

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE**



**UNIVERSITE DE M'SILA
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE**

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME
DE MASTER EN GENIE ELECTRIQUE
SPECIALITE : INGENIERIE DES SYSTEMES ELECTROMECHANIQUES**

THEME

**EVALUATION DES PERFORMANCES DE LA
MAINTENANCE DES SYSTEMES DE PRODUCTION**

**Proposé et encadré par :
Mr. DEFDAF Mabrouk**

**Présenté par :
TOUAMA Elhadj**

Année Universitaire : 2013/2014

N° d'ordre : 116



Remerciement

Rendre mon profonde gratitude à Dieu le tout puissant qui j'ai aidé à réaliser ce travail.

Ainsi, je tenue également à exprimer mon vif remerciement à mon encadreur **Mr. DEFDAF. Mabrouk** pour avoir d'abord proposé ce thème, pour leur suivi continuel tout au long de la réalisation de ce mémoire et qui n'ont pas cessé de me donner leurs conseils

Je remercie tous les membres du jury qui acceptent de juger mon travail et pour l'intérêt qu'ils l'ont porté.



Dédicace

Avant tous, je remercie Dieu le tout puissant de m'avoir donné le courage et la patience pour réaliser ce travail malgré toutes les difficultés rencontrées.

Je dédie ce modeste travail :

A mes très chers parents

A mes frères

A mes sœurs

A toute ma famille **TOUAMA**

A mes chers amis

A tous les amis d'étude surtout ceux d'électromécanique promotion 2014

SOMMAIRE

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

NOMENCLATEUR

INTRODUCTION GENERALE 1

Chapitre I

Généralités sur la sûreté de fonctionnement

| | |
|---|---|
| I.1. Introduction | 2 |
| I.2. Qu'est-ce que la maintenance? | 2 |
| I.2.1. Histoire | 2 |
| I.3. Définition de la maintenance | 2 |
| I.4. Politique de la maintenance | 3 |
| I.5. Les objectifs de la maintenance | 3 |
| I.5.1. Garantie la production prévue | 3 |
| I.5.2. Amélioration de la qualité du produit | 3 |
| I.5.3. Contribuer au respect des délais | 3 |
| I.5.4. Recherche des coûts optimaux | 3 |
| I.5.5. Assurance de la sécurité des travailleurs et la qualité du milieu de travail | 3 |
| I.5.6. Respecter l'environnement | 4 |
| I.6. L'environnement de la maintenance | 4 |
| I.7. Les niveaux de maintenance | 4 |
| I.7.1. 1 ^{er} niveau de maintenance | 4 |
| I.7.2. 2 ^{ème} niveaux de maintenance | 4 |
| I.7.3. 3 ^{ème} niveaux de maintenance | 5 |
| I.7.4. 4 ^{ème} niveaux de maintenance | 5 |
| I.7.5. 5 ^{ème} niveaux de maintenance | 5 |
| I.8. L'intérêt de maintenance | 5 |
| I.9. Les différents types de maintenance | 5 |
| I.9.1. La maintenance corrective | 6 |
| I.9.1.1. Les opérations de maintenance corrective | 6 |
| I.9.2. La maintenance préventive | 7 |
| I.9.2.1. Les types de maintenance préventive | 7 |

| | |
|--|----|
| I.9.2.2. Les opérations de maintenance préventive | 7 |
| I.10. La sûreté de fonctionnement | 8 |
| I.11. Les concepts de base de la sûreté de fonctionnement | 8 |
| I.11.1. La fiabilité | 8 |
| I.11.1.1. Les différents types de fiabilité | 9 |
| I.11.1.2. Analyse de la fiabilité | 9 |
| I.11.2. La maintenabilité | 10 |
| I.11.2.1. Définition de la maintenabilité | 10 |
| I.11.3. La disponibilité..... | 11 |
| I.11.3.1. Les sortes de la disponibilité | 11 |
| I.11.4. La sécurité..... | 12 |
| I.12. Les outils d'aide à la décision de la sûreté de fonctionnement | 15 |
| I.12.1. Analyse des Modes de Défaillance ,de leurs Effets et de leur Criticité (AMDEC) | 15 |
| I.12.2. Analyse Préliminaire des Risques (APR) | 15 |
| I.12.3. Arbre de Défaillance (AdD) | 15 |
| I.12.4. Réseaux de Petri (RdP) | 15 |
| I.13. Les temps caractéristiques de la sûreté de fonctionnement..... | 16 |
| I.14. Conclusion..... | 17 |

Chapitre II

Généralités sur Les réseaux des files d'attente

| | |
|---|----|
| II.1. Introduction | 18 |
| II.2. Origine de la théorie des files d'attente | 18 |
| II.3. Pourquoi y a-t-il de l'attente | 19 |
| II.4. L'objectif de l'analyse des files d'attente | 19 |
| II.5. Les caractéristiques du système des files d'attente | 19 |
| II.5.1. La population | 20 |
| II.5.2. Le nombre de serveur | 20 |
| II.5.3. Les tendances quant à l'arrivée et au service | 20 |
| II.5.4. Les clients | 21 |
| II.5.5. Les instants d'arrivées | 21 |
| II.5.6. La station | 21 |

| | |
|--|----|
| II.5.7. La file d'attente | 21 |
| II.5.8. Le service | 21 |
| II.5.9. Le temps de service | 22 |
| II.5.10. Le temps d'attente | 22 |
| II.6. File d'attente simple | 22 |
| II.6.1. Processus d'arrivée | 22 |
| II.6.2. Temps de service | 23 |
| II.6.3. Structure et discipline de la file | 23 |
| II.6.3.1. Nombre de serveur | 23 |
| II.6.3.2. Capacité de la file | 23 |
| II.6.3.3. Discipline de service | 23 |
| II.6.4. Notations de Kendall | 24 |
| II.6.5. Notion des classes des clients | 24 |
| II.7. Les réseaux de file d'attente | 24 |
| II.7.1. Les réseaux ouverts | 25 |
| II.7.1.1. Processus d'arrivée | 25 |
| II.7.1.2. Routage des clients | 25 |
| II.7.2. Les réseaux fermés | 26 |
| II.7.3. Les réseaux multiclassés | 26 |
| II.7.4. Les réseaux de file d'attente à capacité limitée | 27 |
| II.8. Les files d'attente markovienne | 27 |
| II.8.1. Chaîne de Markov | 27 |
| II.8.1.1. Les types de Chaîne de Markov | 28 |
| II.8.1.1.1. Chaîne de Markov à temps discret | 28 |
| II.8.1.1.2. Chaîne de Markov à temps continu | 28 |
| II.8.2. La file M/M/1 | 29 |
| II.8.3. La file M/M/1/K | 31 |
| II.8.4. Les relations de base | 33 |
| II.8.4.1. Modèle 1: serveur unique, temps de service exponentiel | 34 |
| II.8.4.1.1. Application du modèle 1 pour déterminer les mesures de performance | 34 |
| II.8.4.2. Modèle 2: serveur unique, temps de service constant | 35 |
| II.9. Conclusion | 36 |

Chapitre III

Description la machine de pasteurisation de lait (LACTA)

| | |
|--|----|
| III.1. Introduction | 37 |
| III.2. Applications de la machine LACTA | 37 |
| III.3. Représentation de la machine LACTA | 37 |
| III.4. Les Composants Principaux de la machine LACTA | 38 |
| III.4.1. Homogénéisateur | 38 |
| III.4.2. Chambre tubulaire | 38 |
| III.4.3. Echangeur de chaleur à plaques | 38 |
| III.4.4. Unité de désaération | 38 |
| III.4.5. Unité de séparation | 39 |
| III.4.6. Module de standardisation automatique | 39 |
| III.4.7. Tableau de commande | 39 |
| III.4.8. Bac tampon | 39 |
| III.4.9. Unité d'eau chaude | 39 |
| III.5. Principe de fonctionnement | 39 |
| III.6. Conclusion | 40 |

Chapitre IV

Détermination les paramètres de la file d'attente et choix la politique de maintenance

| | |
|---|----|
| IV.1. Introduction | 41 |
| IV.2. L'interface environ Matlab | 41 |
| IV.2.1. Les fonctions (SETAPPDATA, GETAPPDATA, et FINDOBJ) | 41 |
| IV.2.2. Le fichier GUI (GUIDATA, GUIHANDLES) | 41 |
| IV.2.3. Les fonctions Inspectors | 42 |
| IV.3. Configuration principale d'interface | 43 |
| IV.4. Blocs d'interface | 43 |
| IV.5. Message de confirmation | 44 |
| IV.6. Exemple de relation de base de la file d'attente dans l'interface | 44 |
| IV.6.1. Les données | 44 |
| IV.6.2. Déclaration des données | 44 |

Sommaire

| | |
|---|----|
| IV.6.3. Résultats obtenus d'après l'exécution par bouton (Calculer) | 45 |
| IV.7. Interprétation des résultats et choix de politique de maintenance | 45 |
| IV.8. Conclusion | 46 |
| Conclusion générale | 47 |
| Annexes | |
| Bibliographie | |

Liste des Figures

Chapitre I

| | |
|--|----|
| Figure I.1. L'assurance du produit | 4 |
| Figure I.2. Organigramme type de maintenance | 6 |
| Figure I.3. Chronologie des temps des activités de maintenance | 10 |
| Figure I.4. Les trois périodes de la courbe en baignoire avec différentes valeurs de β | 12 |
| Figure I.5. Graphe Allan Plait | 13 |
| Figure I.6. Allure d'un taux de défaillance « en baignoire »..... | 14 |
| Figure I.7. Représentation du MTTF, du MUT, du MDT et du MTBF | 17 |

Chapitre II

| | |
|---|----|
| Figure II.1. Système à un seul serveur | 18 |
| Figure II.2. Système multiserveurs (S serveur en parallèles) | 19 |
| Figure II.3. Système de file d'attente simple | 20 |
| Figure II.4. Illustration des deux distributions | 21 |
| Figure II.5. Système d'attente | 22 |
| Figure II.6. Ensembles de M stations inter connectées | 24 |
| Figure II.7. Réseau ouvert des files d'attente | 25 |
| Figure II.8. Réseau fermé des files d'attente | 26 |
| Figure II.9. Réseau mixte des files d'attente | 27 |
| Figure II.10. Chaîne de Markov à temps discret | 28 |
| Figure II.11. Chaîne de Markov à temps continu | 28 |
| Figure II.12. La file M/M/1 | 29 |
| Figure II.13. Diagramme de transition d'un système de file d'attente M/M/1 (λ, μ) | 29 |
| Figure II.14. La file M/M/1/K | 31 |

Chapitre III

| | |
|---|----|
| Figure III.1. Le schéma synoptique de LACTA | 38 |
|---|----|

Chapitre IV

| | |
|--|----|
| Figure IV.1. Menu Principale du Bloc Guide | 42 |
| Figure IV.2. Fenêtre pour Modifier les Caractéristiques des Cases | 42 |
| Figure IV.3. Menu Principale d'Interface de file d'attente | 43 |
| Figure IV.4. Bloc des données..... | 43 |
| Figure IV.5. Bloc d'affichage des résultats numériques | 43 |
| Figure IV.6. Message pour Confirmation la Fermeture de l'Interface | 44 |
| Figure IV.7. Bloc de déclaration des données | 44 |
| Figure IV.8. Les résultats numériques. | 45 |

Liste des Tableaux

| | |
|---|----|
| Tableau II.1. Symboles (modèle avec population infinie) | 33 |
| Tableau II.2. Formules de modèle de base | 34 |

NOMENCLATURE

$R(t)$: la fiabilité

$f(t)$: Densité de probabilité

$F(t)$: La fonction de répartition

$\lambda(t)$: Le taux de défaillance

MTBF : Le moyen de temps de bon fonctionnement

$M(t)$: La maintenabilité

μ : taux de réparation.

D_i : Disponibilité intrinsèque

$D(t)$: Disponibilité instantanée

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

W_q : Le temps moyen passé dans la file d'attente

L_q : 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

P_0 : 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 unité (client) dans le système

Introduction générale

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 des services de maintenance.

La sûreté de fonctionnement est donc un champ d'action privilégié de la recherche d'amélioration des performances des équipements dans l'entreprise. Cependant, les méthodes et les techniques de maintenance ne possèdent pas un caractère unique et universel. En fonction du type des processus industriels à maintenir et de la nature des systèmes et sous-systèmes ou équipements, il faudra mettre en œuvre des méthodes spécifiques tenant compte des technologies déployées selon les cas:

- ✚ Systèmes mécanique (moteurs, pompes, ...).
- ✚ Systèmes numérique programmé.
- ✚ Systèmes hydraulique.
- ✚ Systèmes électrique ou électronique (capteurs, automates programmable), etc.

Cependant, le déploiement des activités de maintenance nécessite l'arrêt total des équipements de production.

