluminates. L'ensemble se recombine ensuite à une température d'environ 1 450°C en silicates et aluminates de chaux. (Figure III.5), [44].

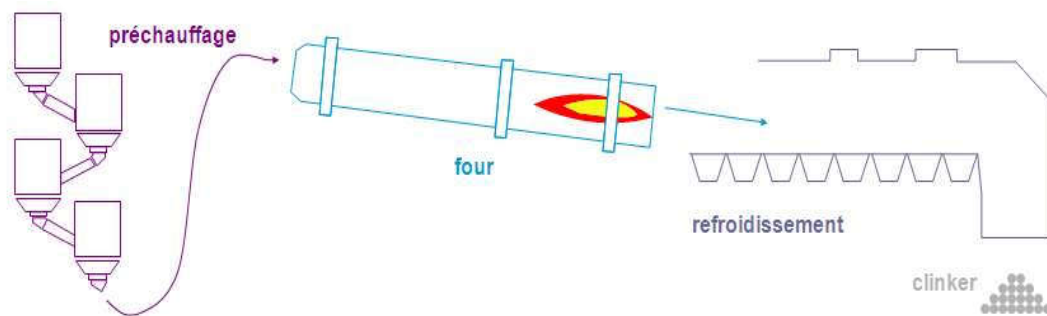


Fig III. 5 Cuisson, [44].

III.8. Etude du système de production

Soit un réseau de production (voir Figure II.11) ayant des arrivées poissonniennes, des temps de service exponentiels et une discipline de service premier arrive premier servi (PAPS).

λ = Taux d'arrivée (Taux de défaillance)

μ = Taux de service (Taux de réparation)

III.8.1. Etudes statistiques sur les Four01 et Four02

Tableaux des heures de fonctionnement entre les pannes .

Tableau de Four1 premier line ; Tableau de Four2 deuxième line.

Tableau III. 1 Heures d'exploitation du Four 01 (2014)

| Mois | Rang | TBF | TR |
|--------|------|---------|--------|
| 01 | 1 | 567.12 | 176.88 |
| 02 | 2 | 668.38 | 03.61 |
| 03 | 3 | 214.00 | 5.00 |
| 04 | 4 | 640.25 | 08.75 |
| 05 | 5 | 706.35 | 29.56 |
| 06 | 6 | 687.57 | 4.60 |
| 07 | 7 | 686.42 | 57.58 |
| 08 | 8 | 689.87 | 54.13 |
| 09 | 9 | 560.23 | 22.26 |
| 10 | 10 | 733.13 | 06.68 |
| 11 | 11 | 646.27 | 60.16 |
| 12 | 12 | 649.70 | 129.66 |
| Totale | - | 7570.55 | 559.10 |

Tableau III. 2 Heures d'exploitation du four 01 (2015)

| Mois | Rang | TBF | TR |
|--------|------|---------|--------|
| 01 | 1 | 667.22 | 76.78 |
| 02 | 2 | 126.50 | 18.75 |
| 03 | 3 | 738.3 | 190.63 |
| 04 | 4 | 699.65 | 18.48 |
| 05 | 5 | 663.69 | 176.50 |
| 06 | 6 | 692.65 | 09.50 |
| 07 | 7 | 609.55 | 134.45 |
| 08 | 8 | 702.97 | 41.03 |
| 09 | 9 | 658.45 | 61.55 |
| 10 | 10 | 585.10 | 158.90 |
| 11 | 11 | 688.02 | 31.98 |
| 12 | 12 | 692.12 | 41.42 |
| Totale | - | 7681.22 | 959.98 |

Tableau III. 3 Heures d'exploitation du four 02 (2014)

| Mois | Rang | TBF | TR |
|--------|------|---------|--------|
| 01 | 1 | 720.83 | 12.97 |
| 02 | 2 | 643.05 | 3.08 |
| 03 | 3 | 720.82 | 14.97 |
| 04 | 4 | 409.45 | 10.55 |
| 05 | 5 | 742.52 | 01.48 |
| 06 | 6 | 682.68 | 05.32 |
| 07 | 7 | 720.93 | 23.07 |
| 08 | 8 | 669.17 | 74.83 |
| 09 | 9 | 246.92 | - |
| 10 | 10 | 722.03 | 21.97 |
| 11 | 11 | 713.00 | 07.00 |
| 12 | 12 | 663.87 | 80.13 |
| Totale | - | 7655.27 | 255.37 |

Tableau III. 4 Heures d'exploitation du four 02 (2015).

| Mois | Rang | TBF | TR |
|--------|------|---------|--------|
| 01 | 1 | - | - |
| 02 | 2 | 661.10 | 07.18 |
| 03 | 3 | 720.72 | 07.62 |
| 04 | 4 | 628.43 | 89.15 |
| 05 | 5 | 425.77 | 54.23 |
| 06 | 6 | 674.00 | 33.72 |
| 07 | 7 | 636.15 | 100.08 |
| 08 | 8 | 512.35 | 231.65 |
| 09 | 9 | 665.12 | 54.88 |
| 10 | 10 | 743.08 | 00.92 |
| 11 | 11 | 281.75 | 04.22 |
| 12 | 12 | 696.25 | 35.02 |
| Totale | - | 6644.72 | 618.67 |

III.9. Utilisation de la théorie des files d'attente et la théorie de Markov pour la modélisation de la disponibilité et la fiabilité

III.9.1. Définition d'une chaîne de Markov homogène dans le temps

On supposera que le système transite de l'état i à l'état j avec une probabilité $P_{i,j}$ qui ne dépend que des états i et j . Un tel système est dit sans mémoire ou encore Markovien, ce qui signifie que la probabilité $P_{i,j}$ ne dépend pas des états antérieurs à i par lesquels le système est passé au cours de son histoire. Ainsi le futur état du système étudié dépend uniquement de son état présent et non des ses états passés.

Ces nombres $P_{i,j}$ sont rangés dans la matrice $p = (P_{i,j})_{(0 \leq i, j \leq n)}$. Cette matrice est stochastique car le vecteur (stochastique) en ligne i contient les probabilités de toutes les transitions possibles en partant de l'état i et par suite leur somme est égale à un. La suite des vecteurs stochastiques $\pi(t)$ pour $t = 0, 1, 2, \dots$ vérifie la formule de récurrence matricielle [45].

$$(\pi_0(t+1), \pi_1(t+1), \dots, \pi_n(t+1)) = (\pi_0(t), \pi_1(t), \dots, \pi_n(t)) \begin{pmatrix} 1-\lambda & P_0\lambda & \lambda(1-P_0) \\ P_1\mu & 1-(\lambda+\mu) & P_1\lambda \\ \mu(1-P_2) & \mu P_2 & 1-\mu \end{pmatrix}$$

que l'on écrit sous forme plus compacte :

$$\pi_n(t+1) = \pi_n(t)p$$

III.9.2. Evolution dans le temps du vecteur stochastique

La formule de récurrence $\pi_n(t+1) = \pi_n(t)p$ appliquée aux instants $t=0, 1, 2, \dots$,

$$\pi(1) = \pi(0)p$$

$$\pi(2) = \pi(1)p^2$$

$$\pi(3) = \pi(2)p^3$$

A tout instant t (entier), le vecteur stochastique est donc

$$\pi(t) = \pi(0)p^t$$

III.9.3. Distribution stationnaire

Si la valeur propre 1 de la matrice stochastique P d'une chaîne de Markov homogène est simple et dominante (toute autre valeur propre est de module strictement inférieur à 1) alors la

Suite $(P)^n$ converge vers une matrice strictement positive p^∞ de la forme [45]:

$$p^\infty = \begin{pmatrix} p_1 & p_2 & \dots & p_n \\ p_1 & p_2 & \dots & p_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_1 & p_2 & \dots & p_n \end{pmatrix} \quad p_1 + p_2 + \dots + p_n = 1$$

De cette première étape, on déduit que la suite (π_n) converge vers une unique distribution de probabilités π , indépendante de π_0 et telle que ${}^t\pi$ soit associée à la valeur propre 1 de la matrice tP (${}^tP \times {}^t\pi$) la matrice tP admet les mêmes valeurs propres avec les mêmes ordres de multiplicité que la matrice P . La valeur propre 1 étant simple, le sous-espace propre associé est de dimension 1 et est engendré par ${}^t\pi$. Comme ${}^tP \times {}^t\pi = {}^t\pi$, on a, pour tout entier naturel n (réurrence immédiate) : $({}^tP)^n \times {}^t\pi = {}^t\pi$, soit ${}^t(P^n) \times {}^t\pi = {}^t\pi$ et enfin : $\pi \times P^n$

En passant à la limite, il vient : $\pi \times P^\infty = \pi$ puis : ${}^t(P^\infty) \times {}^t\pi = {}^t\pi$, [46].

III.9.4. Représentation graphique des chaînes de Markov

Une chaîne de Markov homogène à ensemble d'états E peut être représentée par la graphe orienté value G tel que :

ses sommets sont les états de E ,

il y a un arc du sommet i vers le sommet j si $p_{i,j} > 0$

l'évaluation de l'arc $i \rightarrow j$ est la probabilité de transition $p_{i,j}$

Une chaîne de Markov peut alors être vue comme une marche aléatoire sur le Graphe G : on tire aléatoirement x réalisation de X selon la loi, on puis de x tire x (réalisation de X) selon les probabilités de transition des arcs issus de x , etc.[47]

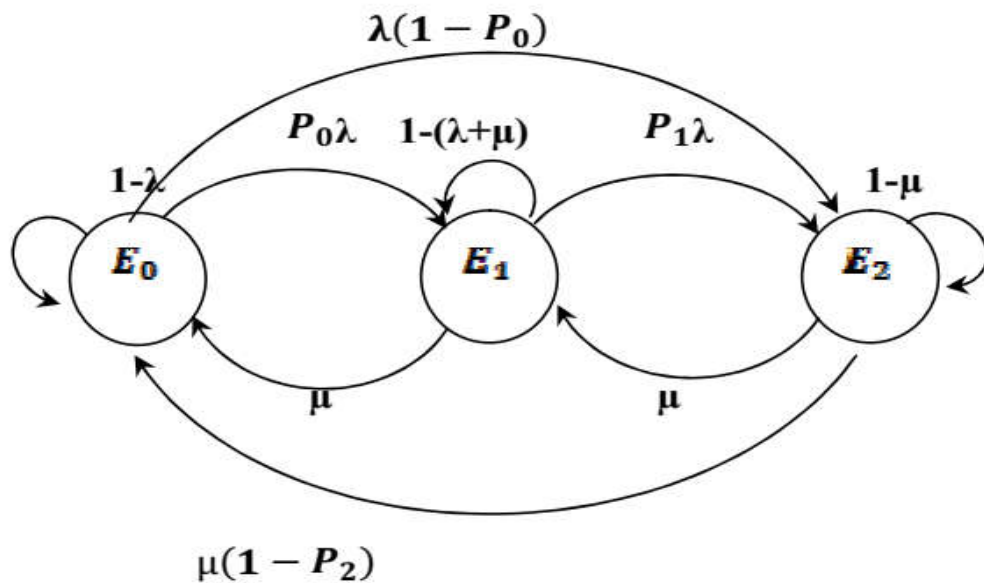


Fig III. 6 Graphe G des états de la disponibilité.

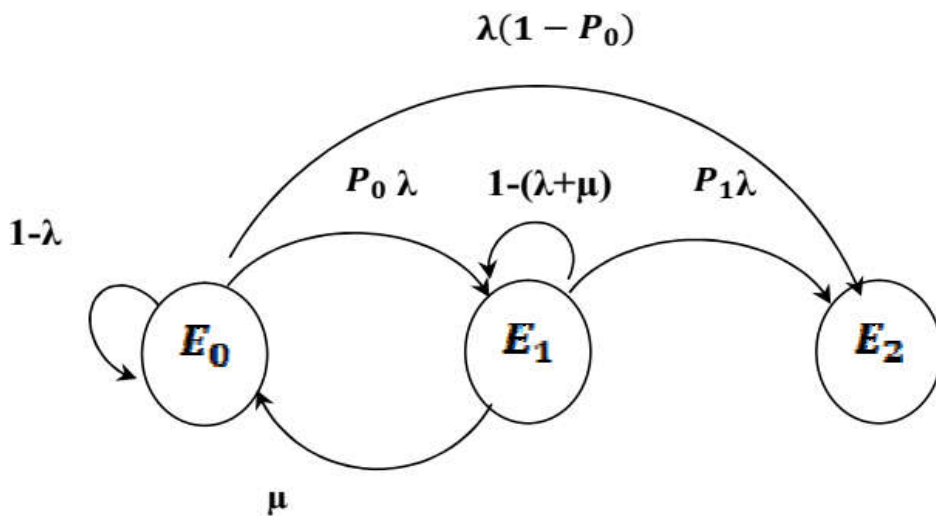


Fig III. 7 Graphe G des états de la fiabilité.