Le rôle de service sûreté de fonctionnement 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 disponibilité des matériels. Pour cela l'ingénieur utilise des méthodes et des outils mathématiques afin de calculer et d'évaluer les critères de la sûreté de fonctionnement (fiabilité, maintenabilité, disponibilité) qui permet de prendre des décisions.

Pour minimiser l'impact de ces arrêts sur la production et traiter rapidement les problèmes des arrêts accidentels de la machine de production qui sont considérés comme une source de perturbation et de perte de productivité, les activités de maintenance doivent être intégrées à la gestion de production.

Il s'agit d'un outil mathématique applicable sur les équipements et les machines travaillent en chaîne. Les réseaux des files d'attente, permettent de planifier l'exécution des autres tâches de maintenance, en altérant le moins possible le plan de production, et tout en respectant au mieux la périodicité de maintenance des équipements. [1]

Le travail présenté dans ce mémoire est d'évaluer les performances de la sûreté de fonctionnement (fiabilité, disponibilité,..) d'un système de production réel, par l'utilisation des réseaux des files d'attente.

Ce mémoire est organisé en quatre chapitres, comme suit:

Chapitre I : Généralités sur la sûreté de fonctionnement.

Chapitre II: Généralités sur les réseaux des files d'attente.

Chapitre III : Description la machine de pasteurisation de lait (LACTA).

Chapitre IV : Détermination des paramètres de file d'attente et choix la politique de maintenance.

Chapitre I

Généralités sur la sûreté de fonctionnement

I.1. Introduction

La sûreté de fonctionnement est une activité d'ingénierie qualitative et quantitative. La part qualitative correspond à l'optimisation des études au bureau d'études, elle représente 70% environ de l'activité totale. Les 30% restant représentent la partie dite quantitative qui est consacrée à la maîtrise des risques avant la fabrication à partir des architectures déjà élaborées. C'est donc la phase d'optimisation des architectures des systèmes et de leur mise en œuvre de façon à maximiser, à moindre coût, leur robustesse aux aléas.

La sûreté de fonctionnement est donc une action de réduction des risques et, par voie des conséquences, du coût à l'achèvement. Elle s'exerce donc essentiellement pendant les premières phases des projets, jusqu'à la mise en production.

Cette démarche est une partie de la démarche générale qui, depuis quelques années, est mise en œuvre pour contrôler la fabrication d'un produit ou d'un instrument donné, que l'on désigne sous le nom d'assurance produit.

I.2. Qu'est-ce que la maintenance ?

I.2.1. Histoire

Le terme «maintenance » forgé sur les racines latines, Manus et Tenere est apparu dans la langue française au 12^{ème} siècle, l'étymologiste WACE à trouver la forme maintenance comme celui qui soutient, utilisée en 1169, c'est une forme archaïque de maintenir.

Les utilisateurs anglo-saxons du terme sont donc postérieurs, à l'époque moderne, le mot a réapparu dans le vocabulaire militaire « maintien dans les unités de combat, de l'effectif et du matériel à des niveaux constant », définition intéressante, puisque l'industrie la reprise à son compte en l'adaptant aux unités de production affectées à un « combat économique ».

Avant 1900 : on parle de réparation.

1900 - 1970 : on utilise la notion d'entretien, avec le développement des chemins de fer, de l'automobile, de l'aviation et l'armement pendant les 2 guerres mondiales.

A partir de 1970 : les développements de secteurs à risques et d'outils modernes aboutissent à la mise en œuvre de la maintenance. [1]

I.3. Définition de la maintenance

La maintenance est l'ensemble de toutes les tâches permettant de maintenir ou de rétablir un bien, dans l'état dans lequel il peut accomplir la fonction requise on appelle :

- Bien : Tout équipements «mécanique, électrique,.....etc.» pouvant remplir une tâche bien défini dans la production de l'entreprise.
- La fonction requise : C'est la fonction ou ensemble de fonction d'un bien, considéré comme nécessaires pour un service donné.

- **Selon l'AFNOR** : La maintenance est l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié, ou dans un état où il est en mesure d'assurer un service déterminé.
- **Selon LAROUSSE** : La maintenance est l'ensemble de tous ce qui permet de maintenir ou de rétablir un système en état de fonctionnement. [1]

I.4. Politique de la maintenance

Par l'utilisation des outils d'aide à la décision (ADD, AMDEC, RDP, APR) on peut choisir la politique de maintenance adéquate de telle éléments du système de production, qui permet de :

- sauvegarder le potentiel du matériel.
- programmer les travaux corrective et préventive dans les meilleures conditions.

I.5. Les objectifs de la maintenance

I.5.1. Garantie la production prévue

La planification de la production doit être étudiée conjointement par l'entretien et la production en conciliant les arrêts nécessaires à l'entretien préventif et les recommandations du manufacturier tout en s'ajustant aux programmes de fabrication.[7]

I.5.2. Amélioration de la qualité du produit

La qualité dépend autant de la production que de l'entretien; chacune de ces fonctions aura à rendre compte en cas de baisse de productivité de l'entreprise: erreur d'opération ou défaillance de la machine, matière première défectueuse ou de réglage de la machine, etc.

I.5.3. Contribuer au respect des délais

Il ya une double responsabilité au niveau de l'entretien: on doit connaître exactement l'état des équipements (pièces de rechange, historique des pannes, intervenants, caractéristiques techniques, stock pièces de rechange disponible etc.).

I.5.4. Recherche des coûts optimaux

Mis à part les compétences techniques, le service d'entretien doit être capable d'établir des devis précis et des estimés des coûts relié aux travaux de maintenance.

I.5.5. Assurance de la sécurité des travailleurs et la qualité du milieu de travail

Le service de maintenance doit se préoccuper des accidents que les interventions peuvent occasionner d'une part, pour ses propres tâches (méthode de travail, consignes de sécurité, cadenassage, etc.).

I.5.6. Respecter l'environnement

Au service de maintenance incombe souvent le contrôle des polluants et le rejet des contaminants dans l'environnement. Il n'est pas rare que le matériel non productif mais nécessaire soit négligé (exemple: système de recyclage, dépoussiéreur, filtre, etc.) [7].

I.6. L'environnement de la maintenance

La maintenance s'intègre dans le concept global de la sûreté de fonctionnement, qui lui-même s'intègre dans l'assurance du produit [8].

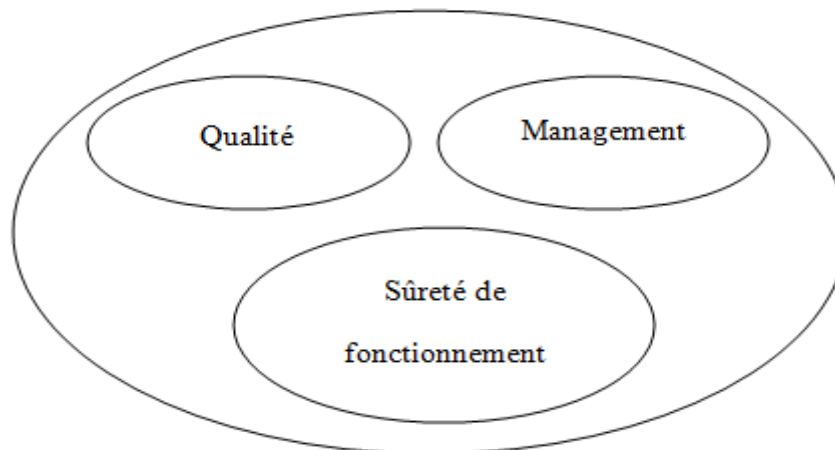


Figure I.1. L'assurance du produit [8].

I.7. Les niveaux de maintenance

Les opérations à réaliser sont classées, selon leur complexité, en cinq niveaux. Les niveaux pris en considération sont ceux de la norme NF X-60-010.

I.7.1. 1^{er} niveau de maintenance

Actions simples nécessaires à l'exploitation et réalisées sur des éléments facilement accessibles en toute sécurité à l'aide d'équipement de soutien intégré au bien. Ce type d'opération peut être effectué par l'utilisateur du bien avec, le cas échéant, les équipements de soutien intégrés au bien et à l'aide des instructions d'utilisation.

I.7.2. 2^{ème} niveaux de maintenance

Actions qui nécessitent des procédures simples et des équipements de soutien (intégrés au bien ou extérieurs) d'utilisation ou de mise en œuvre simple. Ce type d'actions de maintenance est effectué par un personnel qualifié avec les procédures détaillées et les équipements de soutien définis dans les instructions de maintenance. Un personnel est qualifié lorsqu'il a reçu une formation lui permettant de travailler en sécurité sur un bien présentant certains risques potentiels, et est

reconnu apte pour l'exécution des travaux qui lui sont confiés, compte tenu de ses connaissances et de ses aptitudes.

I.7.3. 3^{ème} niveaux de maintenance

Opérations qui nécessitent des procédures complexes et des équipements de soutien portatifs, d'utilisation ou de mise en œuvre complexes. Ce type d'opération de maintenance peut être effectué par un technicien qualifié, à l'aide de procédures détaillées et des équipements de soutien prévus dans les instructions de maintenance.

I.7.4. 4^{ème} niveaux de maintenance

Opérations dont les procédures impliquent la maîtrise d'une technique ou technologie particulière et la mise en œuvre d'équipements de soutien spécialisés. Ce type d'opération de maintenance est effectué par un technicien ou une équipe spécialisée à l'aide de toutes instructions de maintenance générales ou particulières.

I.7.5. 5^{ème} niveaux de maintenance

Opérations dont les procédures impliquent un savoir-faire, faisant appel à des techniques ou technologies particulières, des processus et des équipements de soutien industriels, Par définition, ce type d'opérations de maintenance (rénovation, reconstruction, etc.) est effectué par le constructeur ou par un service ou société spécialisée avec des équipements de soutien définis par le constructeur et donc proches de la fabrication du bien concerné [7]


I.8. L'intérêt de maintenance

Les intérêts de la maintenance sont :

- Diminuer les travaux urgents.
- Faciliter la gestion de la maintenance.
- Favoriser la planification des travaux.
- Rendre possible la préparation, l'ordonnancement et la gestion des stocks.
- Eviter les périodes de dysfonctionnement avant panne, ainsi que les dégâts éventuels provoqués par une panne intempestive.
- Augmenter la sécurité. [7]

I.9. Les différents types de maintenance

 La maintenance corrective.

 La maintenance préventive.

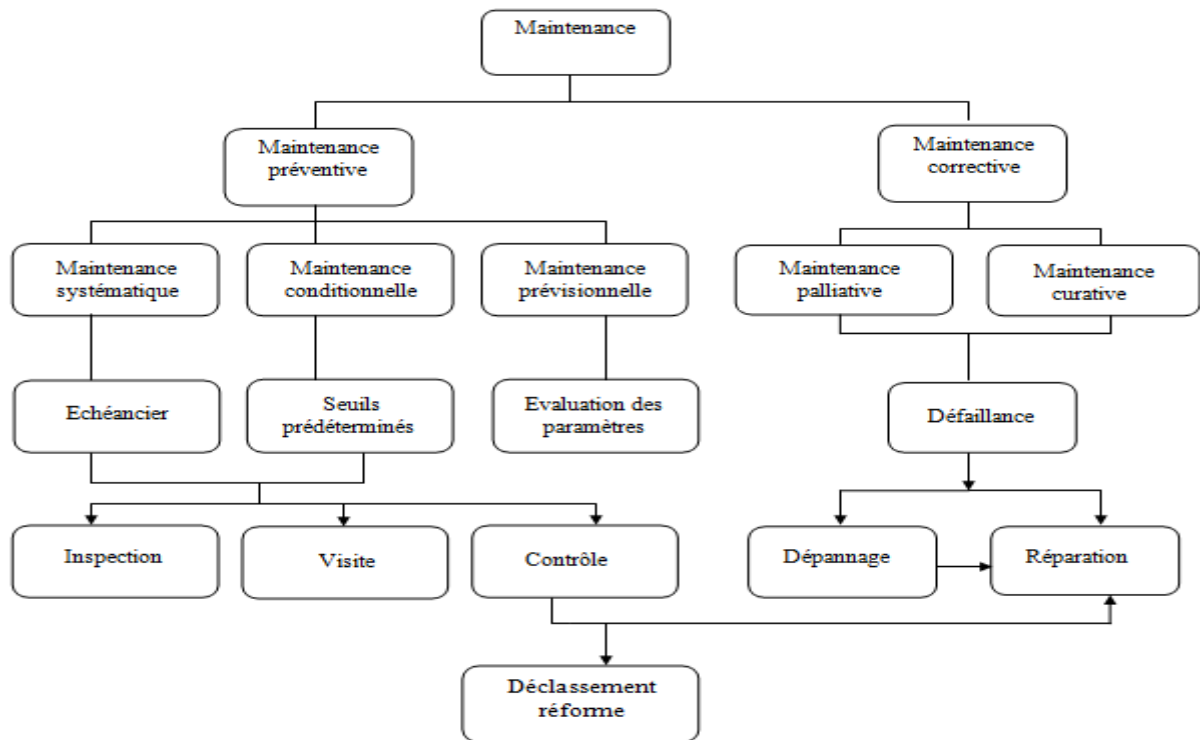


Figure I.2. Organigramme type de maintenance [7]