- Le premier état (E_0) représente une absence de panne.
- Le dernier état (E_2) représente une défaillance totale de système.

Entre ces deux états il y a un état intermédiaire qui représente une défaillance partielle du système.

III.10. Paramètres de fiabilité de la FOUR 01

Le traitement des données recueillies sur Usine Che Lafarge Ciment M'sila à permis de calculer les indices suivants de fiabilité des FOUR 01 installées :

Taux de défaillance λ

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} = 0.0016 h^{-1}$$

$$MTBF = \frac{\sum TBF}{N} = 609.34 \text{ h}$$

$$MTTR = \frac{\sum TR}{N} = 63.30 \text{ h}$$

Taux de réparation

$$\mu = \frac{1}{MTTR} = 0.0157 h^{-1}$$

III.10.1. Etapes d'analyse des réseaux ouverts de files d'attente. FOUR01

- Taux d'utilisation du serveur U

Par définition, le taux d'utilisation est la probabilité pour que le serveur de la file soit occupé

$$\rho = \sum_{n=1}^{+\infty} \pi_n = 1 - \pi_0 = \rho = \frac{\lambda}{\mu} = 0.1066$$

- Nombre moyen de clients L

$$L = \frac{\rho}{1-\rho} = 0.1157$$

- Nombre moyen de clients dans la file d'attente L_q :

$$L_q = \lambda W_q = \frac{\rho^2}{1-\rho} = 0.0101$$

- Temps moyen de sejour W

Ce paramètre est obtenu en utilisant la loi de Little :

$$W = \frac{L}{\lambda} = \frac{1}{\mu(1-\rho)}$$

Qui peut se décomposer en :

$$W = \frac{1}{\mu} + \frac{\rho}{\mu(1-\rho)} = 73.0924$$

On en déduit le temps moyen passé dans la file d'attente W_q :

$$W_q = \frac{\rho}{\mu(1-\rho)} = 6.4257$$

- Equation d'état du système

régime stationnaire

$$P_0 \lambda = P_1 \mu$$

$$P_1 = \frac{\lambda}{\mu} P_0 \Rightarrow P_1 = \rho P_0$$

$$\lambda P_0 = \mu P_1 + \lambda P_1$$

$$\lambda P_0 + 2\mu P_2 = P_1 (\mu + \lambda)$$

$$\lambda P_0 + 2\mu P_2 = \frac{\lambda}{\mu} P_0 (\mu + \lambda)$$

$$\mu P_2 = \frac{\lambda}{\mu} P_0 (\mu + \lambda) - \lambda P_0$$

$$\mu P_2 = P_0 \left[\frac{\lambda}{\mu} (\mu + \lambda) - \lambda \right]$$

$$P_2 = \rho^2 P_0$$

⋮

$$P_n = \rho^n P_0$$

Nous savons également que la somme des probabilités est 1, c'est-à-dire,

$$\sum_{i=0}^{\infty} P_i = 1$$

$$P_n = \rho^n P_0$$

$$\sum_{i=0}^{\infty} P_i = P_0 + P_1 + P_2 + \dots + P_n = 1$$

$$\begin{aligned} \sum_{i=0}^{\infty} P_i &= P_0 + \rho P_0 + \rho^2 P_0 + \dots + \rho^n P_0 = 1 \\ &= P_0 (1 + \rho + \rho^2 + \rho^n) = 1 \end{aligned}$$

Où $(1 + \rho + \rho^2 + \rho^n)$ est la somme

$$S = \frac{1}{1 - \rho}$$

$$P_0 = 1 \Rightarrow P_0 = (1 - \rho)$$

Application numérique

$$P_0 = (1 - \rho) = 0.8944$$

$$P_1 = \rho P_0 = 0.0954$$

$$P_2 = \rho^2 P_0 = 0.0101$$

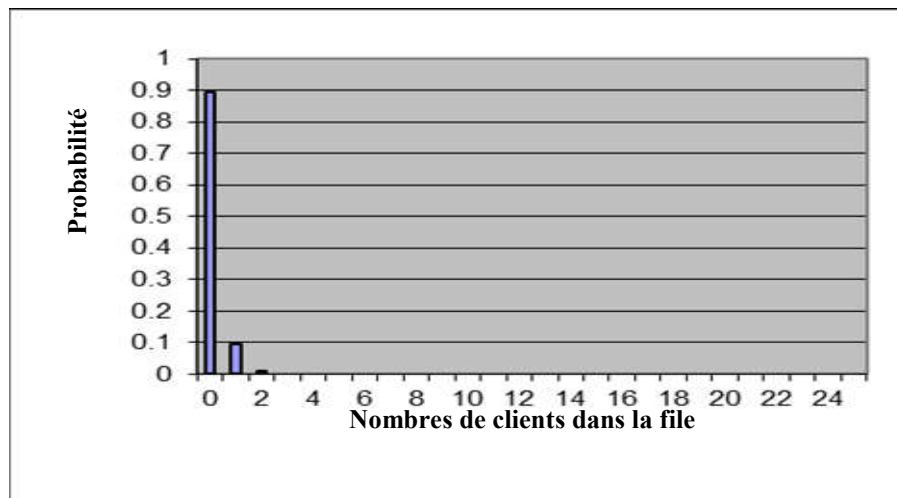


Fig III. 8 Histogramme de Probabilité des clients dans le système (disponibilité).

III.10.2. Calcul de la disponibilité et de la fiabilité d'un système Four01

D'où la matrice de transition P dans le système la disponibilité

$$P = \begin{pmatrix} 1 - \lambda & P_0 \lambda & \lambda(1 - P_0) \\ P_1 \mu & 1 - (\lambda + \mu) & P_1 \lambda \\ \mu(1 - P_2) & \mu P_2 & 1 - \mu \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.9984 & 0.0014 & 0.0001 \\ 0.0014 & 0.9827 & 0.0001 \\ 0.0155 & 0.0001 & 0.9843 \end{pmatrix}$$

Conditions initiales :

$$(a_0, a_1, a_2) = (1, 0, 0)$$

Après 2année

$$(\pi_0, \pi_1, \pi_2)^1 = (1, 0, 0) \begin{pmatrix} 0.9984 & 0.0014 & 0.0001 \\ 0.0014 & 0.9827 & 0.0001 \\ 0.0155 & 0.0001 & 0.9843 \end{pmatrix}$$

$$(\pi_0, \pi_1, \pi_2)^1 = (0.9880 \quad 0.00140 \quad 0.0001)^1$$

Conditions initiales :

$$(\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2) = (0.9880 \quad 0.00140 \quad 0.0001)$$

Après 4 ans

$$\pi_2 = \pi \times P^4$$

$$(\pi_0, \pi_1, \pi_2)^1 = (0.9880 \quad 0.0014 \quad 0.0001) \begin{pmatrix} 0.9984 & 0.0014 & 0.0001 \\ 0.0014 & 0.9827 & 0.0001 \\ 0.0155 & 0.0001 & 0.9843 \end{pmatrix}$$

$$(\pi_0, \pi_1, \pi_2)^1 = (0.9952 \quad 0.0041 \quad 0.0002)$$

Après N (5)ans(10)

Dans le cas de régime stationnaire les équations de système s'écrivent :

$$\pi_n = \pi \times P^n \Rightarrow (\pi_n = \pi) \Rightarrow \pi = \pi \times P^n$$

l'équation sous forme matricielle de système s'écrit :

$$\pi \times P^n$$

$$\sum \pi_j = 1 \quad \text{et} \quad \pi_j = (\pi_0, \pi_1, \pi_2)$$

$$(\pi_0, \pi_1, \pi_2) = (\pi_0, \pi_1, \pi_2)$$

$$\left(\begin{pmatrix} 0.9984 & 0.0014 & 0.0001 \\ 0.0014 & 0.9827 & 0.0001 \\ 0.0155 & 0.0001 & 0.9843 \end{pmatrix} \right)^5 = (\pi_0, \pi_1, \pi_2) \begin{pmatrix} 0.9920 & 0.0067 & 0.0004 \\ 0.0067 & 0.9164 & 0.0004 \\ 0.0748 & 0.0006 & 0.9239 \end{pmatrix} \Rightarrow$$

$$\begin{cases} -0.0080\pi_0 + 0.0067\pi_1 + 0.0004\pi_2 = \pi_0 \\ 0.0067\pi_0 - 0.0836\pi_1 + 0.0004\pi_2 = \pi_1 \\ \pi_0 + \pi_1 + \pi_2 = 1 \end{cases}$$

Pour savoir si la **méthode de cramer** nous trouve :

$$\pi_j = (\pi_0, \pi_1, \pi_2) = (0.0542, 0.0088, 0.9369).$$

- Calcul de la disponibilité Four 01

| Probabilité d'avoir n élément en panne | | |
|----------------------------------------|---------|---------|
| π_0 | π_1 | π_2 |
| 5.42% | 0.88% | 93.69% |

Tableau III. 5 Résultat de la disponibilité

- Calcul de la fiabilité (Four 01)

➤ Equation d'état du système (Régime stationnaire)

$$P_0\lambda = P_1\mu$$

$$P_1 = \frac{\lambda}{\mu} P_0 \Rightarrow P_1 = \rho P_0$$

$$P_2 = \lambda P_1$$

$$P_0 = 1 - P_1 - P_2$$

➤ Application numérique

➤

$$\left. \begin{array}{l} P_0 = 1 - P_1 - P_2 \\ P_1 = \rho P_0 \\ P_2 = \lambda P_1 \end{array} \right\} \Rightarrow P_0 = \frac{1}{1 + \rho(1 + \lambda)}$$

$$P_0 = \frac{1}{1 + \rho(1 + \lambda)} = 0.9035$$

$$P_1 = \rho P_0 = 0.0963$$

$$P_2 = \lambda P_1 = 0.0001$$

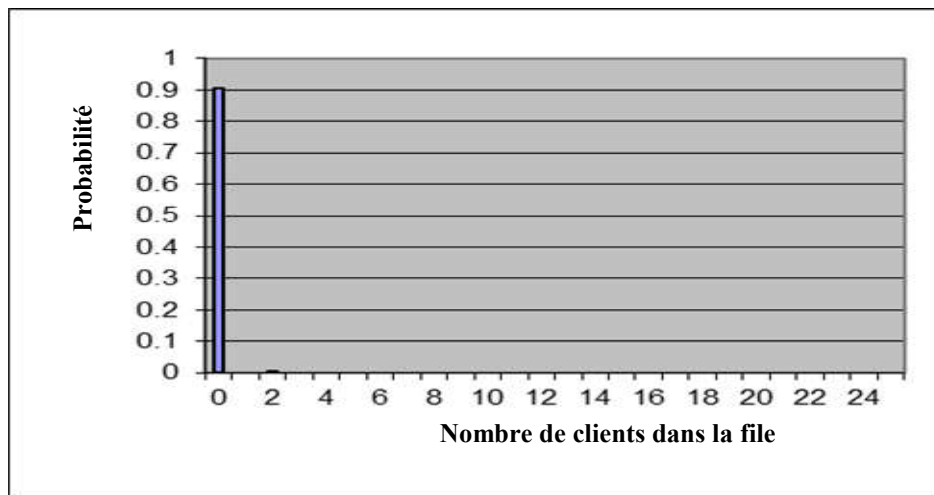


Fig III. 9 Histogramme de Probabilité des clients dans le système (fiabilité).

D'où la matrice de transition P dans le système (la fiabilité)

$$P = \begin{pmatrix} 1 - \lambda & P_0 \lambda & \lambda(1 - P_0) \\ P_1 \mu & 1 - (\lambda + \mu) & P_1 \lambda \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,9984 & 0,0014 & 0,0001 \\ 0,0015 & 0,9827 & 0,0001 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$(a_0, a_1, a_2) = (1, 0, 0)$$

Après 2 ans

$$(\pi_0, \pi_1, \pi_2)^2 = (1, 0, 0) \begin{pmatrix} 0,9984 & 0,0014 & 0,0001 \\ 0,0015 & 0,9827 & 0,0001 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$(\pi_0, \pi_1, \pi_2)^1 = (0,9984, 0,0014, 0,0001)$$

Conditions initiales :

$$(a_0, a_1, a_2) = (0,9984 \ 0,0014 \ 0,0001)$$

Après 4ans

$$\pi_2 = \pi \times P^4$$

$$(a_0, a_1, a_2) = (0.9952 \quad 0.0041 \quad 0.00009)$$

Après N (5)ans (n=10)

Dans le cas de régime stationnaire les équations de système s'écrivent:

$$\pi_n = \pi \times P^n \Rightarrow (\pi_n = \pi) \Rightarrow \pi = \pi \times P^n$$

l'équation sous forme matricielle de système s'écrit:

$$\pi = \pi \times P^n$$

$$\sum \pi_j = 1 \quad \text{et} \quad \pi_j = (\pi_0, \pi_1, \pi_2)$$

$$(\pi_0, \pi_1, \pi_2) = (\pi_0, \pi_1, \pi_2) \begin{pmatrix} 0.988 & 0.01075 & 0 \\ 0.0106 & 0.884 & 0.0012 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} = (\pi_0, \pi_1, \pi_2) \begin{pmatrix} 0.9920 & 0.0067 & 0.00009 \\ 0.0072 & 0.9164 & 0.00009 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} -0.0080\pi_0 + 0.0067\pi_1 + 0.00009\pi_2 = 0 \\ 0.0072\pi_0 - 0.0836\pi_1 + 0.00009\pi_2 = 0 \\ \pi_0 + \pi_1 + \pi_2 = 1 \end{cases}$$

Pour savoir si la **méthode de cramer** nous trouve :

$$(a_0, a_1, a_2) = (0.0129 \quad 0.0021 \quad 0.9849)$$

Calcul de la fiabilité

Tableau III. 6 Résultat de la fiabilité

| Probabilité d'avoir n élément en panne | | |
|----------------------------------------|---------|---------|
| π_0 | π_1 | π_2 |
| 1.29% | 0.21% | 98.49% |

III.11. Paramètres de fiabilité (FOUR 02)

Le traitement des données recueillies sur Usine Che Lafarge Ciment M'sila à permis de calculer les indices suivants de fiabilité de FOUR 02 :

- **Taux de défaillance λ**

$$MTBF = \frac{\sum TBF}{N} = 652.51h$$

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} = 0.0015h^{-1}$$

- **Taux de réparation**

$$MTR = \frac{\sum TR}{N} = 38.00 \quad h$$

$$\mu = \frac{1}{MTR} = 0.0263 \quad h^{-1}$$

III.11.1. Etapes d'analyse des réseaux ouverts de files d'attente. FOUR 02

- **Taux d'utilisation du serveur U**

Par définition, le taux d'utilisation est la probabilité pour que le serveur de la file soit occupé

$$\mu = \sum_{n=1}^{+\infty} \pi_n = 1 - \pi_0 = \rho = \frac{\lambda}{\mu} = 0.05769$$

- **Nombre moyen de clients L**

Le nombre moyen de clients se calcule à partir des probabilités stationnaires de la façon suivante :

$$L = \frac{\rho}{1-\rho} = 0.06065$$

- **Nombre moyen de clients dans la file d'attente L_q :**

$$L_q = \lambda W_q = \frac{\rho^2}{1-\rho} = 0.00314$$

- **Temps moyen de sejour W**

Ce paramètre est obtenu en utilisant la loi de Littré :

$$W = \frac{L}{\lambda} = \frac{1}{\mu(1-\rho)}$$

Qui peut se décomposer en :

$$W = \frac{1}{\mu} + \frac{\rho}{\mu(1-\rho)} = 40.5594$$

On en déduit le temps moyen passé dans la file d'attente

$$W_q = \frac{\rho}{\mu(1-\rho)} = 2.0979$$

Application numérique

$$P_0 = (1 - \rho) = 0.9424$$

$$P_1 = \rho P_0 = 0.0543$$

$$P_2 = \rho^2 P_0 = 0.0031$$

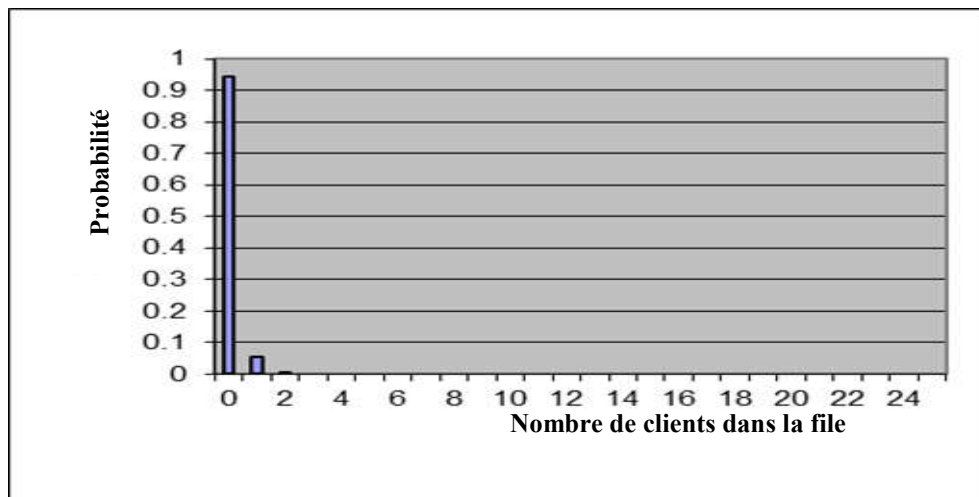


Fig III. 10 Histogramme de Probabilité des clients dans le système (disponibilité).

D'où la matrice de transition P dans le système la disponibilité

$$P = \begin{pmatrix} 1 - \lambda & P_0 \lambda & \lambda(1 - P_0) \\ P_1 \mu & 1 - (\lambda + \mu) & P_1 \lambda \\ \mu(1 - P_2) & \mu P_2 & 1 - \mu \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.9983 & 0.0014 & 0.00008 \\ 0.0014 & 0.9722 & 0.00008 \\ 0.0262 & 0.00008 & 0.9737 \end{pmatrix}$$

$$(a_0, a_1, a_2) = (1, 0, 0)$$

Après une année

$$(\pi_0, \pi_1, \pi_2)^1 = (1, 0, 0) \begin{pmatrix} 0.9983 & 0.0014 & 0.00008 \\ 0.0014 & 0.9722 & 0.00008 \\ 0.0262 & 0.00008 & 0.9737 \end{pmatrix} =$$

$$(\pi_0, \pi_1, \pi_2)^1 = (0.9983 \ 0.0014 \ 0.00008) \begin{pmatrix} 0.9983 & 0.0014 & 0.00008 \\ 0.0014 & 0.9722 & 0.00008 \\ 0.0262 & 0.00008 & 0.9737 \end{pmatrix}^2$$

Conditions initiales :

$$(a_0, a_1, a_2) = ()$$

Après quatre ans

$$\pi_2 = \pi \times P^4$$

$$(\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2) = (0.9949 \quad 0.0040 \quad 0.0002)$$

Après N=(5) Ans n=(10)

Dans le cas de régime stationnaire les équations de système s'écrivent :

$$\pi_n = \pi \times P^n \Rightarrow (\pi_n = \pi) \Rightarrow \pi = \pi \times P^n$$

l'équation sous forme matricielle de système s'écrit :

$$\pi = \pi \times P^n$$

$$\sum \pi_j = 1 \quad \text{et} \quad \pi_j = (\pi_0, \pi_1, \pi_2)$$

$$(\pi_0, \pi_1, \pi_2) = (\pi_0, \pi_1, \pi_2) \begin{pmatrix} 0.988 & 0.01075 & 0 \\ 0.0106 & 0.884 & 0.0012 \\ 0 & 0.00029 & 0 \end{pmatrix}^5 = \begin{pmatrix} 0.9915 & 0.0065 & 0.0003 \\ 0.0066 & 0.8685 & 0.0003 \\ 0.1238 & 0.0007 & 0.8752 \end{pmatrix}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} -0.0085\pi_0 + 0.0070\pi_1 + \pi_2 = 0 \\ 0.0066\pi_0 - 0.1315\pi_1 + 0.0003\pi_2 = 0 \\ \pi_0 + \pi_1 + \pi_2 = 1 \end{cases}$$

Pour savoir si la **méthode de cramer** nous trouve :

$$\pi_j = (\pi_0, \pi_1, \pi_2)^T = (0.0369 \quad 0.0040 \quad 0.9590)$$

| Probabilité d'avoir n élément en panne | | |
|----------------------------------------|---------|---------|
| π_0 | π_1 | π_2 |
| 3.69% | 0.40% | 95.89% |

Tableau III. 7 Résultat de la disponibilité

III.11.2. Calcul de la fiabilité (FOUR 02)

- Equation d'état du système

Régime stationnaire

$$P_0 \lambda = P_1 \mu$$

$$P_1 = \frac{\lambda}{\mu} P_0 \Rightarrow P_1 = \rho P_0$$

$$P_2 = \lambda P_0$$

D'où la matrice de transition P

$$\left. \begin{aligned} P_0 &= 1 - P_1 - P_2 \\ P_1 &= \rho P_0 \\ P_2 &= \rho P_1 \end{aligned} \right\} \Rightarrow P_0 = \frac{1}{1 + \rho(1 + \lambda)}$$

Application numérique

$$P_0 = \frac{1}{1 + \rho(1 + \lambda)} = 0.9453$$

$$P_1 = \rho P_0 = 0.0545$$

$$P_2 = \lambda P_1 = 0.00008$$

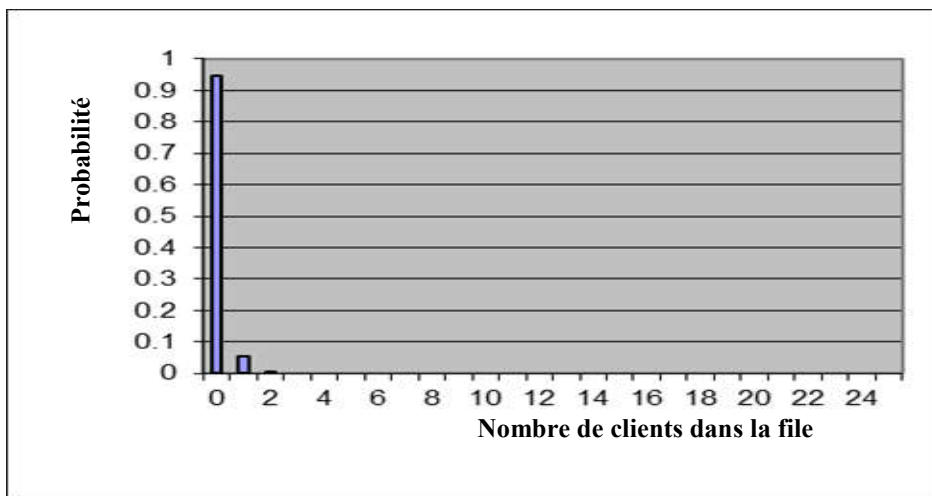


Fig III. 11 Histogramme Probabilité des clients dans le système, (fiabilité).

D'où la matrice de transition P dans le système la fiabilité

$$P = \begin{pmatrix} 1 - \lambda & \lambda_0 \lambda & \lambda(1 - \lambda_0) \\ P_1 \mu & 1 - (\lambda + \mu) & P_1 \lambda \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.9985 & 0.0014 & 0.00008 \\ 0.0014 & 0.9722 & 0.00008 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} =$$

$$(a_0, a_1, a_2) = (1, 0, 0)$$

Après deux ans

$$(\pi_0, \pi_1, \pi_2) = (1 \ 0 \ 0) \begin{pmatrix} 0.9985 & 0.0014 & 0.00008 \\ 0.0014 & 0.9722 & 0.00008 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} =$$

Conditions initiales :

$$(\pi_0, \pi_1, \pi_2) = (0.9985 \ 0.0014 \ 0.00008)$$

Après quatre ans

$$\pi_2 = \pi \times P^{M2}$$

$$(\pi_0, \pi_1, \pi_2) = (0.9985 \quad 0.0014 \quad 0.00008) \begin{pmatrix} 0.9985 & 0.0014 & 0.00008 \\ 0.0014 & 0.9722 & 0.00008 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}^2$$

$$(\pi_0, \pi_1, \pi_2) = (0.9955 \quad 0.0040 \quad 0.00007)$$

Après N=(5) Ans (10)

Dans le cas de régime stationnaire s'écrit:

$$\pi_n = \pi \times P^n \Rightarrow (\pi_n = \pi) \Rightarrow \pi = \pi \times P^n$$

l'équation sous forme matricielle de système s'écrit:

$$\pi = \pi \times P^n$$

$$\begin{aligned} (\pi_0, \pi_1, \pi_2) &= (\pi_0, \pi_1, \pi_2) \\ \begin{pmatrix} 0.9925 & 0.0018 & 0 \\ 0.0181 & 0.9585 & 0.000005 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}^n &= \begin{pmatrix} -0.0075 & 0.0066 & 0.00007 \\ 0.0066 & -0.1315 & 0.00007 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \Rightarrow \\ \begin{cases} -0.0075\pi_0 + 0.0066\pi_1 + 0.00007\pi_2 = \pi_0 \\ 0.0066\pi_0 - 0.1315\pi_1 + 0.00007\pi_2 = \pi_1 \\ \pi_0 + \pi_1 + \pi_2 = 1 \end{cases} \end{aligned}$$