I.9.1. La maintenance corrective

D'après les normes AFNOR c'est une opération effectuée après défaillance, destinée à rendre la santé aux machines qui l'ont perdue, c'est une maintenance pour les machines vitales de production mais qui trouve son application bien adoptée à certains matériels peu coûteux. [9]

On envisage deux types d'intervention :

- **Palliative** (dépannage) : c'est-à-dire une remise en état de fonctionnement « caractère provisoire ».
- **Curative** (réparation) : c'est la réparation complète, parfois après dépannage « caractère définitif »

Cette maintenance est utilisée lorsque l'indisponibilité du matériel n'as pas de conséquences majeures sur le processus de production ou quand les contraintes de sécurité sont faibles. [1]

I.9.1.1. Les opérations de maintenance corrective

a) Le dépannage

Actions physiques exécutées pour permettre à un bien en panne d'accomplir sa fonction requise pendant une durée limitée jusqu'à ce que la réparation soit exécutée. Le dépannage n'a pas des conditions d'applications particulières. La connaissance du comportement du matériel et des modes de dégradation n'est pas indispensable même si cette connaissance permet souvent de gagner du temps.

b) La réparation

Actions physiques exécutées pour rétablir la fonction requise d'un bien en panne. L'application de la réparation peut être décidée soit immédiatement à la suite d'un incident ou d'une défaillance, soit après un dépannage, soit après une visite de maintenance préventive conditionnelle ou systématique.

c) Les révisions

Ensemble des actions et examens de contrôle et d'intervention effectuée en vue d'assurer le bien contre toute défaillance majeure ou critique, pendant un temps ou pour nombre d'unités d'usage donnée.[7]

I.9.2. La maintenance préventive

D'après les normes AFNOR : c'est une maintenance effectuée dans l'intention de réduire la probabilité de défaillance d'un bien ou la dégradation d'un service rendu. [9]

I.9.2.1. Les types de maintenance préventive**▪ La maintenance préventive systématique**

Elle est définie comme une opération effectuée selon un échéancier établi selon le temps ou le nombre d'unité d'usage.

▪ La maintenance préventive conditionnelle

Elle est définie comme une opération subordonnée à un type d'événement prédéterminé (information d'un capteur, autodiagnostic).

I.9.2.2. Les opérations de maintenance préventive**❖ Inspection**

C'est l'activité de surveillance consistant à relever périodiquement des anomalies, et d'exécution de réglages simples ne nécessitant pas d'outillage spécifique ni l'arrêt des équipements. [10]

❖ Le contrôle

Il correspond à des vérifications de conformité par rapport à des données prédéterminées suivies d'un jugement. Le contrôle peut comporter une activité d'information, inclure une décision; acceptation, rejet.....

Les opérations de surveillance : inspection, visite et contrôle sont nécessaires pour maintenir l'évolution de l'état de l'équipement calculée sur le temps ou le nombre d'unité d'usage.

❖ La visite

C'est l'opération de surveillance de maintenance préventive systématique qui s'opère selon une périodicité prédéterminée. Ces interventions correspondent à une liste d'organes et une immobilisation du matériel. [9]

I.10. La sûreté de fonctionnement

La sûreté de fonctionnement c'est la propriété qui permet aux utilisateurs du système de placer une confiance justifiée dans le service qu'il leur délivre. [2]

I.11. Les concepts de base de la sûreté de fonctionnement

La sûreté de fonctionnement est appelée la science des défaillances. D'autres désignations existent suivant les domaines d'applications: analyse de risque (milieu pétrolier), aléatique, cyndinique (science du danger), FMD (Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité), en anglais RAM (Reliability, Availability, Maintainability). Elle se caractérise à la fois par les études structurelles statiques et dynamiques des systèmes, du point de vue prévisionnel mais aussi opérationnel et expérimental (essais, accidents), en tenant compte des aspects des probabilités et des conséquences induites par les défaillances techniques et humaines.

Cette discipline intervient non seulement au niveau des systèmes déjà construits mais aussi au niveau conceptuel pour la réalisation des systèmes. [1]

I.11.1. La fiabilité

La norme (NF X 60-500) définit la fiabilité comme l'aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise, dans des conditions données, pendant un intervalle de temps donné. L'entité (E) désigne au sens large un composant, sous-système ou système, et la fonction requise ou les fonctions que doivent accomplir le dispositif pour pleinement remplir la tâche qui lui est assignée. Considérons l'instant T d'occurrence de la défaillance, cet variable aléatoire permet de définir la notion de fiabilité qui s'interprète comme la probabilité que l'entité considérée ne tombe pas en panne avant un instant t donné ou bien comme la probabilité qu'elle tombe en panne après l'instant t.[3] Elle est définie par: $R(t) = P(E \text{ non-défaillante sur la durée } [0, t])$, en supposant qu'elle n'est pas défaillante à l'instant $t = 0$). Ce qui peut s'exprimer par:

$$R(t) = P(T > t)$$

Selon la loi de Weibull la fiabilité définit par :

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

On distingue plusieurs types de fiabilité (termes spécifiques) :

I.11.1.1. Les différents types de fiabilité

- **La 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.
- **La fiabilité prévisionnelle** : (prédite) Correspondant à la fiabilité future d'un système et établie par son analyse, connaissant les fiabilités de ces composants.
- **La fiabilité extrapolée** : déduite de la fiabilité opérationnelle par extrapolation ou interpolation pour des conditions ou des durées différentes.
- **La 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. [3]

I.11.1.2. 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.

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left[\frac{t-\gamma}{\eta} \right]^{\beta-1} e^{-\left[\frac{t-\gamma}{\eta} \right]^\beta} \quad (\text{I.2})$$

▪ La fonction de répartition

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

$$F(t) = 1 - e^{-\left[\frac{t-\gamma}{\eta} \right]^\beta} \quad (\text{I.3})$$

▪ Le 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.

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\beta}{\eta} \left[\frac{t-\gamma}{\eta} \right]^{\beta-1} \quad (\text{I.4})$$

▪ Le moyen de temps de bon fonctionnement MTBF

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

$$\text{MTBF} = \gamma + A \eta \quad (\text{I.5})$$

I.11.2. La maintenabilité

La compréhension des termes utilisés en maintenabilité rend nécessaire l'établissement d'un diagramme chronologique des temps entre l'instant de l'apparition de la défaillance et l'instant de la remise en service de l'installation. Le diagramme résume tous les instants importants de cette chronologie. [4]

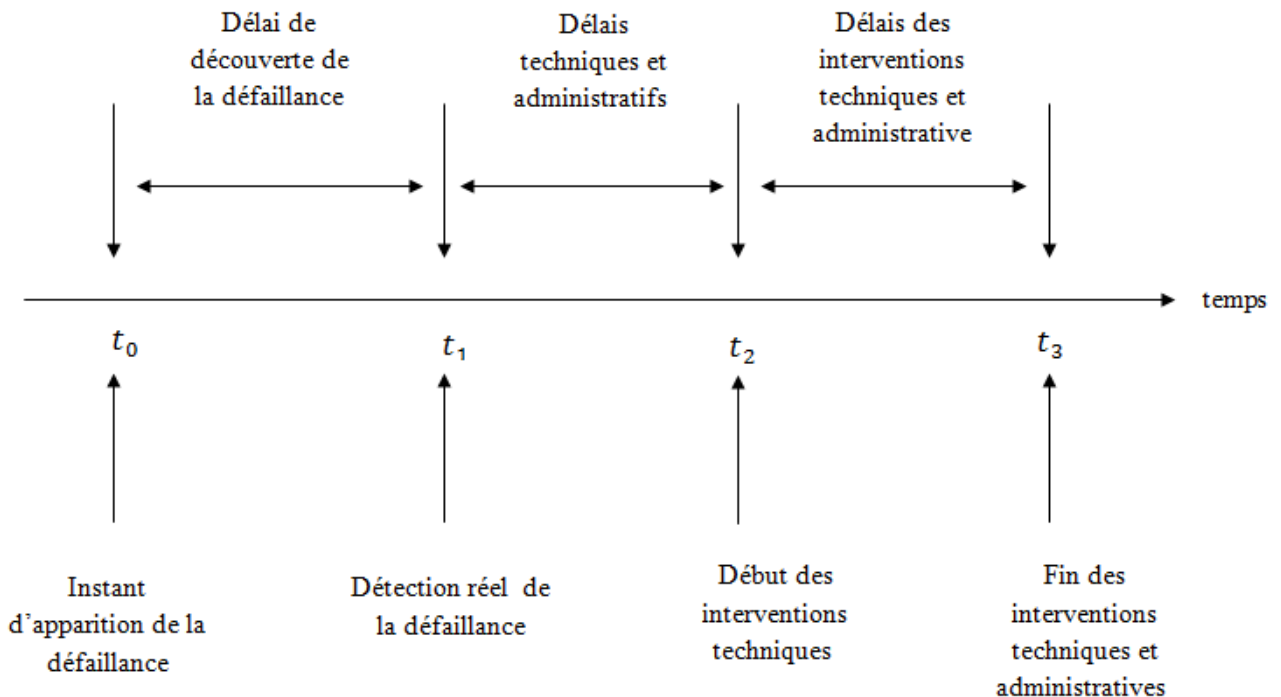


Figure I.3. Chronologie des temps des activités de maintenance [4]

I.11.2.1. Définition de la maintenabilité

La norme (AFNOR X-06-010) définit la maintenabilité comme l'aptitude d'un dispositif à être maintenu ou rétabli dans un état dans lequel d'accomplir une fonction requise lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions d'utilisation données avec des moyens et procédures prescrits.

Suivant la norme AFNOR c'est : dans les conditions données d'utilisation, l'aptitude d'une entité à être maintenue ou rétablie, sur un intervalle de temps donné, dans un état dans lequel elle peut accomplir une fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, avec des procédures et des moyens prescrits.

La maintenabilité est la mesure de l'aptitude d'un dispositif à être maintenu ou remise dans des conditions spécifiées lorsque la maintenance de celui-ci est réalisée par des agents ayant les niveaux spécifiés de compétence, utilisant les procédures et les ressources prescrites, à tous les niveaux prescrits de maintenance et de réparation.

La maintenabilité d'un équipement dépend essentiellement de la facilité de démontage de ces éléments consécutifs et de leurs interchangeabilité. [3]

- Maintenabilité intrinsèque.
- Maintenabilité extrinsèque.

La maintenabilité donnée par :

$$M(T) = 1 - e^{-\mu t} \quad (I.6)$$

Avec :

μ : taux de réparation

I.11.3. La disponibilité

La disponibilité est l'aptitude d'une entité à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données, à un instant donné ou pendant un intervalle de temps donné, en supposant que la fourniture des moyens extérieurs nécessaires soit assurée.

La probabilité associée $A(t)$ à l'instant t est aussi appelée disponibilité qui s'exprime par :

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

L'aptitude contraire est appelée indisponibilité qui définit par :

$$\bar{A} = 1 - A(t) \quad (I.7)$$

C'est l'aptitude d'un dispositif à être en état de fonctionnement dans ces conditions données sous les aspects combinés de la fiabilité de la maintenance, la logistique et l'organisation de maintenance c'est la probabilité pour qu'un dispositif soit en état de fonctionnement selon des conditions de maintenance prescrite et pour un temps donné.[3]

I.11.3.1. Les 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.

$$D_i = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (I.8)$$

❖ Disponibilité instantanée

C'est la probabilité pour qu'un dispositif puisse accomplir une fonction requise dans des conditions données et une instants donnée. [3]

$$D(t) = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} + \frac{\mu}{\lambda + \mu} e^{-(\lambda + \mu)t} \quad (I.9)$$

Avec :

μ : Taux de réparation.

λ : Taux de défaillance.