Pour savoir si la **méthode de cramer** nous trouve :

$$\pi_j = (\pi_0, \pi_1, \pi_2) = (0.0101 \quad 0.001 \quad 0.9888)$$

- Le calcul de la fiabilité

Tableau III. 8 Résultat de la fiabilité

| Probabilité d'avoir n élément en panne | | |
|----------------------------------------|---------|---------|
| π_0 | π_1 | π_2 |
| 1.010% | 0.100% | 98.87% |

III.12. Résultats des paramètres de la maintenance (Four01)

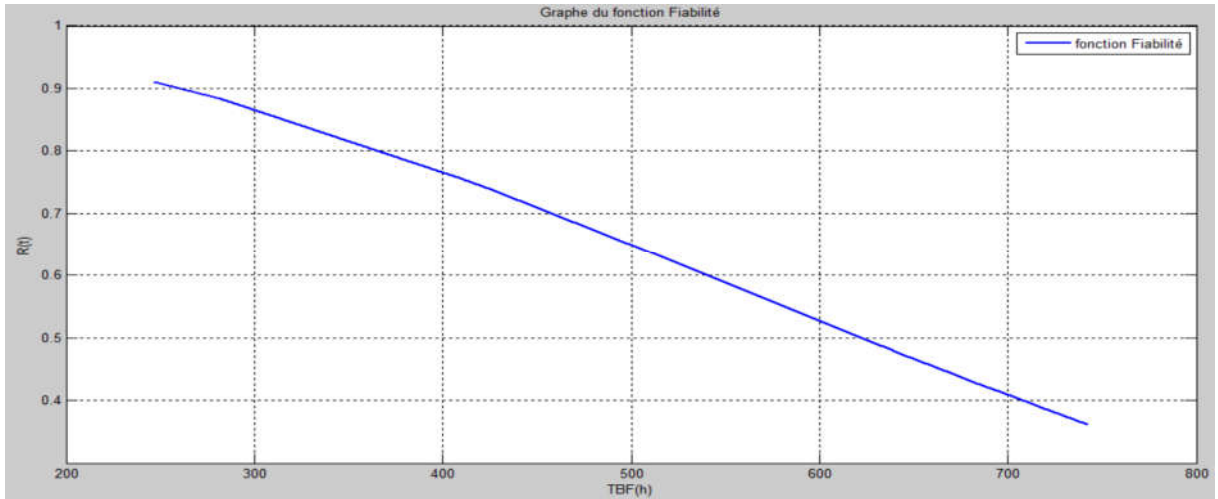


Fig III. 12 Graphe du fonction Fiabilité.

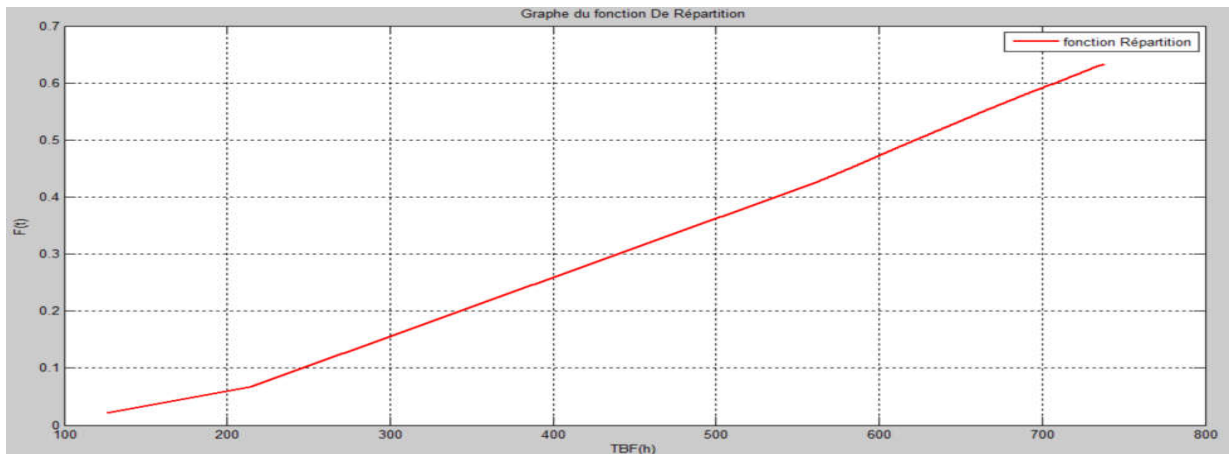


Fig III. 13 Graphe du fonction de Répartition.

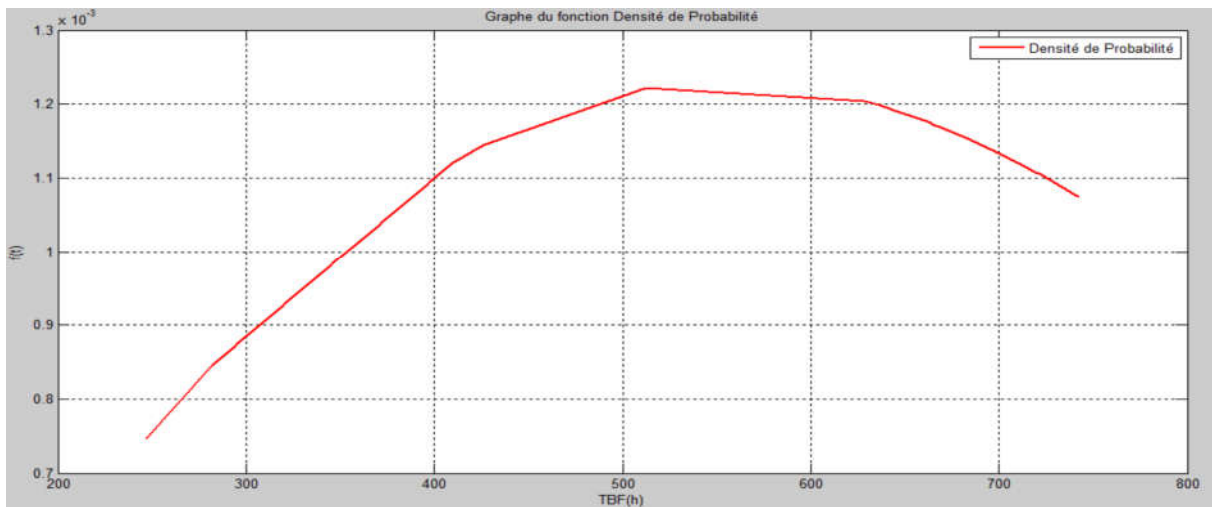


Fig III. 14 Graphe du fonction Densité de Probabilité.

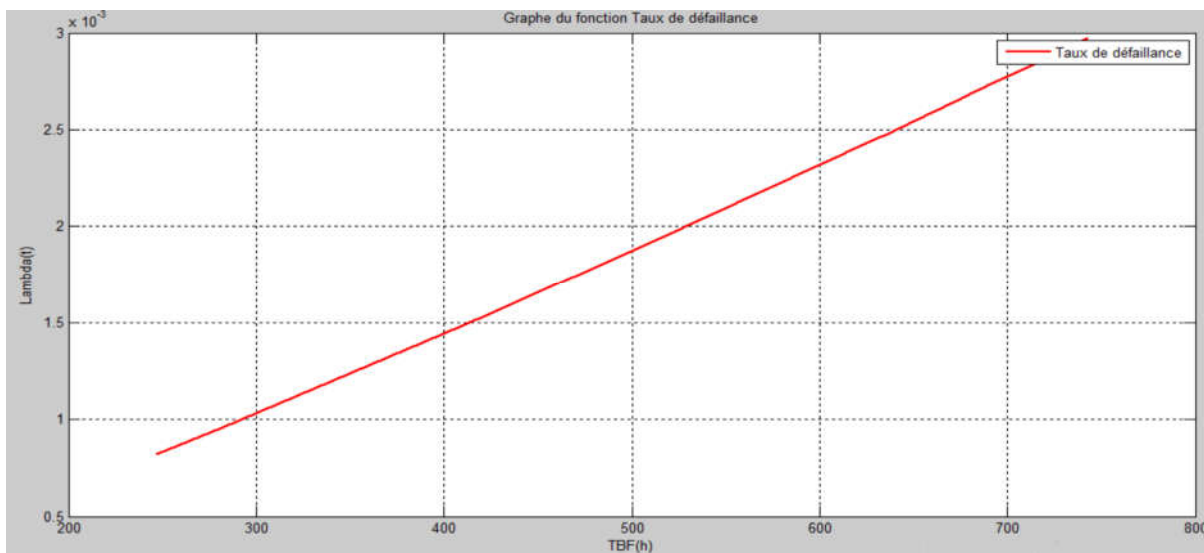


Fig III. 15 Graphe du fonction Taux de défaillance.

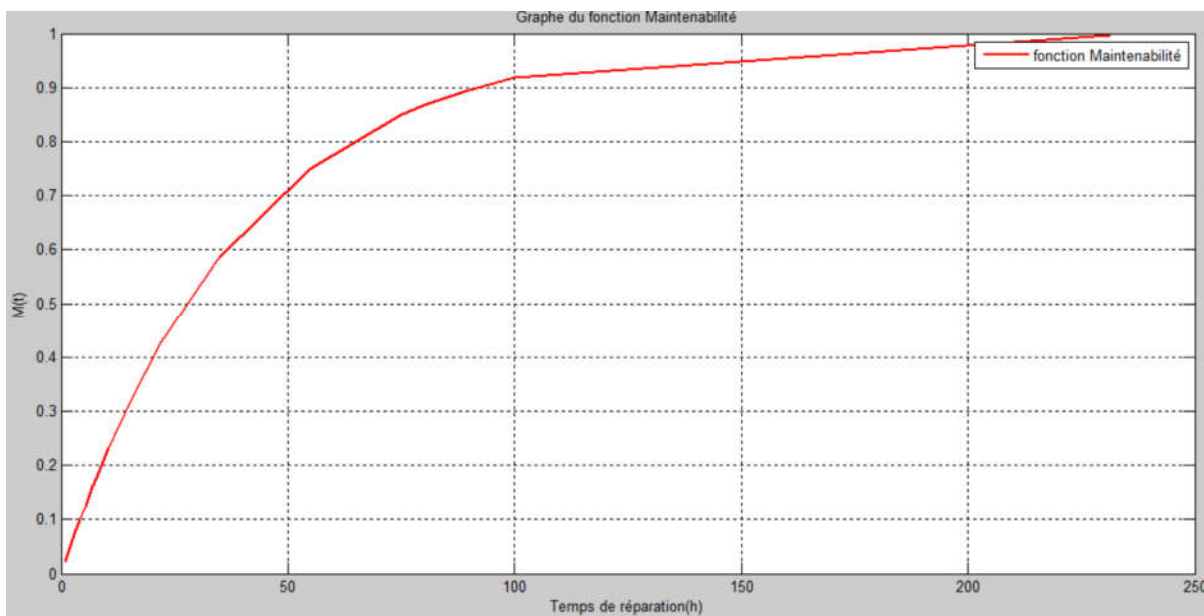


Fig III. 16 Graphe du fonction Maintenabilité.

III.13. Résultats des paramètres de la maintenance (Four02)

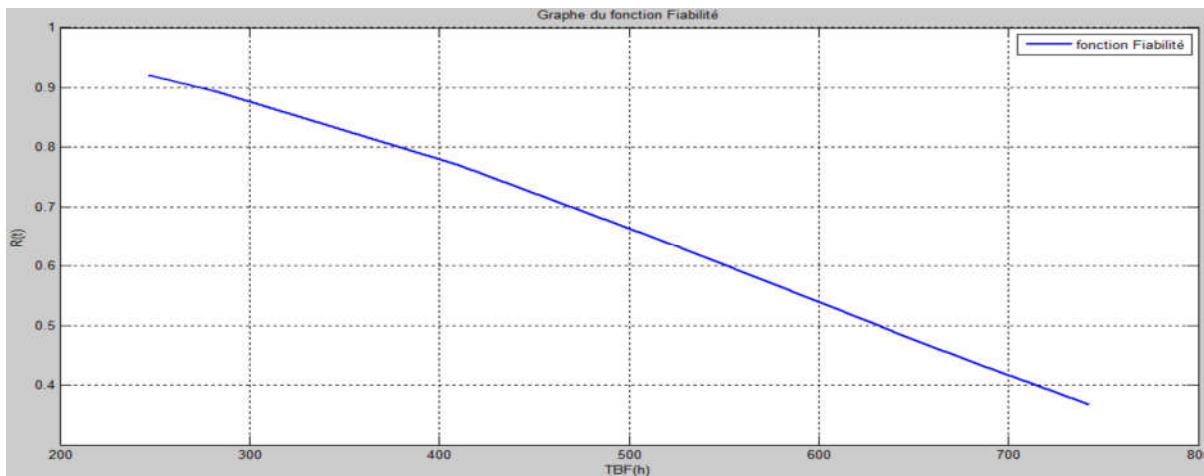


Fig III. 17 Graphe du fonction Fiabilité.

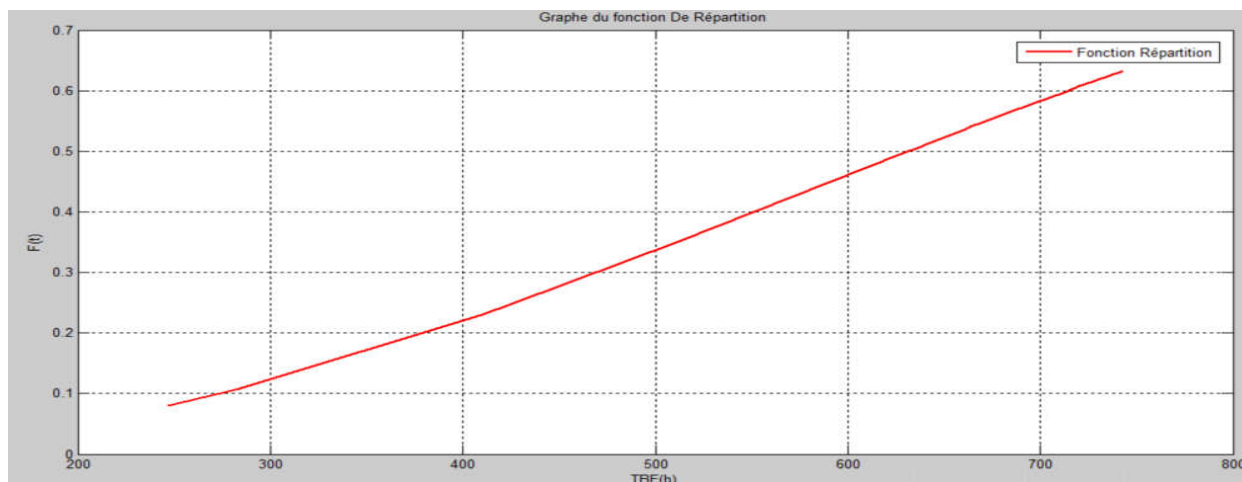


Fig III. 18 Graphe du fonction de Répartition.

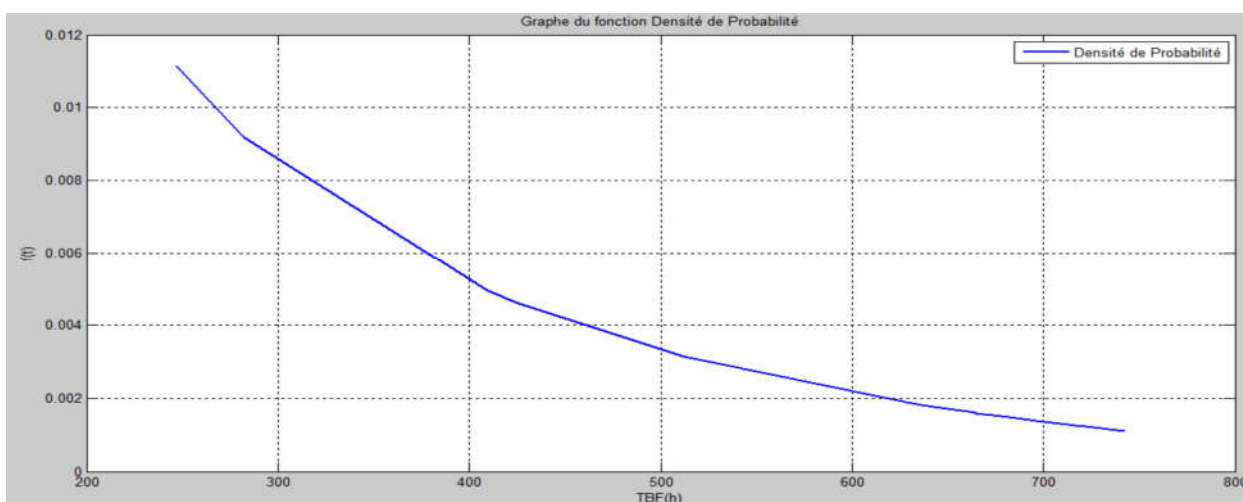


Fig III. 19 Graphe du fonction Densité de Probabilité.

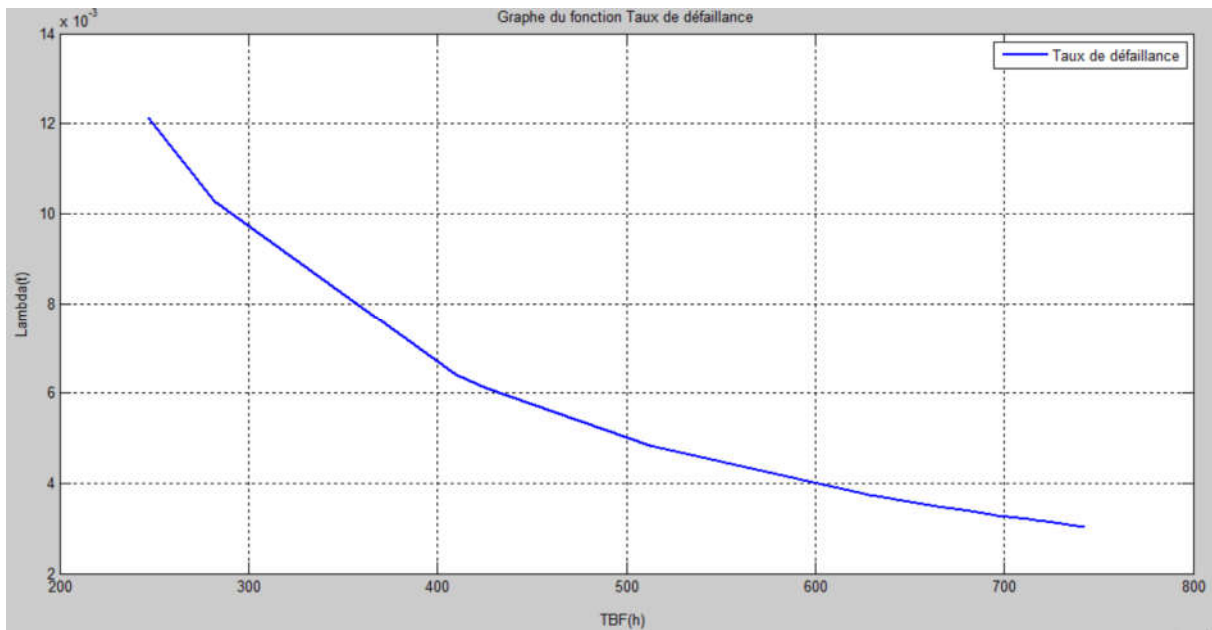


Fig III. 20 Graphe du fonction Taux de défaillance.

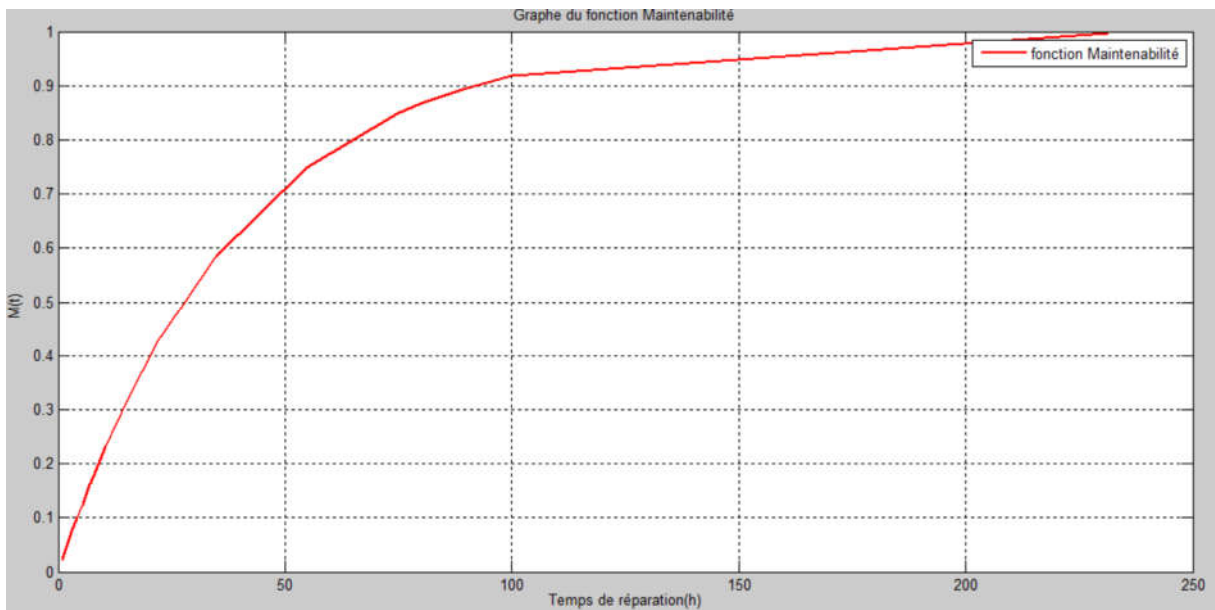


Fig III. 21 Graphe du fonction Maintenabilité.

III.14. Interprétation des courbes

- ❖ La fiabilité est probabilité de non-défaillance d'un équipement sur un intervalle de temps donné. La courbe de $R(t)$ est une courbe descendante, le moyen du temps de bon

fonctionnement est 651.241 heures (four I) et 656.405 h (four II) La fiabilité de ces derniers est jugée comme étant acceptable.

- ❖ La courbe de la fonction de répartition, représente la probabilité cumulée de défaillance, La fonction de répartition $F(t)$ augmentée avec l'augmentation des temps de réparation.
- ❖ La courbe de $f(t)$ représente la probabilité instantanée de défaillance, dans ce cas l'augmentation du Temps d'arrêt provoque une diminution de sa fiabilité et augmente la probabilité de présence d'un défaut ou de défaillance.
- ❖ La courbe qui représente le taux de défaillance à un instant donné est une courbe croissante.

Les défaillances sont dues à des anomalies ou des imperfections de montage ou à la méconnaissance de la conduite des matériels de la part des opérateurs.

$\lambda(t)$ augmente aussi avec l'augmentation du temps de bon fonctionnement cette augmentation qui provoque la diminution de fiabilité des fours.

- ❖ La courbe qui représente la maintenabilité $M(t)$ est croissante, qui est le complément à l'unité de la probabilité pour que le système ne soit pas réparé sur cette période $[0, t]$.

III.15. Propositions pour améliorer la disponibilité et la fiabilité

Pour avoir une meilleure disponibilité et une adéquate fiabilité, il faut réaliser les opérations suivantes:

Constituer un groupe de cadres et de techniciens spécialisé dans le domaine d'exploitation des four01 et four02.

- ✓ Elaborer un programme de maintenance préventive correspondant aux besoins de la ligne.
- ✓ Constituer le support d'information pour l'historique.
- ✓ Travailler en étroite collaboration avec tous les autres services de l'entreprise.
- ✓ Assurer un contrôle rigoureux des opérations de maintenance.

III.16. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons donné les caractéristiques principales pour évaluer la fiabilité et la disponibilité des fours de la société LAFARGE, par l'articulation sur l'historique des pannes, qui permet de déterminer les indices qui interviennent dans le calcul des paramètres de la fiabilité.

En suite nous avons montré comment on peut évaluer la fiabilité et disponibilité du système de maintenance des fours à l'aide de la théorie des chaînes de MARKOV, qui est la base des réseaux de files d'attente.

Enfin nous avons donné des représentations graphiques des fonctions de la fiabilité et la maintenabilité des fours par l'utilisation des données de retours d'expérience et la programmation par MATLAB, à but de proposer des remèdes d'amélioration de la fiabilité et de disponibilité.