I.11.4. La 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. [5]

❖ Signification des paramètres de Weibull

✓ Paramètre de forme β

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

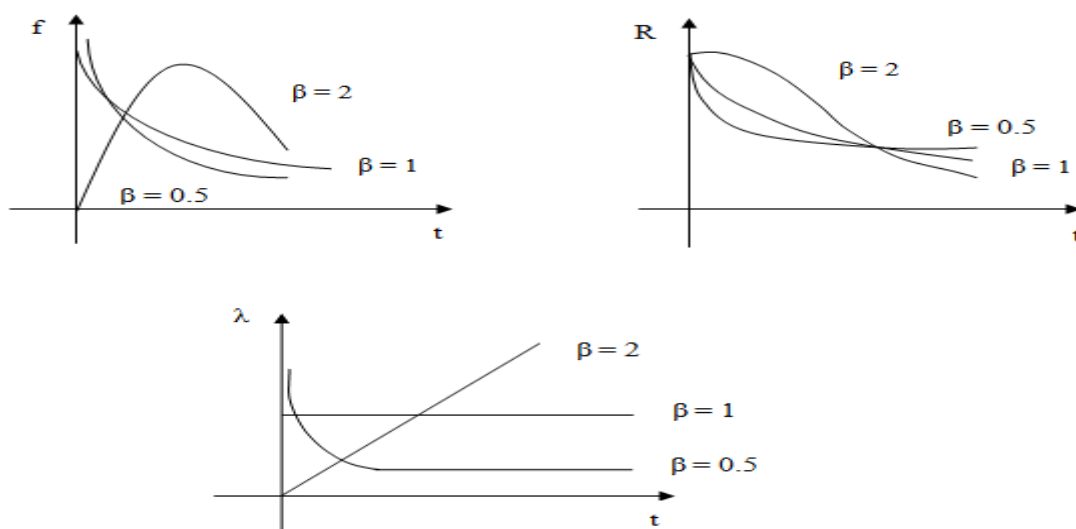


Figure I.4. Les trois périodes de la courbe en baignoire avec différentes valeurs de β [3].

✓ 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.
- Si $\gamma = 0$ dès l'origine des temps, on peut s'attendre à des défaillances.

✓ Paramètre d'échelle η

En unité de temps qui est associé à l'échelle utilisée sur le graphe Allan Plait. 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 cordonnées : $\ln(\ln \frac{1}{1-F(t)})$

✓ Description de papier de Weibull [1]

Ce papier «log-log» port quatre axes :

- L'axe A est l'axe des temps sur lequel nous porterons les valeurs t_i de durées de bon fonctionnement ;
- L'axe B porte $F(t)$ sur lequel nous porterons les valeurs $F(i)$ calculées par approximation (rangs moyens ou médians).

Nous estimerons la fiabilité en prenant le complément : $R(t) = 1 - F(t)$

- L'axe a correspond à $\ln t$.
- L'axe b correspond à $\ln(\ln 1/1 - F(t))$.

Cet axe permettra d'évaluer la valeur de β

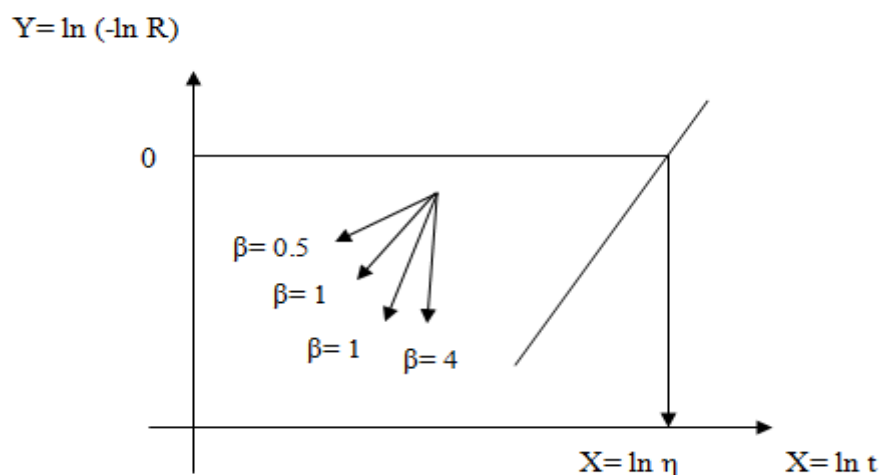


Figure .I.5. Graphe Allan Plait [3]

❖ Courbe de défaillance

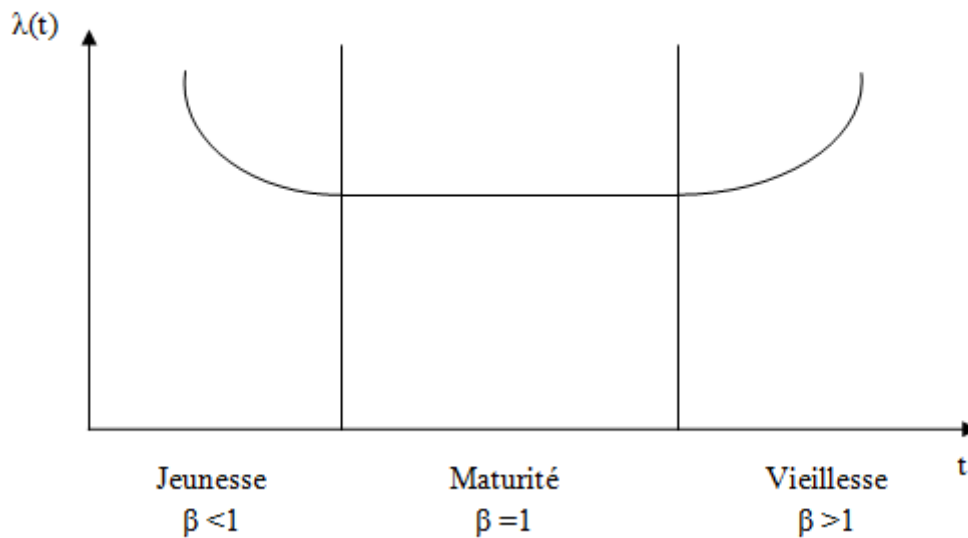


Figure .I.6. Allure d'un taux de défaillance « en baignoire » [3].

- $\beta < 1$: Correspond à la zone décroissante de la courbe, c'est la période de mise en place et 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 aucun symptôme de dégradation préalable (vie-utile) c'est la période la plus longue.
- $\beta > 1$: Correspond à la zone croissante rapide, c'est l'époque de vieillissement provoquée par l'usure mécanique [3].

MTBP: moyenne des temps entre panne.

MUT: moyenne de temps de bon fonctionnement.

$$\text{MTBF} = \frac{\sum \text{temps entre panne}}{N_i} \quad (\text{I.10})$$

$$\text{MUT} = \frac{\sum \text{TBF}}{N_i} \quad (\text{I.11})$$

I.12. Les outils d'aide à la décision de la sûreté de fonctionnement

I.12.1. Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité (AMDEC)

L'Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets (AMDE) est une méthode qui nécessite la connaissance de tous les modes de défaillance du système complexe en effet, l'efficacité de l'AMDE repose sur la représentativité de ces modes de défaillance et l'exhaustivité de cette liste. [6]

L'AMDEC est une méthode qui permet :

- d'évaluer les effets de chaque mode de défaillance des composants d'un système sur les diverses fonctions de ce système.
- de déterminer l'importance de chaque mode de défaillance sur le fonctionnement normal du système et d'évaluer l'impact sur la fiabilité du système considéré.
- d'hiérarchiser les modes de défaillance connus suivant la facilité de détection et de traitement.

I.12.2. Analyse Préliminaire des Risques (APR)

L'Analyse Préliminaire des Risques (APR) est une méthode générale couramment utilisée pour l'identification d'une part des risques d'un système complexe et d'autre Part pour l'évaluation de la gravité des conséquences liées aux risques Il est recommandé de commencer l'APR dès les premières phases de la conception en utilisant toutes les données alors disponibles et de continuer à compléter cette analyse jusqu'à la fin de vie du système.

I.12.3. Arbre de Défaillance (AdD)

L'analyse par un Arbre de Défaillances (AdD) est une méthode qui permet, à partir d'un événement redouté, recensé à l'aide d'une APR, de déterminer les enchaînements d'évènements ou combinaisons d'évènements pouvant conduire à cet événement redouté Cette analyse permet de descendre de cause en cause jusqu'aux évènements de base susceptibles d'être à l'origine de l'évènement redouté.

I.12.4. Réseaux de Petri (RdP)

Un réseau de Petri est un graphe orienté constitué des places, transitions et d'arcs ;

- les places sont représentées graphiquement par des cercles et peuvent être marqué par une ou plusieurs marques appelées jetons. L'ensemble des jetons associés aux différentes places constitue le marquage de réseau et correspond à un état du système modélisé
- les transitions sont représentées par des rectangles et agissent, sous certaines conditions, sur le marquage du réseau.

– les arcs sont représentés par de flèches qui lient une place à une transition (arc amont) ou inversement une transition à une place (arc aval). Un poids (entier positif peut leur être affecté) [6].

I.13. Les temps caractéristiques de la sûreté de fonctionnement

Les différents temps caractérisant la sûreté de fonctionnement 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 [5].

[Villemeur, 1988] et [Lannoy, 1996] présentent quelques temps caractérisant de la sûreté de fonctionnement. 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 :

$$\text{MTTF} = \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (\text{I.12})$$

- 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. MTTR_{Rep} est associé à la réparation du composant et MTTR_{Res} à sa restauration. La différence entre les deux est liée au fait que l'on considère ou non le temps mis pour remettre en service l'équipement, le MTTR_{Res} l'incluant.

- 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.

Le MDT est décomposé en plusieurs phases lesquelles sont montrées par la figure I.7.

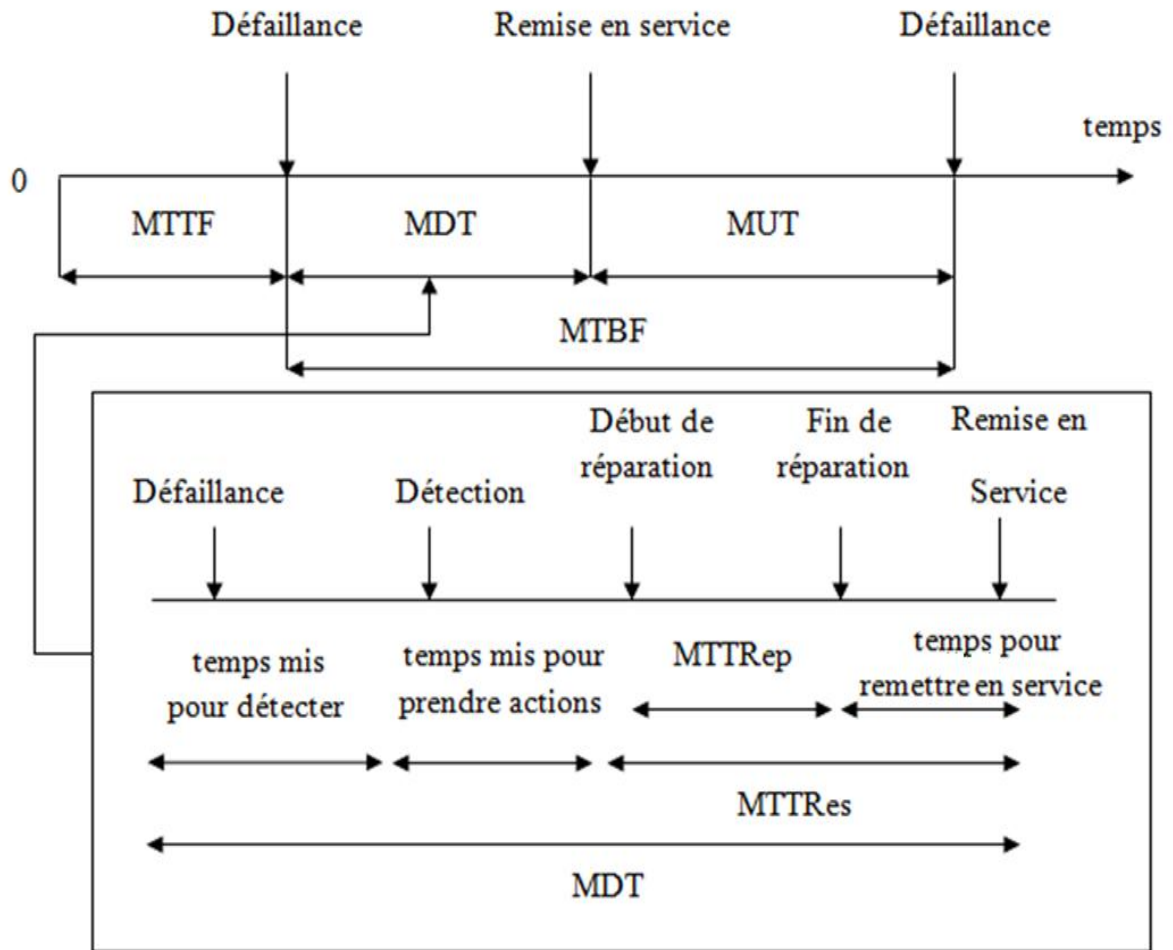


Figure I.7. Représentation du MTTF, du MUT, du MDT et du MTBF [5].