Chapitre IV

Progression des paramètres d'accéléromètre piézorésistif

Chapitre IV. Amélioration des files d'attente par Progression des paramètres d'accéléromètre piézorésistif

IV.1. Introduction

L'application des files d'attente sur un système de production nécessite l'utilisation d'un réseau des capteurs pour collecter les informations sur leur état de fonctionnement, les capteurs utilisés sont: capteurs de vibration, capteurs de température, capteurs de positionext.

L'amélioration des capteurs de vibration nous permette de progresser les paramètres de la file d'attente qui interviennent sur la sureté de fonctionnement.

Plusieurs recherches ont été fait sur les files d'attente ont pour but d'optimiser les performances de la maintenance tels que la fiabilité, maintenabilité et la disponibilité des systèmes électromécanique.

La file d'attente est une technique de recherche d'opération pour modéliser un phénomène d'admission des systèmes en attente, calculer sa performance et déterminer ses caractéristiques pour aider les gestionnaires dans leur prise de décision.

Les files d'attente se forment lorsque les clients arrivent aléatoirement pour être servis. Les exemples les plus courants de la vie quotidienne sont les coffres de supermarchés, les restaurants rapides, les guichets d'aéroports, les cinémas, les bureaux de poste, les banques. Cependant, en parlant d'attente, nous pensons souvent aux gens. Maintenant, les «clients» sont également en attente de commandes en attente de traitement, les camions attendant le chargement ou le déchargement, les réparations en attente dans les machines, les programmes informatiques en attente d'exécution, les avions en attente de la permission de décoller, les navires en attente de remorquage, les autoroutes arrêtent les panneaux, les patients en situation d'urgence Chambres ,[48].

La relation entre la méthode de file d'attente et l'accéléromètre est la précision de mesure. Ainsi, un accéléromètre précis peut fournir des informations correctes qui influent positivement sur la précision de la méthode de file d'attente.

IV.2. Principe et objectif de la méthode des files d'attente

Le but de l'analyse de file d'attente est de minimiser le coût total, ce qui équivaut à la somme de deux coûts: le coût associé à la capacité de service mis en place (coût du service) et le coût associé aux attentes du client (coût d'attente). Le coût du service est de maintenir le coût d'un certain niveau de service, par exemple, le coût associé au nombre de cas dans un supermarché, le numéro de réparation dans un centre de maintenance, le numéro du compteur dans une banque, le nombre de voies d'autoroute, etc.

Dans le cas des ressources inoccupées, la capacité est une valeur perdue car elle n'est pas importante. Les frais d'attente comprennent les salaires versés aux employés en attente d'exécution de leur travail (mécanique en attente d'un outil, conducteur en attente de déchargement du camion, etc.), le coût de l'espace disponible pour l'attente (taille de la salle d'attente dans une clinique, La longueur d'une rondelle de voiture, du kérosène consommé par des avions en attente d'atterrir, etc.) et, bien sûr, le coût associé à la perte de clients impatients qui s'adressent aux concurrents.

En pratique, lorsque le client est externe à l'entreprise, le coût d'attente est difficile à évaluer, car il s'agit d'un impact plutôt que d'un coût qui peut être pris en compte. Cependant, les temps d'attente peuvent être considérés comme un critère pour mesurer le niveau du service. Le gestionnaire décide du temps d'attente acceptable, tolérable, et établit la capacité de fournir ce niveau de service.

Lorsque le client est interne à l'entreprise, les clients sont les machines, les commis et l'équipe de maintenance; nous pouvons établir directement certains coûts liés à Temps d'attente des clients (machines), [48].

Dans ce travail, les performances des accéléromètres piézorésistif sont améliorées pour planifier et organiser la méthode de file d'attente pour les défauts des machines. Ces défauts détectés par les accéléromètres sont classés en fonction de leur influence sur la production des industries pour minimiser le temps d'arrêt et réduire le coût de l'entretien.

IV.3. Modélisation de l'accéléromètre

Les accéléromètres piézorésistif fonctionnent en mesurant la résistance électrique d'un matériau lorsque des contraintes mécaniques sont appliquées. Les résistances sont normalement configurées

dans un circuit en pont Wheatstone, qui fournit une variation de tension de sortie proportionnelle à l'accélération (Fig. IV.1).

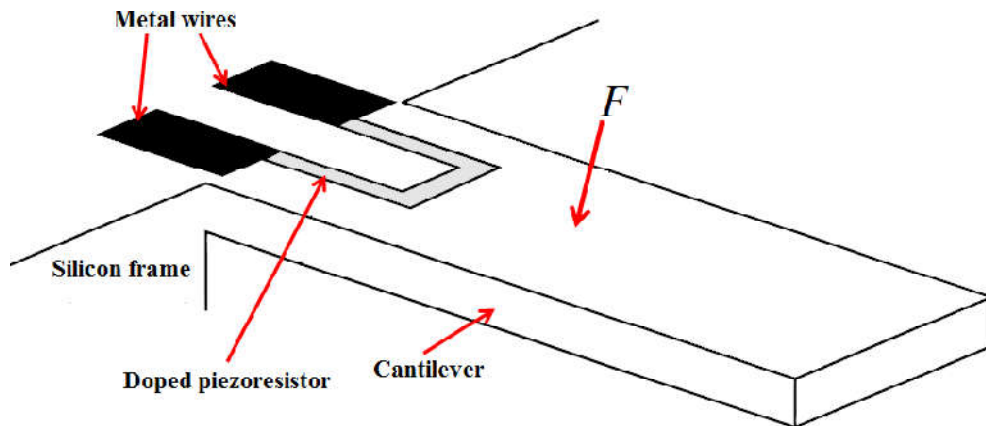


Fig IV. 1 Accéléromètre piézorésistif

L'accéléromètre est considéré comme une masse (m) montée à la fin d'un faisceau produisant une rigidité à ressort K et un amortisseur fournissant un coefficient de friction C (figure IV.2).

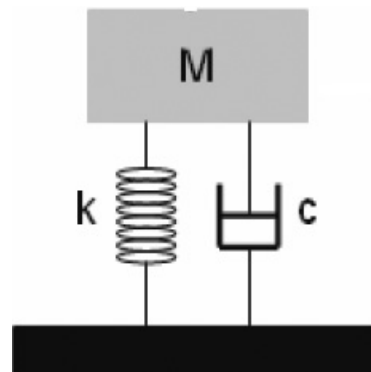


Fig IV. 2 Modélisation de l'accéléromètre piézorésistif.

Les variables x et y sont des déplacements de masse. Pour une force d'excitation, où y est l'amplitude des vibrations et ω La fréquence relative, le déplacement de la masse m est donné par l'équation suivante:

$$z(t) = x(t) - y(t) \quad (IV.1)$$

Où $z(t)$ représente le mouvement relatif de la masse (m) selon la base de la structure et $y(t)$ représente l'amplitude du mouvement.

En appliquant la loi de Newton, l'équation du mouvement sera :

$$m s^2 x(s) = -k(x(s) - y(s)) - c s (x(s) - y(s)) \quad (IV.2)$$

$$m s^2 x(s) + c s (x(s) - y(s)) + k(x(s) - y(s)) = 0 \quad (IV.3)$$

s est le coefficient de Laplace

D'après l'équation (IV.1), les équations suivantes sont obtenus:

$$s x(s) = s (z(s) + y(s)) \quad (IV.4)$$

$$s^2 x(s) = s^2 (z(s) + y(s)) \quad (IV.5)$$

Une équation différentielle de second ordre avec sa variable représentant le mouvement relatif est obtenue en remplaçant (IV.1), (IV.4) et (IV.5) dans (IV.3) :

$$m s^2 z(s) + c s z(s) + k z(s) = - m s^2 y(s) \quad (IV.6)$$

Par simplification, nous trouvons :

$$(m s^2 + c s + k) z(s) = - m s^2 y(s) \quad (IV.7)$$

La fonction de transfert de l'accéléromètre piézorésistif qui relie l'amplitude détectée par l'accéléromètre (la sortie de l'accéléromètre) par l'amplitude du mouvement vibratoire (l'entrée de l'accéléromètre) est :

$$[Z(s) / Y(s)] = -m s^2 / (m s^2 + c s + k) \quad (IV.8)$$

On prend:

$$\omega_n = (k/m)^{1/2} \quad (IV.9)$$

$$\xi = c / (2m\omega_n) \quad (IV.10)$$

En simplifiant la formule précédente (IV.8), nous obtenons :

$$[Z(s) / Y(s)] = - s^2 / (s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2) \quad (IV.11)$$

Avec:

Z: module du mouvement relatif de l'accéléromètre

Y : Amplitude du mouvement

ξ :taux d'amortissement

ω_n : fréquence naturelle

ω : fréquence relative

Les critères d'évaluation de performance de l'accéléromètre piézorésistif sont:

- Stabilité,
- Précision,
- Vitesse
- Dépréciation de l'erreur.

L'accéléromètre idéal est un système avec une bonne stabilité et une grande précision avec un état transitoire rapide et bien amorti.

IV.4. Simulation du modèle mathématique

Dans ce travail, on considère deux accéléromètres, l'un utilisé dans les essais expérimentaux et l'autre proposé. Avant la simulation du modèle développé, il est important de connaître les paramètres de l'accéléromètre piézorésistif.

Les paramètres de l'accéléromètre utilisé dans les essais expérimentaux sont: le taux d'amortissement égal à 0,6 et la fréquence naturelle égale à 400 Hz. Si on remplace ces paramètres dans l'équation (IV.11), on obtient l'expression suivante:

$$[Z(s)/Y(s)] = -s^2 / (s^2 + 480s + 160000) \quad (\text{IV.12})$$

Alors que les paramètres de l'accéléromètre proposé sont: le taux d'amortissement égal à 0,67 (notre choix) et une fréquence naturelle égale à 400Hz. Donc l'équation (IV.11) devient:

$$[Z(s)/Y(s)] = -s^2 / (s^2 + 536s + 160000) \quad (\text{IV.13})$$

Un programme écrit en MATLAB est utilisé pour simuler les équations (IV.12) et (IV.13). Les résultats de la réponse indicielle, de la réponse impulsionnelle, du diagramme de Bode et du lieu de racine sont représentés sur les Fig. 3-6, respectivement.

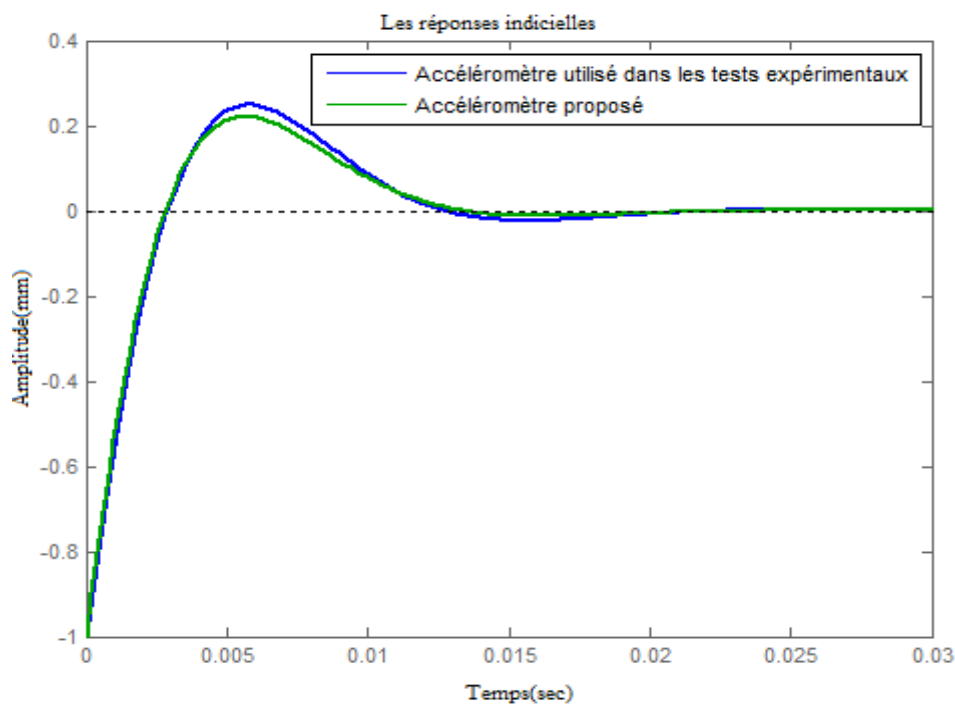


Fig IV. 3 Les réponses indicielles pour deux accéléromètres piézorésistif

La figure IV.3 montre les réponses indicielles pour deux accéléromètres piézorésistif, l'un utilisé dans les essais expérimentaux et l'autre proposé. A partir de ces réponses, le pourcentage d'excès et le temps de montée de chaque accéléromètre peuvent être extraits graphiquement et les résultats obtenus sont comparés. Les résultats sont résumés dans le tableau IV.1.

| Paramètres | Dépassement (%) | Temps de montée |
|-----------------------------------------------------|-----------------|-----------------|
| Accéléromètre utilisé dans les essais expérimentaux | 24.81 | 0.0029 |
| Accéléromètre proposé | 22.08 | 0.0028 |

Le tableau(IV.1) montre les résultats obtenus à partir les deux réponses indicielles de l'accéléromètre utilisé dans les essais expérimentaux et l'accéléromètre proposé.