I.14. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons abordés une vue générale sur la fonction de maintenance est l'ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management effectuées durant le cycle de vie d'un bien et destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise. La maintenance a longtemps joué un rôle curatif dont l'unique objectif était de réduire la durée d'immobilisation des machines. Cette maintenance curative était axée sur le court terme et ne résolvait en rien les problèmes liés aux dégradations inévitables.

La maintenance est de plus en plus prise en compte au stade de la conception, en examinant les défaillances possibles, leurs conséquences et en prévoyant les dispositifs de diagnostic, dans un esprit.

Le personnel de maintenance moins nombreux mais plus qualifié, peut alors consacrer une part importante de son temps à l'organisation optimale de la maintenance et à l'exploitation des informations recueillies. Il peut en particulier améliorer la fiabilité et la maintenabilité des principaux équipements, en recherchant les meilleures méthodes et moyens de diagnostic en cas d'incident.

Chapitre II

Généralités sur les réseaux des files d'attente

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 theory of probabilities and telephone conversations », 1909), Erlang constata qu'un système téléphonique peut être modélisé par des arrivées des clients poissonniennes et des temps de service exponentiels. [10]

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

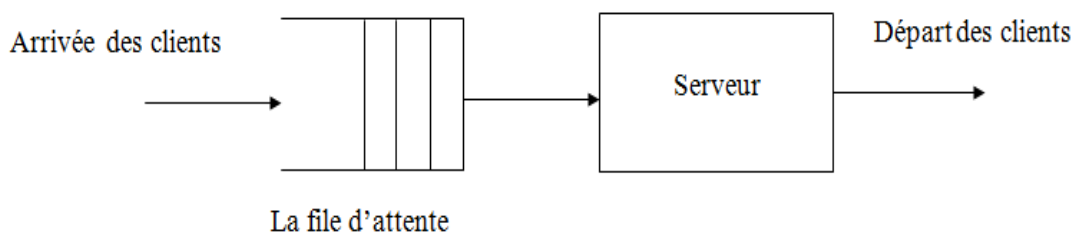


Figure II.1. Système à un seul serveur [1]

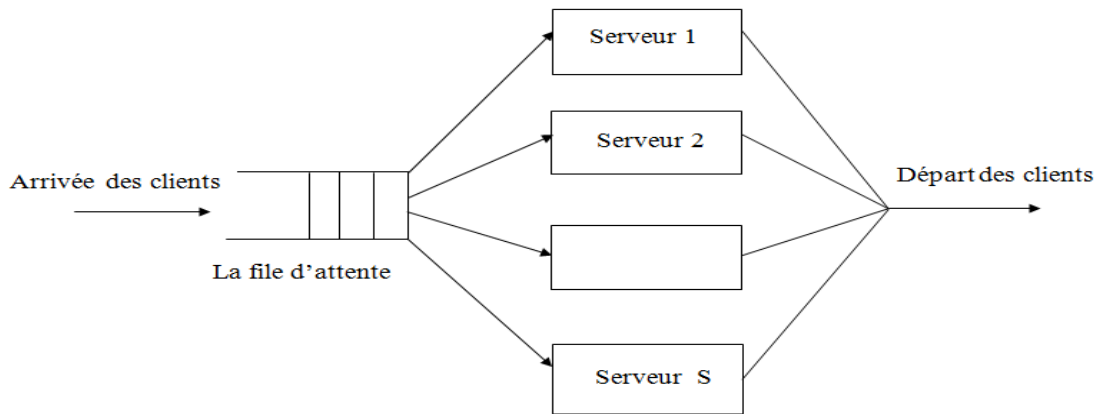


Figure II.2. Système multiserveurs (S serveur en parallèles) [1]

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. [11]

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

L'objectif de l'analyse des files d'attente est de minimiser le cout total, qui équivaut à la somme de deux couts : le cout associe a la capacité de service mise en place (cout de service) et le cout associe a l'attente des clients (cout d'attente). Le cout de service est le cout résultant du maintien d'un certain niveau de service, en cas de ressources inoccupées, la capacité est une valeur perdue, car elle est non stockable. Les couts d'attente sont constitués des salaires payes aux employés qui attendent pour effectuer leur travail et du cout de l'espace disponible pour l'attente. [11]

II.5. Les caractéristiques du système des files d'attente

Dans la théorie des files d'attente, 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 :

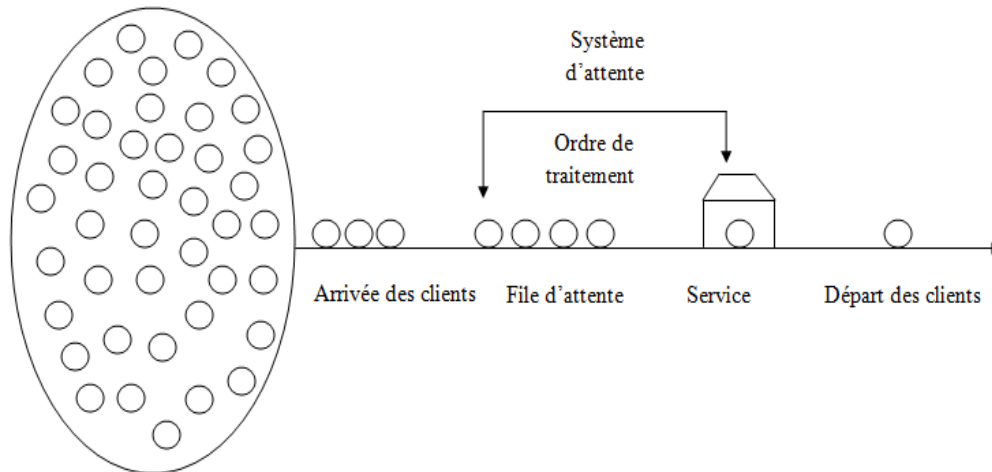


Figure. II.3. système de file d'attente simple [11].

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. [11]

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'arrivée 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. [12]

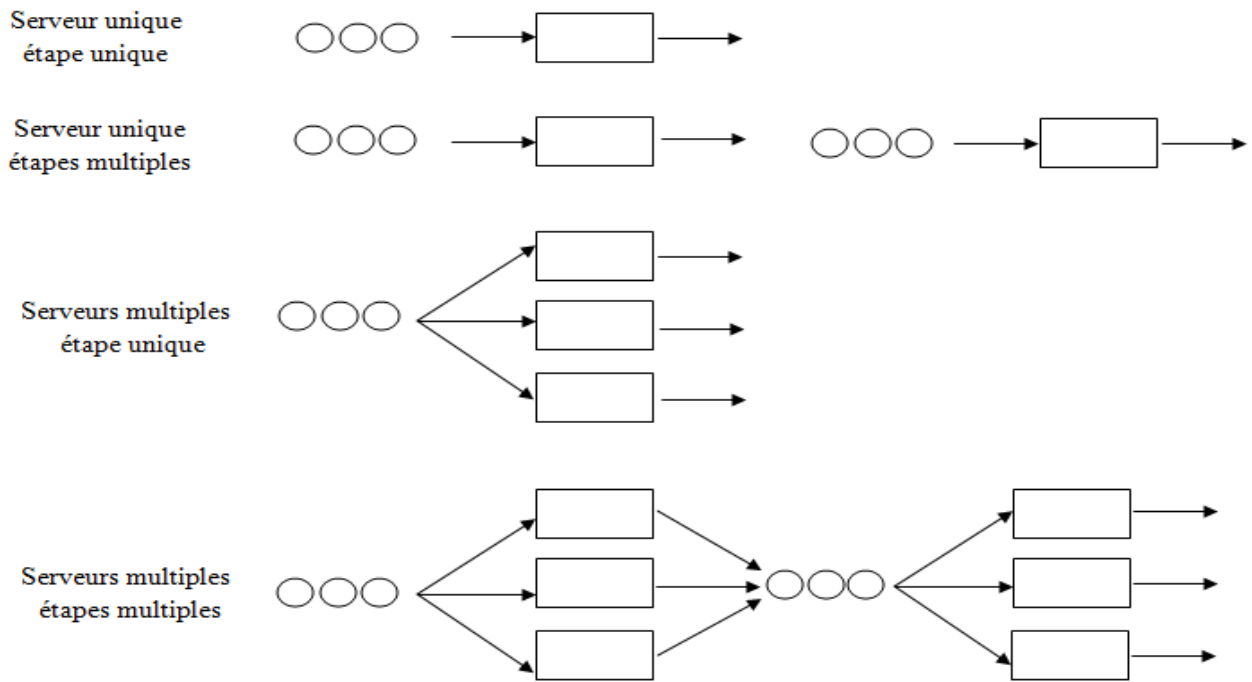


Figure .II.4. Illustration des deux distributions [12].

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. [13]

II.5.5. Les instants d'arrivées

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 servi.

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. [13]

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 [14].

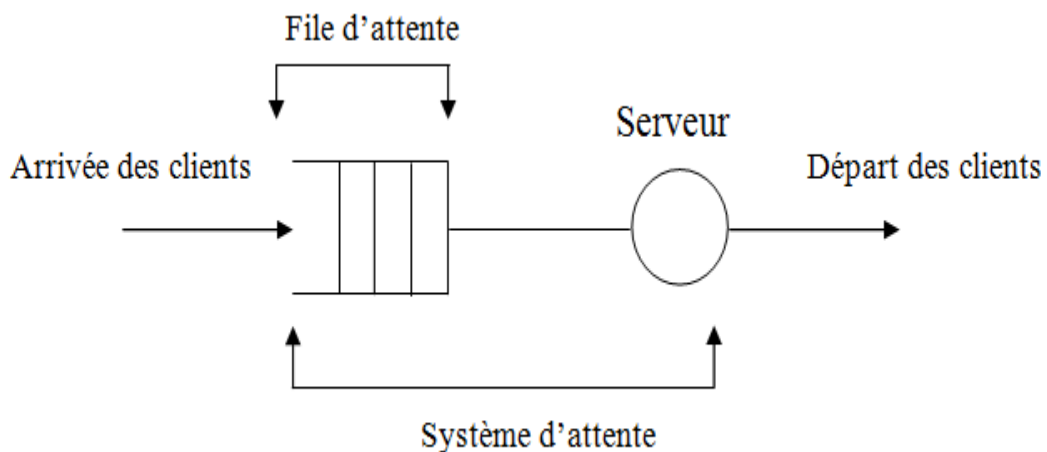


Figure. II.5. Système d'attente [14].

II.6.1. Processus d'arrivée

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 schématiser 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. [1]

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. [14]

II.6.3. Structure et discipline de la file

II.6.3.1. 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 mult serveur, 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. [15]

II.6.3.2. 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.6.3.3. 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,

puisque'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).
- RANDOM (aléatoire) Le prochain client qui sera servi est choisi aléatoirement dans la file d'attente.

II.6.4. Notations de Kendall

Dans la théorie des files d'attente, la notation de Kendall (premièrement proposée par D.G. Kendall en 1953) est un système standard pour décrire les caractéristiques essentielles d'un modèle de file d'attente.

La notation de Kendall a la forme $A/B/C/K/N/D$ où :

- A : distribution des temps d'inter arrivées.
- B : distribution du temps de service.
- C : nombre de serveurs.
- K : capacité du système.
- N : nombre de clients existant dans l'univers considéré.
- D : discipline de service. [15]

II.6.5. Notion des classes des 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 différents. [12]

II.7. Les 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 [15].

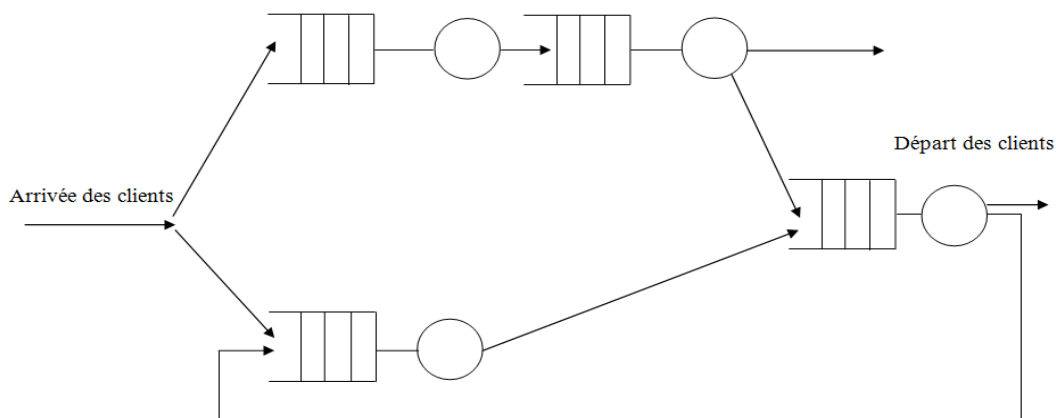


Figure. II.6. Ensembles de M stations inter connectées [16].