À partir de la comparaison de ces deux résultats, on peut conclure que l'accéléromètre piézorésistif proposé est plus stable, plus précis, plus rapide et bien amorti que l'accéléromètre utilisé dans l'expérience (accéléromètre existant).

La réponse impulsionnelle est obtenue lorsque l'entrée du système est une impulsion, c'est-à-dire une variation brève et soudaine du signal. En fait, lorsqu'une impulsion est fournie à l'entrée d'un système linéaire, la sortie n'est généralement plus une impulsion, mais un signal ayant une certaine durée. La réponse impulsionnelle permet la représentation de l'accéléromètre en fonction de son entrée et sa sortie uniquement, par opposition à une représentation d'état (Fig. IV.4).

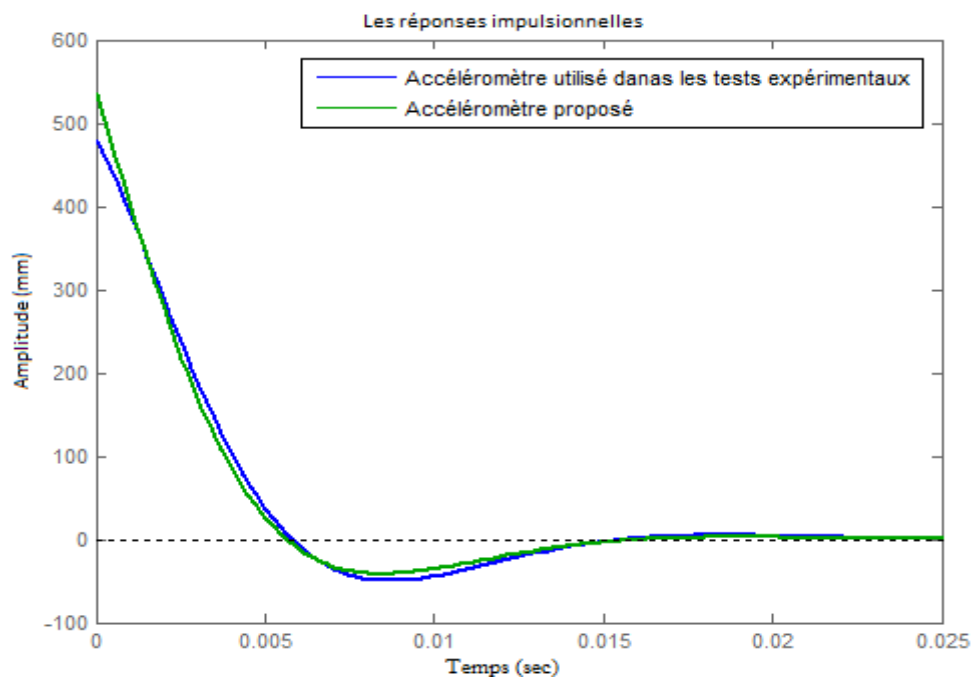


Fig IV. 4 Les réponses impulsionnelle pour deux accéléromètres

La figure 4 présente deux réponses impulsionnelle, la première est la réponse de l'accéléromètre piézorésistif utilisé dans l'expérience et la deuxième est la réponse de l'accéléromètre proposé.

Le diagramme Bode est un moyen de représenter le comportement de fréquence de l'accéléromètre piézorésistif. Il permet une résolution graphique simplifiée, en particulier, pour l'étude de la fonction de transfert d'un système contrôlé. Il sert à localiser rapidement la marge de gain, la marge de phase, le gain en courant continu, la bande passante, le rejet de perturbation et la stabilité de l'accéléromètre (Fig. IV.5).

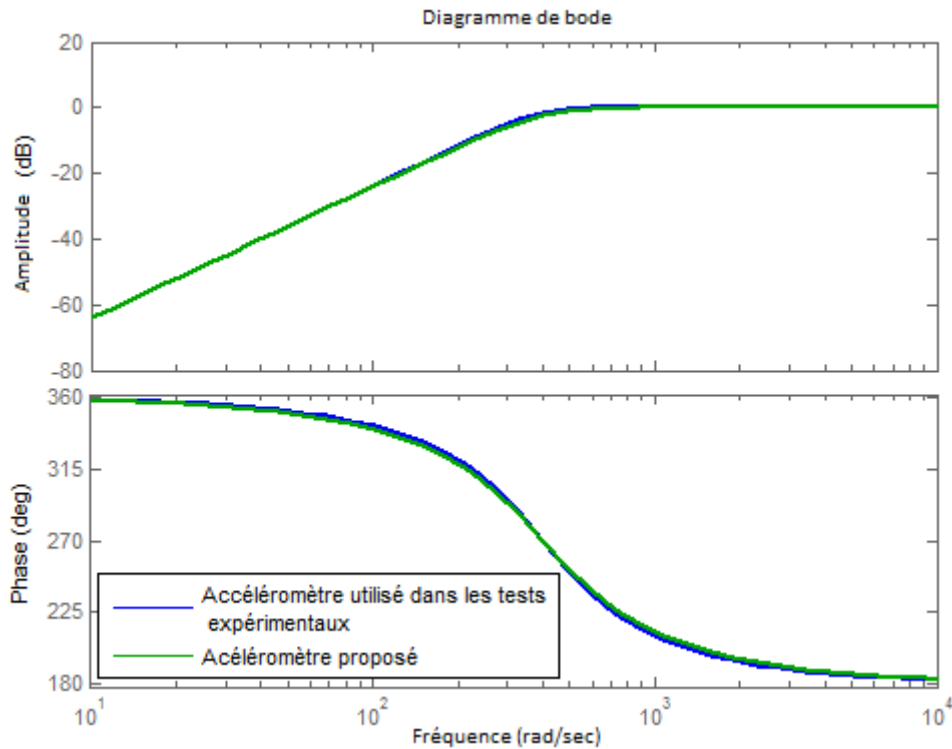


Fig IV. 5 Diagrammes de Bode pour les deux accéléromètres

La figure (IV.5) montre deux diagrammes de Bode, le premier est le diagramme de Bode de l'accéléromètre piézorésistif utilisé dans l'expérience et le second est le diagramme de Bode de l'accéléromètre proposé.

Le lieu de la racine peut être utilisé pour concevoir le taux d'amortissement et la fréquence naturelle d'un accéléromètre piézorésistif. Les lignes de taux d'amortissement constant peuvent être dessinées radialement à partir de l'origine et les lignes de fréquence naturelle constante peuvent être dessinées comme arcs avec des points centraux coïncidant avec l'origine (Fig. IV.6).

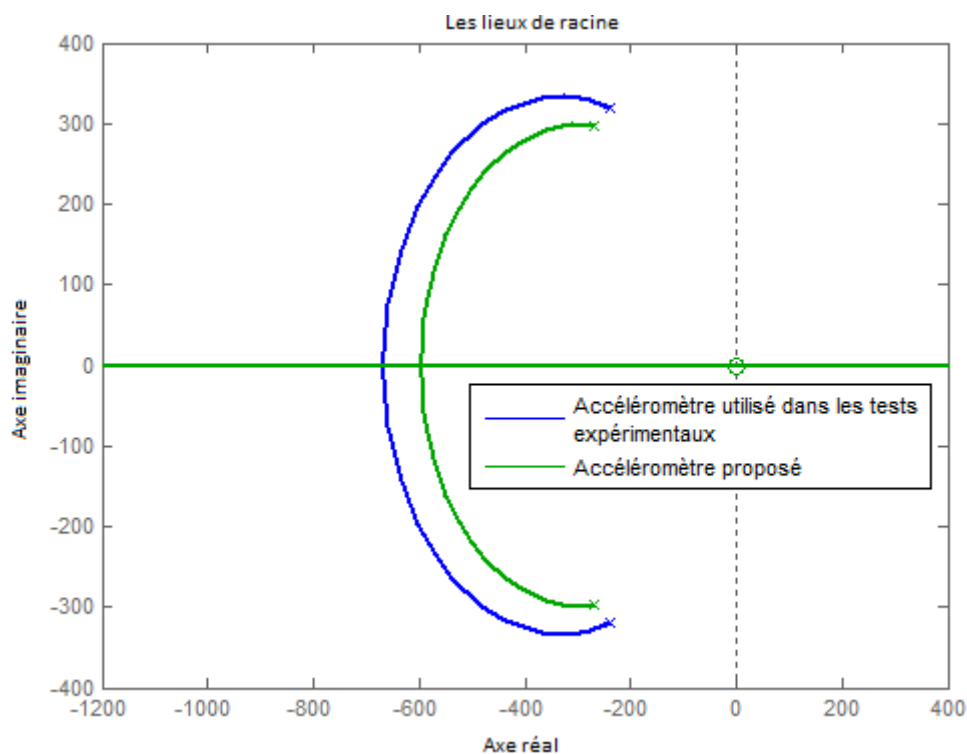


Fig IV. 6 Les lieux de racine pour les deux accéléromètres

Deux lieux de racine peuvent être observés à partir de la figure (IV.6), le premier est le lieu de racine de l'accéléromètre piézorésistif utilisé dans l'expérimentation et le second est le lieu de racine de l'accéléromètre proposé.

Les résultats obtenus montrent une amélioration des paramètres de l'accéléromètre piézorésistif, ce qui implique la précision de l'information fournie par l'accéléromètre et le développement de la méthode de file d'attente.

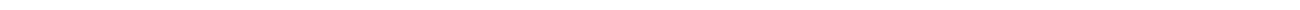
IV.5. Conclusion

Dans ce chapitre, les files d'attente sont utilisées comme une méthode pour améliorer les performances de maintenance. L'information recueillie par l'analyse des vibrations est utilisée pour vérifier l'état du système et voir si une opération de maintenance doit être organisée. Ainsi, pour une décision précise, l'amélioration des paramètres de l'accéléromètre est nécessaire. Pour atteindre cet objectif, la réponse indicielle et impulsionnelle de l'accéléromètre piézorésistif est améliorée en utilisant des paramètres appropriés (le taux d'amortissement et la gamme de fréquences). Des tests de simulation par Matlab ont été effectués pour confirmer cette approche. Les résultats obtenus ont montré la différence entre l'accéléromètre avec les paramètres proposés et l'accéléromètre utilisé dans l'expérience. On peut conclure que les paramètres proposés fournissent un accéléromètre stable et précis.

Afin d'obtenir un système stable, le dépassement doit être minimisé, ce qui réduit le temps de montée. Dans ce travail, un modèle mathématique d'accéléromètre piézorésistant approprié est développé. Par conséquent, deux fonctions de transfert ont été trouvées, la première fonction représente l'accéléromètre piézorésistif utilisé dans l'expérience (taux d'amortissement égal à 0,6) et la seconde fonction représente l'accéléromètre piézorésistif proposé (taux d'amortissement égal à 0,67). Ces fonctions de transfert sont utilisées pour comparer les performances de deux accéléromètres sélectionnés.

Les résultats obtenus par simulation montrent que l'accéléromètre piézorésistif proposé est plus stable, plus précis et plus sensible par rapport à l'accéléromètre utilisé dans l'expérience. Ces paramètres améliorés de l'accéléromètre piézorésistif permettent d'obtenir des informations plus précises, ce qui signifie une décision précise donnée par le procédé de mise en file d'attente.

Conclusion Générale



Conclusion générale

Bien que les méthodes d'évaluation des performances de la maintenance soient divers, les réseaux des files d'attente nous apportent un avantage qui est la prise en compte des dépendances fonctionnelles, ce qui permet une optimisation chiffrée de la fiabilité et de la disponibilité.

Les réseaux des files d'attente permettent de modéliser des processus parallèles ou séquentiels mettant en œuvre des opérations s'effectuant en même temps ou les unes après les autres. Répondu aux besoins de la modélisation des systèmes de production.

une telle démarche nécessite que toute l'entreprise, à travers sa hiérarchie, face redescendre la connaissance et la volonté de prise en charge de la maintenance dans tout le corps actif de la société. Il correspond, à une énorme effort de formation, d'information, de communication qui déclenche, chez chaque individu, une volonté de responsabilisation envers l'entreprise.