II.7.1. Les réseaux ouverts

Dans un réseau de file d'attente ouvert, les clients arrivent de l'extérieur, circulent dans le réseau à travers les différentes 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 sûr caractériser chaque station, mais également le processus d'arrivée des clients et le routage (cheminement) des clients dans le réseau. [12]

II.7.1.1. Processus d'arrivée

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 inter-arrivées sont exponentielles et sont caractérisées par un unique paramètre : le taux d'arrivée λ .

Dans le cas d'un processus d'arrivée non poissonien, 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.7.1.2. 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). À 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 [12].

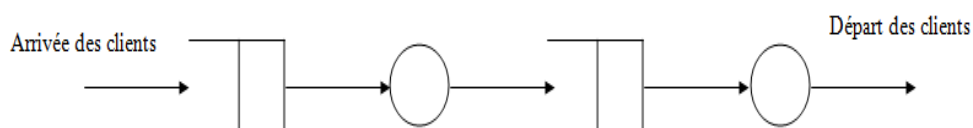


Figure. II.7. Réseau ouvert des files d'attente [15]

II.7.2. Les réseaux fermés

Dans un réseau de file 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.

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 $\sum P_{ij} = 1$. [12]

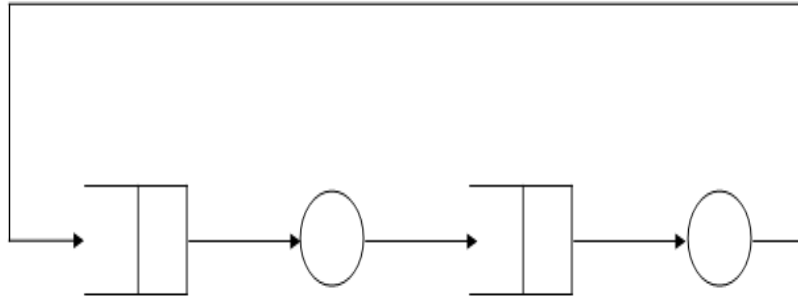


Figure. II.8 .Réseau fermé des files d'attente [15]

II.7.3. Les réseaux multiclassés

Comme pour les files simple, les réseaux des 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 poissonien, 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 référence à l'extérieur d'un réseau ouvert.)

La notion de réseaux multiclassés nous permet d'introduire la notion de réseau mixte qui est un réseau ouvert vis à vis de certaines classes et fermé vis à vis des autres classes.

On peut également autoriser certains clients à changer de classe lors de leur cheminement dans le réseau. On définit alors P_{rijs} la probabilité pour qu'un client de classe r qui quitte la station i se rende à la station j et se transforme en un client de classe s . [12]

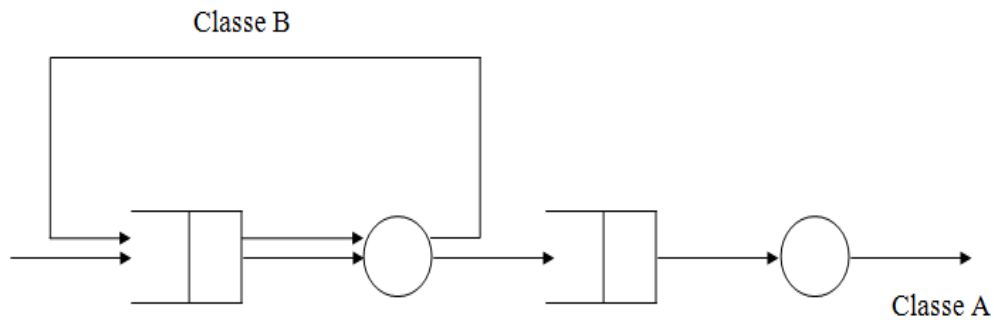


Figure. II.9. Réseau mixte des files d'attente [15]

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

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 amonts et éventuellement des pertes de clients à l'entrée du système (si celui-ci est ouvert) [10].

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. [12]

II.8. Les files d'attente markovienne

Les files d'attente markoviennes sont celles pour lesquelles les inters arrivées et les durées de service sont exponentielles. [12]

II.8.1. Chaîne de Markov

Une chaîne de Markov est un système qui peut prendre différents états parmi un ensemble d'états, suppose que la probabilité de passer d'un état à un autre ne dépend que de l'état courant. [17]

II.8.1.1. Les types de Chaîne de Markov

II.8.1.1.1. Chaîne de Markov à temps discret : où les transitions ne peuvent se produire qu'à des instants précis.

❖ **Exemple de Chaîne à temps discret**

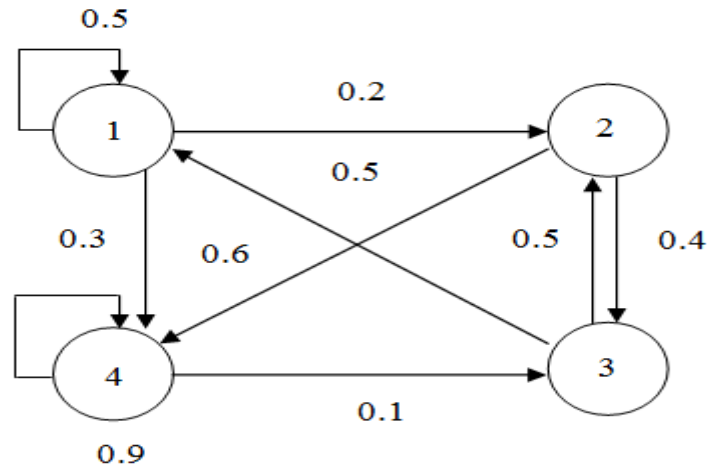


Figure. II .10. Chaîne de Markov à temps discret. [17]

❖ **Matrice des probabilités de transitions**

$$\begin{bmatrix} 0.5 & 0.2 & 0 & 0.3 \\ 0 & 0 & 0.4 & 0.6 \\ 0.5 & 0.5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.1 & 0.9 \end{bmatrix}$$

Avec : $\sum_i P_{ij} = 1$ (II.1)

II.8.1.1.2. Chaîne de Markov à temps continu : où les transitions peuvent se produire à tout instant.

❖ **Exemple de chaîne à temps continu**

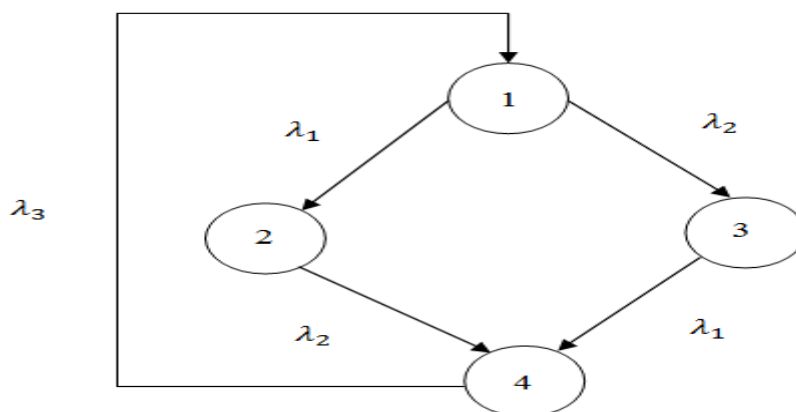


Figure. II .11. Chaîne de Markov à temps continu. [17]

❖ **Matrice des taux de transitions**

$$\begin{bmatrix} -(\lambda_1 + \lambda_2) & \lambda_1 & \lambda_2 & 0 \\ 0 & -\lambda_2 & 0 & \lambda_2 \\ 0 & 0 & -\lambda_1 & \lambda_1 \\ \lambda_3 & 0 & 0 & -\lambda_3 \end{bmatrix}$$

Avec : $\sum_i Q_{ij} = 0$ (II.2)

II.8.2. La file M/M/1

Cette file est caractérisée par une arrivée poissonnienne de taux λ et une durée de service exponentielle de taux μ [12]

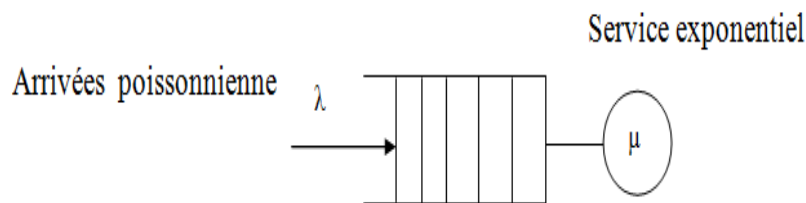


Figure. II .12. La file M/M/1 [17]

Soit $X(t)$ le nombre des clients dans le système à l'instant $t \geq 0$. Le processus stochastique $\{X(t), t \geq 0\}$ est une chaîne de Markov à temps continu ayant le diagramme de transition de la figure suivant [14]

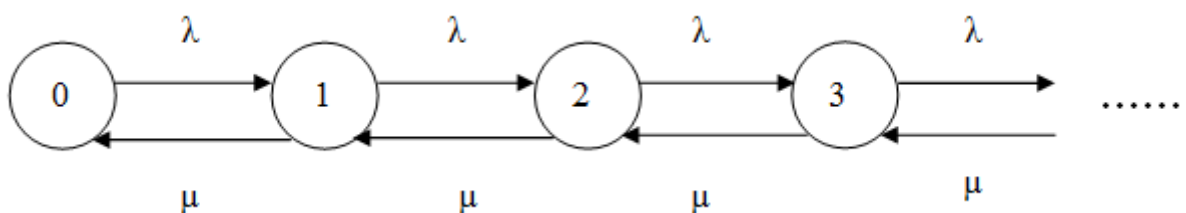


Figure .II.13. Diagramme de transition d'un système de file d'attente M/M/1 (λ, μ) [15]

On pose $\rho = \lambda/\mu$. La file peut être considérée comme un processus de naissance et de mort, pour lequel

$$\lambda_n = \lambda$$

$$u_n = \begin{cases} \mu & \text{si } n \neq 0 \\ 0 & \text{si } n = 0 \end{cases} \tag{II.3}$$

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

$$\begin{cases} \pi_n = \pi_0 \rho^n \\ \pi_0 = \frac{1}{\sum_{n=0}^{+\infty} \rho^n} = 1 - \rho \end{cases} \quad (\text{II.4})$$

Donc
$$\pi_n = (1 - \rho)\rho^n$$

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.

- **Débit d** [12]

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 :

$$d = \text{Proba}([\text{file non vide}])\mu = \sum_{n=1}^{+\infty} \pi_n \mu = [1 - \pi_0]\mu = \rho\mu = \lambda \quad (\text{II.5})$$

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

$$U = \sum_{n=1}^{+\infty} \pi_n = 1 - \pi_0 = \rho = \frac{\lambda}{\mu} \quad (\text{II.6})$$

- **Nombre moyen de clients L**

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

$$L = \sum_{n=1}^{+\infty} n\pi_n = \sum_{n=1}^{+\infty} n(1 - \rho)\rho^n = \rho(1 - \rho) \sum_{n=0}^{+\infty} (n + 1)\rho^n = \rho(1 - \rho)(1 + 2\rho + 3\rho^2 + \dots)$$

$$= \rho(1 - \rho) \frac{d}{d\rho} (\rho + \rho^2 + \rho^3 + \dots) = \rho(1 - \rho) \frac{d}{d\rho} \left(\frac{1}{1 - \rho} - 1 \right)$$

Soit :

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

- **Temps de séjour W**

Ce paramètre est obtenu en utilisant la loi de Little : $W = \frac{L}{d} = \frac{1}{\mu(1 - \rho)}$

Qui peut se décomposer en : $W = \frac{1}{\mu} + \frac{\rho}{\mu(1 - \rho)}$ (II.8)

On en déduit :

- Le temps moyen passé dans la file d'attente W_q

$$W_q = \frac{\rho}{\mu(1-\rho)} \quad (\text{II.9})$$

- Nombre moyen des clients dans la file d'attente L_q

$$L_q = \lambda W_q = \frac{\rho^2}{1-\rho} \quad (\text{II.10})$$

II.8.3. La 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. [12]

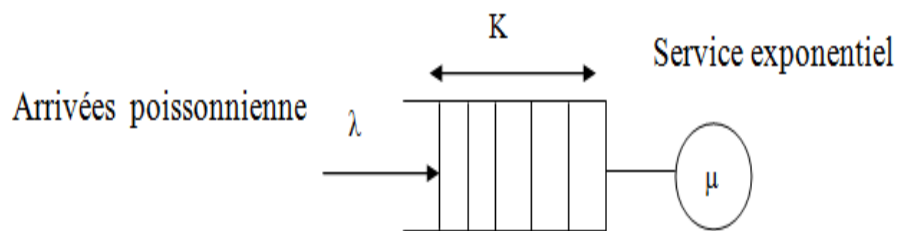


Figure. II .14. La file M/M/1/K [17]