En contrepartie cette dernière devra veiller à ce que l'intérêt du travail soit accru, que s'élaborent des politiques d'appréciation des résultats obtenus, des rémunérations, de la promotion et de la concentration. La recherche de l'accroissement des performances des systèmes de production devenus complexes conduit à transférer sur la fonction de maintenance la responsabilité de garantir la disponibilité de tels systèmes. Aussi, on ne cessera , jamais de dire que la maintenance doit s'intégrer à toutes les démarches de l'entreprise pour affirmer son rôle qui est d'assurer une plus grande disponibilité et une pérennité des moyens de production.

Dans cette thèse, les files d'attente sont utilisées comme une méthode pour améliorer les performances de maintenance. L'information recueillie par l'analyse des vibrations est utilisée pour vérifier l'état du système et voir si une opération de maintenance doit être organisée. Ainsi, pour une décision précise, l'amélioration des paramètres de l'accéléromètre est nécessaire. Pour atteindre cet objectif, la réponse indicielle et impulsionnelle de l'accéléromètre piézorésistif est améliorée en utilisant des paramètres appropriés (le taux d'amortissement et la gamme de fréquences). Des tests de simulation par Matlab ont été effectués pour confirmer cette approche. Les résultats obtenus ont montré la différence entre l'accéléromètre avec les paramètres proposés et l'accéléromètre utilisé dans l'expérience. On peut conclure que les paramètres proposés fournissent un accéléromètre stable et précis.

L'utilisation des réseaux des files d'attentes offrant à la fois une puissance de description des systèmes, et constituant une méthode formelle, systématique et structurée, et une richesse de traitement et d'interprétation des modèles résultants nous à permis de modéliser notre système (stock, machine, stratégie de maintenance). De plus, comme ils intègrent un aspect stochastique, ils permettent de prendre en compte des notions aussi aléatoires que le taux de panne d'une machine, le taux de réparation ou encore son taux de service.

Bibliographie

Bibliographie

- [1] **GELEMBE Erol**, Introduction aux réseaux de files d'attente, 1985.
- [2] **BAYNAT B.**, -Théorie des files d'attente : Des chaînes de Markov aux réseaux à forme produit, coll. Réseaux et télécommunications, 2000.
- [3] **A. Bartoli**. Le management dans les organisations publiques, Ed. Dunod, 1997.
- [4] **R. Davis, S. Kollmann, V. Pollex and F. Slomka**, Schedulability analysis for Controller Area Network (CAN) with FIFO queues priority queues and gateways, Real-Time Syst. 49 (2013) 73–116.
- [5] **Estelle Deloux**; POLITIQUES DE MAINTENANCE CONDITIONNELLE POUR UN SYSTEME A DEGRADATION CONTINUE SOUMIS A UN ENVIRONNEMENT STRESSANT. thèse de Doctorat de l'Université de Nantes 2008.
- [6] **R. Sarker, A. Haque**, Optimisation of maintenance and spare provisioning policy using simulation, Applied Mathematical Modelling 24(2000) 751-760
- [7] **AFNOR**, Maintenance industrielle – Fonction maintenance, FD X60-000, Mai, 2002.
- [8] **Anthony Kelly**, Maintenance and the industrial organization. Plant Maintenance Management Set 2006 ; 3(1) : 3-8.
- [9] **EN 13306.**, Terminologie de la maintenance, EN 13306 X60-319, juin, 2001.
- [10] **Castanier B.**, Modélisation stochastique et optimisation de la maintenance conditionnelle des systèmes à dégradation graduelle Thèse de doctorat, Université de Technologie de Troyes, 2002.12.
- [11] **Despujols A**, *Approche fonctionnelle de la maintenance*, MT9020, Techniques de l'ingénieur, Octobre, 2004.14.
- [12] **Pascal Vrignat**. Génération d'indicateurs de maintenance par une approche semi-paramétrique et par une approche markovienne. Université d'Orléans, 2010.
- [13] **Rausand M.** and Hoyland A., System Reliability Theory-Models, Statistical Methods, and Applications, Wiley, second edition, 2004
- [14] **Devarun Ghosh, Sandip Roy**, Maintenance optimization using probabilistic costbenefit analysis. Journal of Loss Prevention in the Process Industries 2009; 22(4): 403-407.
- [15] **Deloux E., Castanier B., and Bérenguer C.**, Optimisation de la politique de maintenance pour un système à dégradation graduelle stressé, 7ème Congrès international pluridisciplinaire Qualité de Sécurité de Fonctionnement, 20, 21 et 22 mars 2007, volume 1, pages 142–149, Tanger (Maroc), 2007.

- [16] **Hafaifa Ahmed, Attia Daoudi and Kouider Laroussi**, Application of fuzzy diagnosis in fault detection and isolation to the compression system protection. Control and Intelligent Systems ACTA Press, July 2011, vol. 39, no. 3, pp. 151-158.
- [17] **Lung B, Morel G, Leger J.B**, *Proactive maintenance strategy for harbour crane operation improvement*, Robotica, vol 21, 2003, pp 313-324.
- [18] **Lyons, M., Adams, S., Woloshynowych, M., Vincent, C**, Human reliability analysis in healthcare: A review of techniques, International Journal of Risk & Safety in Medicine, Vol.16, 2004 pp. 223–237.
- [19] **CEI 50(191)**.. International Electro-technical Vocabulary, Chapter 191: Dependability and quality of service. CEI (1990)
- [20] **Afnor** TERMINOLOGIE RELATIVE A LA FIABILITE –MAINTENABILITE – DISPONIBILITE, afnor-Ute (1988).
- [21] **Pagès A. et Gondran M.** FIABILITE DES SYSTEMES, Eyrolles, (1995)
- [22] **MONCHY F.** « Maintenance : Méthodes et organisation » édition DUNOD, Paris, 2000.
- [23] **houhou Mourad**, «Evaluation de la fiabilité et de la disponibilité des systèmes mécanique par la méthodologie Arde Bayes», thèse de Magistère Université M’hamedBougaraBoumerdes, 2011/2012
- [24] **Afnor** MAINTENANCE CONCEPTS ET DEFINITIONS DES ACTIVITES DEMAINTENANCE, afnor-Ute. (1994)
- [25] **GABRIEL ANTONIO PEREZ CASTANEDA**, « Évaluation par simulation de la sûreté de fonctionnement de système en contacte dynamique hybride», thèse de Doctorat, « université Nancy, institut national polytechnique de lorraine », 2009.
- [26] **E.Cbau**, «introduction à la conception de la sûreté», Schneider Electric, n°144,1999.
- [27] **Fabien Turgis**. Amélioration de la fiabilité d’un système complexe - Application ferroviaire, thèse de doctorat, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis, 2013.
- [28] **Villemeur, A.** Sûreté de fonctionnement des systèmes industriels : fiabilité, facteurs humains, informatisation. Eyrolles, Paris.32. (1988).
- [29] **Lannoy, A.** Analyse quantitative et utilité du retour d’expérience pour la maintenance des matériels et la sécurité. Eyrolles. (1996)
- [30] **A.Heurtel CNRS.** «La gestion des risques techniques (Sûreté de Fonctionnement) et Des risques de management ». ; IN2P3/LAL, Version 2.4 11/12/03
- [31] **Mabrouk. D**, Etude et analyse de la surete de fonctionnement du four par reseaux de petri au niveau de l’acc « m’sila » Mémoire de Magistère, Université Baadji Mokhtar Annaba, 2007

- [32] **Sirris, David Beckers**, Animateur AMDEC (FMEA), 5 S 6 sigma, méthodologie AMDEC Université de Nancy, module méthode AMDEC
- [33] **A. Villemeur**; Sûreté de Fonctionnement des systèmes industriels, Edition Eyrolles, Paris 1987.
- [34] **TAHON Christian** ,« Evaluation des Performances des systèmes de production », Edition Lavoisier 2003.
- [35] **MALIKA BABES**, « statistiques, files d'attente et simulation », 1992.
- [36] **MME BONNES MANIERES**, « ATTENDRE UN PASSE TEMPS POPULAIRE », (Judith Martin, adaptation de HOCINE BOURENANE), source .U.S News et world report, 30/01/1989, p81.
- [37] **ARISTIDE DOSSOU & MARCELLIN C.ASSE**, « contribution a l'amélioration de la gestion des files d'attente à la SBEE.
- [38] **YASMIN ARDA**, « Politiques d'approvisionnement dans les systèmes à plusieurs fournisseurs et Optimisation des décisions dans les chaînes logistiques décentralisées » thèse de doctorat de l'université de Toulouse délivré par l'Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse 2008.
- [39] **MELLE ROSA ABOU**, « les réseaux de files d'attente pour l'évaluation des performances d'un atelier de maintenance».
- [40] **PHAM CONG DUC**, « Cours de Modélisation et d'Evaluation de Performance Files d'attente ».
- [41] **REDOUAN CHARDI EL OUAZZANI** , «Modélisation et analyse des performances des systèmes de production utilisant des stocks tampons à capacités finies»(2007).
- [42] **J.F. PHELIZON** . Méthodes et modèles de la recherche opérationnelle, Economica, (1998).
- [43] **WALID ABDUL-KADER** , «MODELISATION DU DEPLOIEMENT DU STOCK-TAMPON DANS UNE LIGNE DE PRODUCTION» , Thèse présentée à la faculté des études supérieures de l'université Laval pour l'obtention du grade de Philosophie Docteur (Ph.D.) 1997.
- [44] Documents entreprise LAFARGE « le processus de fabrication du ciment ‘ carrière broyage cru et cuisson broyage, stockage, conditionnement, expédition » .
- [45] **M. Petitot** «Modélisation des systèmes complexes » maîtrise d'informatique(2008) .
- [46] **Marc Lichtenberg**, «Introduction aux chaînes de Markov» (2014-2015).
- [47] **Frédéric SUR** «Programmation dynamique, chaînes de Markov, files d'attente » Cours de Tronc Commun Scientifique École des Mines de Nancy (2013/2014)

- [48] **Ivo Adan** and **Jacques Resing** “*Queueing Systems*” Department of Mathematics and Computing Science Eindhoven University of Technology P.O. Box 513, 5600 MB Eindhoven, The Netherlands, March 26, 2015.
- [49] **J. Cai, X. Song, J. Wang and M. Gu**, Reliability analysis for chain topology wireless sensor networks with multiple-sending transmission scheme, *EURASIP J. Wirel. Commun. Netw.* 2014 (2014) 156.
- [49] **V. Pal, Yogita, G. Singh and R. P. Yadav**, Analytical and simulation modeling to analyze reliability state of wireless sensor networks, *Adv. Intell. Syst. Comput.* 353 (2015) 1001–1011.
- [50] **C.-L. Wu**, Improving airline network robustness and operational reliability by sequential optimisation algorithms, *Netw. Spat. Econ.* 6(3) (2006) 235–251
- [51] **E. G. Bakhom**, Ultrahigh-sensitivity pressure and vibration sensor, *IEEE Sens. J.* 11(12) (2011) 3288–3294.
- [52] **J. P. Sebastia, J. A. Lluch and J. R. Lajara Vizcaino**, Vibration detector based on GMR sensors, *IEEE Trans. Instrum. Meas.* 58(3) (2009) 707–712.
- [53] **C. Tse**, Design of a power scalable capacitive MEMS accelerometer front end, thesis, Graduate Department of Electrical and Computer Engineering, University of Toronto (2013).
- [54] **S. J. Rupitsch, F. Wolf, A. Sutor and R. Lerch**, Reliable modeling of piezoceramic materials utilized in sensors and actuators, *Acta Mech.* 223(8) (2012) 1809–1821.
- [55] **S. Kapuria and M. Yaqoob Yasin**, Active vibration control of smart plates using directional actuation and sensing capability of piezoelectric composites, *Acta Mech.* 224(6) (2013) 1185–1199.
- [56] **Z. Ghemari and S. Saad**, Reducing the measurement error to optimize the sensitivity of the vibration sensor, *IEEE Sens. J.* 14(5) (2014) 1527–1532.
- [57] **Z. Ghemari and S. Saad**, Improvement of piezoresistive accelerometer performance, *Proc. 2013 3rd Int. Conf. Systems and Control*, Algiers, Algeria (2013).
- [58] **M. Collotta et al.**, A self-powered wireless sensor network for dynamic management of queues at traffic lights, *Transp. Telecommun. J.* 15(1) (2014) 42–52.
- [59] **Z. Ghemari, F. Chouaf and S. Saad**, New formula for the piezoresistive accelerometer motion acceleration and experimental validation, *J. Adv. Manuf. Syst.* 16(1) (2017) 57–65.

Annexes