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

$$\lambda_n = \begin{cases} \lambda & \text{si } n < K \\ 0 & \text{si } n = K \end{cases} \quad (\text{II.11})$$

$$u_n = \begin{cases} \mu & \text{si } n \neq 0 \\ 0 & \text{si } n = 0 \end{cases} \quad (\text{II.12})$$

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

$$\pi_n = \pi_0 \rho^n \quad \text{pour } n \leq K \quad (\text{II.13})$$

$$\pi_n = 0 \quad \text{pour } n > K \quad (\text{II.14})$$

$$\pi_0 = \frac{1}{\sum_{n=0}^K \rho^n} = \frac{1-\rho}{1-\rho^{K+1}} \quad \text{si } \lambda \neq \mu \quad \left(\text{et } \frac{1}{K+1} \quad \text{si } \lambda = \mu \right) \quad (\text{II.15})$$

- **Débit d** [12]

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

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

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

$$\mu = \text{Proba}(\text{file non vide}) = \sum_{n=1}^K \pi_n \mu = [1 - \pi_0] \mu = \frac{\rho - \rho^{K+1}}{1 - \rho^{K+1}} \mu \quad (\text{II.16})$$

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 :

$$\lambda = \text{Proba}(\text{file non pleine aux instants d'arrivée}) = \sum_{n=0}^{K-1} \pi_n \lambda = [1 - \pi_K] \lambda = \frac{1 - \rho^K}{1 - \rho^{K+1}} \lambda \quad (\text{II.17})$$

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

$$d = \frac{1 - \rho^K}{1 - \rho^{K+1}} \lambda \quad (\text{II.18})$$

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 $U(K)$**

$$U(K) = \sum_{n=1}^K \pi_n = 1 - \pi_0 = \frac{\rho - \rho^{K+1}}{1 - \rho^{K+1}} = \rho \frac{1 - \rho^K}{1 - \rho^{K+1}} \quad (\text{II.19})$$

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) : $U = \frac{\lambda}{\mu}$. 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 $\rho > 1$. [7]

| Symbole | Signification |
|-------------|--|
| ρ | 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}_f | Temps moyen d'attente en file |
| \bar{T} | Temps moyen d'attente dans le système |
| P_0 | Probabilité qu'il y ait zéro unité (client) dans le système |
| P_n | Probabilité qu'il y ait n unités (clients) dans le système |

Tableau. II.1. : symboles (modèle avec population infinie). [1]

II.8.4. Les relations de base [12]

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.

$$\rho = \frac{\lambda}{M \cdot \mu} \quad (\text{II.20})$$

- Le nombre moyen des clients en train d'être servis si $M=1$

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} \quad (\text{II.21})$$

- Le nombre moyen des clients en file

$$\bar{n}_f = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)} \quad (\text{II.22})$$

- Le nombre des clients dans le système

$$\bar{n} = \bar{n}_f + \rho \quad (\text{II.23})$$

- Le temps moyen d'attente en file

$$\bar{T}_f = \frac{\bar{n}_f}{\lambda} \quad (\text{II.24})$$

- **Le temps moyen d'attente dans le système**

$$\bar{T} = \bar{T}_f + \frac{1}{\mu} = \frac{\bar{n}}{\lambda} \quad (\text{II.25})$$

II.8.4.1. Modèle 1: serveur unique, temps de service exponentiel [12]

Le modèle classique (le plus simple) d'analyse des files d'attente concerne les systèmes comptant un seul serveur (ou une seule équipe). La règle de priorité est « premier entré, premier servi (PEPS) », on suppose que le processus d'arrivée suit une loi de Poisson et que le temps de service suit une loi exponentielle. Il n'y a aucune restriction quant à la longueur de la file proprement dite.

Le tableau II.1 présente les formules servant à calculer les mesures de performance pour un modèle avec serveur unique. On les utilise conjointement avec les formules de tableau II.1

| Mesure de performance | Equation |
|--|---|
| Nombre moyen de cliente en file | $\bar{n}_f = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu-\lambda)}$ |
| Nombre moyen de cliente dans le système | $\bar{n} = \frac{\lambda}{(\mu-\lambda)}$ |
| Temps moyen d'attente en ligne | $\bar{T}_f = \frac{\lambda}{\mu(\mu-\lambda)}$ |
| Temps moyen d'attente dans le système | $\bar{T} = \frac{1}{(\mu-\lambda)}$ |
| Probabilité qu'il y ait zéro unité dans le système | $P_0 = 1 - \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)$ |
| Probabilité qu'il y ait n unités dans le système | $P_n = P_0 \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n$ |
| Probabilité qu'il y ait moins de n unité dans le système | $P_{<n} = 1 - \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n$ |

Tableau .II.2. Formules de modèle de base [12]

II.8.4.1.1. Application le modale 1 pour déterminer les mesures de performance

$$\lambda = 3 \quad (\lambda : \text{le taux d'arrivéé})$$

$$\mu = 60\text{min} \quad (\mu: \text{le taux de service})$$

- **Taux d'utilisation du système**

$$\rho = \frac{\lambda}{M \cdot \mu}$$

$$= \frac{3}{60} = 0.05$$

- **Nombre moyen de cliente en file**

$$\bar{n}_f = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu-\lambda)} = \frac{3^2}{60(60-3)} = 0.00263$$

- **Nombre moyen de cliente dans le système**

$$\bar{n} = \frac{\lambda}{(\mu-\lambda)} = \frac{3}{(60-3)} = 0.05263$$

- **Temps moyen d'attente en ligne**

$$\bar{T}_f = \frac{\lambda}{\mu(\mu-\lambda)} = \frac{3}{60(60-3)} = 0.00088$$

- **Temps moyen d'attente dans le système**

$$\bar{T} = \frac{1}{(\mu-\lambda)} = \frac{1}{60-3} = 0.01754$$

- **Probabilité qu'il y ait zéro unité (client) dans le système**

$$P_0 = 1 - \left(\frac{\lambda}{\mu}\right) = 1 - \left(\frac{3}{60}\right) = 0.95$$

- **Probabilité qu'il y ait n unités (clients) dans le système**

$$P_n = P_0 \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n = 0.95 \left(\frac{3}{60}\right)^n = 0.0475$$

- **Probabilité qu'il y ait moins de n unité (client) dans le système**

$$P_{<n} = 1 - \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n = 1 - \left(\frac{3}{60}\right)^n = 0.95$$

II.8.4.2. Modèle 2: serveur unique, temps de service constant

Comme nous l'avons signalé précédemment, les files d'attente sont la conséquence directe de phénomènes aléatoires et du degré élevé de variabilité des taux d'arrivée et de service. Si dans un système donné, on arrive à diminuer ou à réduire les variations d'un taux ou des deux, on peut également raccourcir les files d'attente de façon significative. Toutefois, dans le cas où les temps de service sont constants, le nombre moyen de clients qui attendent en file diminue de moitié.

$$\bar{n}_f = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu-\lambda)} \quad (\text{II.26})$$

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.

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

Description la machine de pasteurisation de lait (LACTA)



III.1. Introduction

Tous les produits alimentaires exigent une norme d'hygiène très stricte du processus de fabrication. Les matières premières (par exemple: le lait, la crème) sont en contact avec un certain nombre de surfaces qui sont toutes des sources d'infection potentielles. La stérilisation peut réduire, mais ne pas éliminer entièrement, les conséquences d'une telle infection.

L'équipement de nettoyage et de désinfection est donc un aspect très important du processus dans une installation de traitement alimentaire.

III.2. Applications de la machine LACTA

La machine (LACTA) est conçue pour pasteuriser continuellement des produits laitiers faiblement acides. C'est une unité complète, montée sur bâti, conçue spécialement pour satisfaire les exigences de l'industrie laitière.

III.3. Représentation de la machine LACTA

La machine (LACTA) est automatisée en standard pour protéger la production. La version décrite dans le texte est équipée du niveau optimal d'options automatisation. La production est strictement contrôlée par des recettes de production avec les paramètres de traitement. [18]

Il est possible de diviser les principales séquences de procédé dans les principales étapes suivantes:

- Stérilisation
- Remplissage
- Production / circulation
- Nettoyage intermédiaire
- Vidage
- Nettoyage en place

Avant que la production ne commence il est nécessaire de stériliser l'unité en faisant circuler de l'eau chaude pendant 20 minutes. Après la stérilisation, l'unité est refroidie et stabilisée aux températures de production. S'il y a un intervalle entre la stérilisation et la production, l'unité peut être mise en mode hibernation. Il s'agit d'un mode d'économie d'énergie dans lequel la consommation d'énergie est diminuée de jusqu'à 85% en réduisant la consommation d'électricité, de vapeur et d'eau par rapport au mode de circulation d'eau. Lorsque l'équipement en amont et en aval est prêt, la production peut commencer.

La production se met en marche en remplissant le module de produit via le réservoir tampon. Le produit déplace le mélange eau/produit vers la vidange, le bac d'eau blanche et/ou le réservoir de rebut. Le bac tampon n'inclut que le positionneur de niveau et le dispositif (NEP) qui sauvegarde un traitement doux du produit et assure un degré élevé de nettoyabilité.

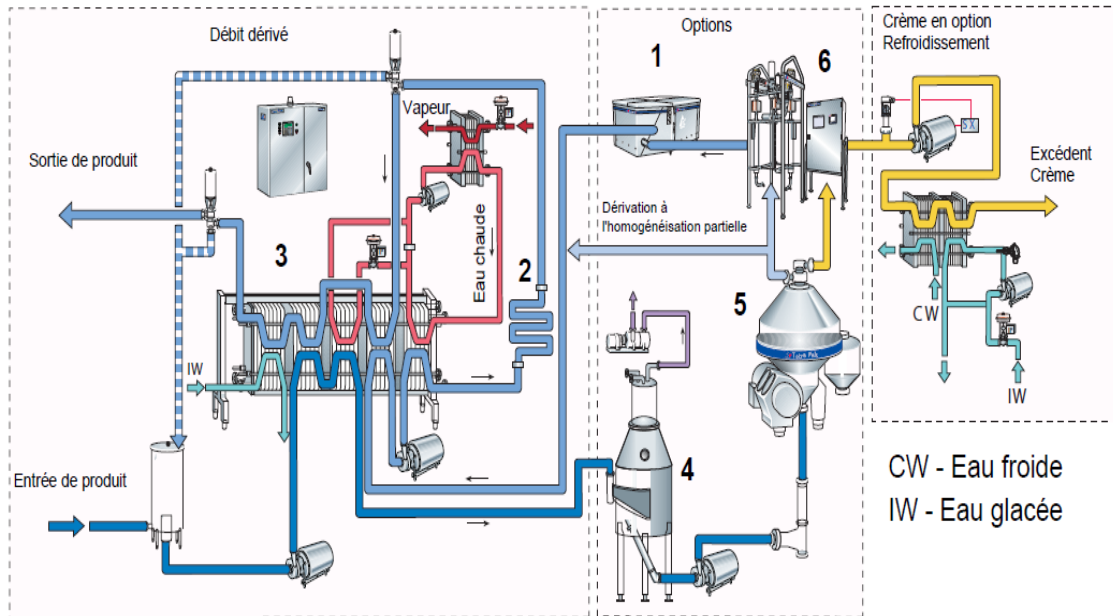


Figure. III .1.Le schéma synoptique de LACTA [18]

III.4. Les composants principaux de la machine LACTA

III.4.1. Homogénéisateur

Sert à décomposer les globules de graisse dans le produit.

III.4.2. Chambreur tubulaire

Le produit passe par le tube de retenue avant d'être refroidi. La longueur du tube est prévue pour maintenir la température à la température de pasteurisation pendant environ 15 secondes avant le refroidissement.

III.4.3. Echangeur de chaleur à plaques

L'échangeur de chaleur est utilisé pour chauffer/refroidir le produit, principalement de manière régénérative mais également en utilisant un fluide tel que de l'eau glacée ou de l'eau chaude. Dans l'échangeur de chaleur à plaques (PHE), les plaques sont assemblées en ensembles et fixées sur un bâti, chaque paire de plaques adjacentes formant un canal d'écoulement, les deux fluides s'écoulant dans des canaux alternés. Deux sections indépendantes ou plus peuvent être abritées dans le même bâti.

III.4.4. Unité de désaération

Un désaérateur est utilisé pour extraire les gaz et l'air à partir du produit avant qu'il ne pénètre dans la zone de chauffage final des échangeurs de chaleur.

III.4.5. Unité de séparation

Pour séparer la crème et le lait écrémé l'un de l'autre. Il est également utilisé pour nettoyer le produit des particules plus lourdes.

III.4.6. Module de standardisation automatique

Pour standardiser la teneur en graisses du lait et de la crème à un niveau précis.

III.4.7. Tableau de commande

Contient tous les équipements nécessaires pour indiquer l'état du procédé, la supervision des performances de procédé et contrôler les fonctions automatiques. L'automation (LACTA) s'appuie sur un contrôleur de procédé. Ce contrôleur présente:

- un contrôle de séquence de procédé
- des horloges – des boucles de contrôle
- un écran tactile

III.4.8. Bac tampon

Le réservoir tampon (BTD) est utilisé comme tampon pour le liquide et pour éviter la pénétration d'air dans le produit et une vanne de contrôle automatique régule le niveau.

III.4.9. Unité d'eau chaude

La vanne de régulation de vapeur entraîne la vapeur dans un échangeur de chaleur à plaques séparées dans lequel l'eau est chauffée. Cette eau est pompée et circule sur les échangeurs de chaleur en tant que fluide de chauffage du produit.

III.5. Principe de fonctionnement

Avant d'être homogénéisé dans un homogénéisateur le produit est préchauffé de façon régénérative dans un échangeur à plaques (PHE) par le produit pasteurisé sortant. Les autres sous-unités correspondantes en option incluent des fonctions telles que la désaération, la séparation et la standardisation de graisse. Pour assurer une charge de chaleur régulière sur le produit, le chauffage final a lieu dans le (PHE) à l'aide d'un circuit d'eau chaude indirect. Le produit est maintenu dans un chambreur tubulaire à remontée continue pendant la période de temps nécessaire. Si la température de pasteurisation descend trop, une vanne de diversion de débit automatique, placée en aval du chambreur tubulaire, redétourne le produit vers le bac tampon. Après le chambreur tubulaire, le produit est refroidi par le produit entrant dans la section de régénération du (PHE). Pour des raisons de sécurité, le côté pasteurisé est plus haut que le côté non pasteurisé. Si nécessaire, le produit continue à être refroidi par de l'eau glacée dans la section de refroidissement finale. Pour prolonger la période de production entre le Nettoyage en place (NEP), complet on peut effectuer un Nettoyage Intermédiaire (NI). Lorsque le (NI) est ordonné en cours de production, le produit est déplacé par l'eau chaude avant que la

phase de nettoyage ne démarre. Pendant les séquences de (NI), le chambreur tubulaire est maintenu à la température de stérilisation. Le (NI) est effectué avec de la lessive, suivi par un rinçage à l'eau chaude. La production peut alors se poursuivre, en remplissant l'unité avec du produit.

Si l'alimentation en produit ou une défaillance de l'unité de réception intervient, l'unité passe en recirculation de produit. Après chaque passage de production complet, l'unité est nettoyée avec le système (NEP) interne, avec de l'acide et de la lessive. L'interface opérateur est utilisée pour surveiller le procédé et sélectionner les fonctions nécessaires. L'automate programmable contrôle et supervise les modules en option et de procédé de base pour la désaération, la séparation, la standardisation et l'homogénéisation. Sur le tableau de commande, un enregistreur à écran couleur à papier enregistre en continu: la température de pasteurisation, la température de prétériorisation, les températures de refroidissement, la température de sortie, le débit à travers le chambreur cellulaire et la position de la vanne de dérivation du débit. Un système d'enregistrement de données garde une trace de la date de production, des volumes traités, des temps de traitement, des alarmes critiques, du type de (NEP) réalisé, etc. En utilisant des contacts sans potentiel ou le protocole série en option, l'automate peut communiquer avec les autres systèmes. [18]

III.6. Conclusion

Dans ce chapitre, nous effectuons une description générale sur la machine de pasteurisation LACTA, La machine est considérée comme un système de production, il existe dans la société HODNA LAIT de M'sila, a commencé à fonctionner en 2013.

Chapitre IV

**Détermination les paramètres de la file d'attente et
choix la politique de maintenance**

IV.1. Introduction

L'objectif de cette application est l'intégration de la politique de maintenance à pour but d'améliorer les performances de système de production qui reposent sur plusieurs critères dont les principaux sont le coût, la disponibilité, la fiabilité, la maintenabilité et la productivité. Les facteurs qui influent sur chaque critère sont les attributs de base et les moyens d'actions sont les différentes politiques de maintenance disponibles. Afin de faciliter l'analyse et le choix de la "meilleure" politique à intégrer. Notre travail s'inscrit dans une perspective globale qui consiste à concevoir et réaliser un système d'aide au choix de la politique de maintenance dans ce système par l'utilisation d'une interface MATLAB pour calculer les paramètres de file d'attente, qui permet d'évaluer les composantes de la sureté de fonctionnement.

IV.2. L'interface environ Matlab

La procédure de création et de développement d'un système d'information requiert une démarche. Cette démarche est organisée en un ensemble des fonctions à suivre. Chaque fonction a ses propres particularités et produit un résultat significatif. Pour chaque étape du processus de développement, il existe un ou plusieurs modèles qui décrivent la cible de l'étape en cours.[12]

Ces fonctions sont créées automatiquement par le bloc GUI dans Matlab, et on ajoutera est une communication entre les fonctions globales par les fonctions suivantes :

IV.2.1. Les fonctions (SETAPPDATA, GETAPPDATA, et FINDOBJ)

Le fichier (GUI_APPDATA_FINDOBJ.m) montre l'utilisation des fonctions (SETAPPDATA, et GETAPPDATA) pour gérer les variables et l'utilisation de la fonction (FINDOBJ) pour les identifiants des objets graphiques pendant l'exécution de l'interface graphique. L'utilisation des fonctions (SETAPPDATA, GETAPPDATA, et FINDOBJ), cette méthode est très flexible et très fiable si le choix du nom des variables d'application est fait judicieusement. Cette méthode peut aussi être utilisée dans le cadre d'interfaces complexes à plusieurs fenêtres. Dans ce cas, il est commode de stocker les variables d'application dans l'objet graphique.

IV.2.2. Le fichier GUI (GUIDATA, GUIHANDLES)

Le fichier (GUI_GUIDATA_GUIHANDLES.m) montre l'utilisation des fonctions (GUIDATA et GUIHANDLES). La fonction (GUIDATA) est utilisée pour stocker et retrouver les variables et la fonction (GUIHANDLES) est utilisée pour gérer les identifiants des objets. L'utilisation des fonctions (GUIDATA/GUIHANDLES), cette méthode est également très flexible et peut être utilisée avec un code généré par le GUIDE. [12]

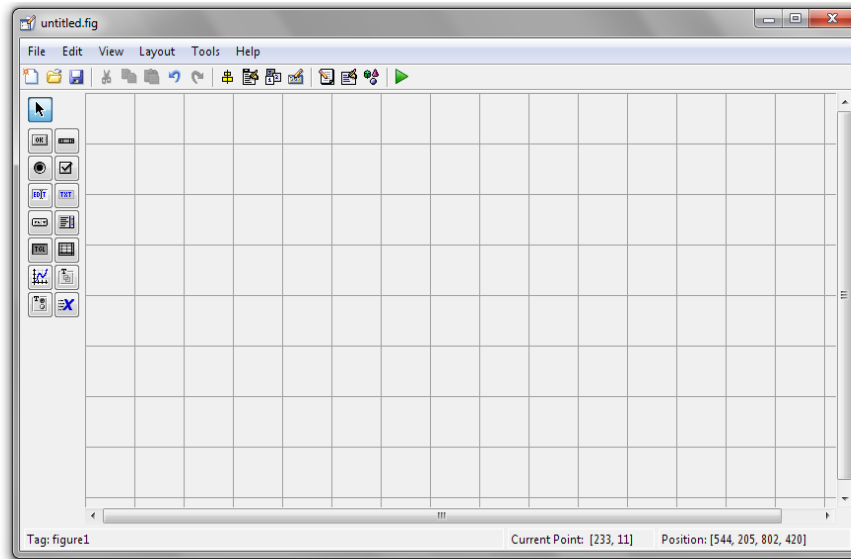


Figure .IV.1. Menu Principale du Bloc Guide.

IV.2.3. Les fonctions Inspectors

Le fichier (GUI_INSPECTOR_FUNC.m), montre l'utilisation des fonctions (Color, Axes, Tag, Position, Enable, Style,...). Ce type de fonction a été intégré dans la version de Matlab 7. Elles sont extrêmement souples d'utilisation. Une variable définie dans la fonction parent est uniquement visible dans les fonctions qui y sont imbriquées. L'utilisation de ces variables est donc immédiate, comme pour les variables globales. Les variables utilisées à l'intérieur des fonctions sont différentes des variables globales. En effet, ces dernières sont visibles en n'importe quel endroit du programme voire même en dehors. Alors que la visibilité des variables des fonctions imbriquées est définie par l'ordre d'imbrication des fonctions. Cette méthode est parfaitement adaptée si le projet ne comporte qu'un seul fichier. [12]

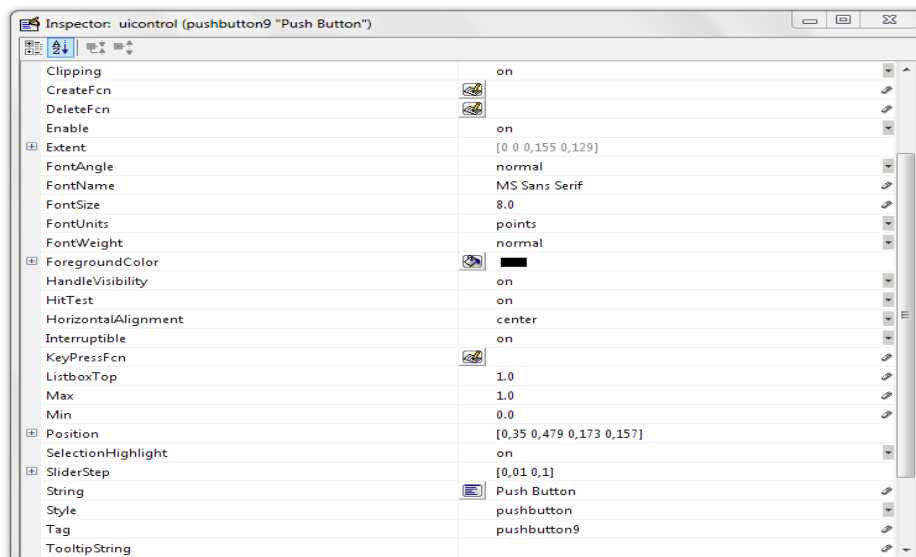


Figure .IV.2. Fenêtre pour Modifier les Caractéristiques des Cases.

IV.3. Configuration principale d'interface

La forme est représentée dans la figure, on choisit au début des règles d'utilisation d'interface pour faciliter le travail.

Calcul les paramètres de file d'attente

Les données

taux d'arrivéé

taux de service(min)

Calculer Fermer

Effacer Aide

Les résultats

Taux d'utilisation du système

Nombre moyen de clients qui attendent d'être servis

Nombre moyen de clients dans le système

Temps moyen d'attente en file

Temps moyen d'attente dans le système

Probabilité qu'il y ait zéro unité (client) dans le système

Probabilité qu'il y ait n unités (clients) dans le système

Probabilité qu'il y ait moins de n unité(client) dans le système

Figure .IV.3. Menu Principale d'Interface de file d'attente.

IV.4. Blocs d'interface

Les données

taux d'arrivéé

taux de service(min)

Figure .IV.4. Bloc des données

Les résultats

Taux d'utilisation du système

Nombre moyen de clients qui attendent d'être servis

Nombre moyen de clients dans le système

Temps moyen d'attente en file

Temps moyen d'attente dans le système

Probabilité qu'il y ait zéro unité (client) dans le système

Probabilité qu'il y ait n unités (clients) dans le système

Probabilité qu'il y ait moins de n unité(client) dans le système

Figure .IV.5. Bloc d'affichage des résultats numériques.

IV.5. Message de confirmation

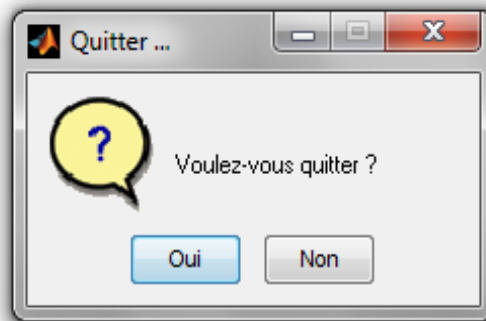


Figure .IV.6. Message pour Confirmation la Fermeture de l'Interface.

IV.6. Exemple de relation de base de la file d'attente dans l'interface

IV.6.1. Les données

- Le nombre des éléments en attente (arrivées) : 3
- Le taux de service : 60min

IV.6.2. Déclaration des données

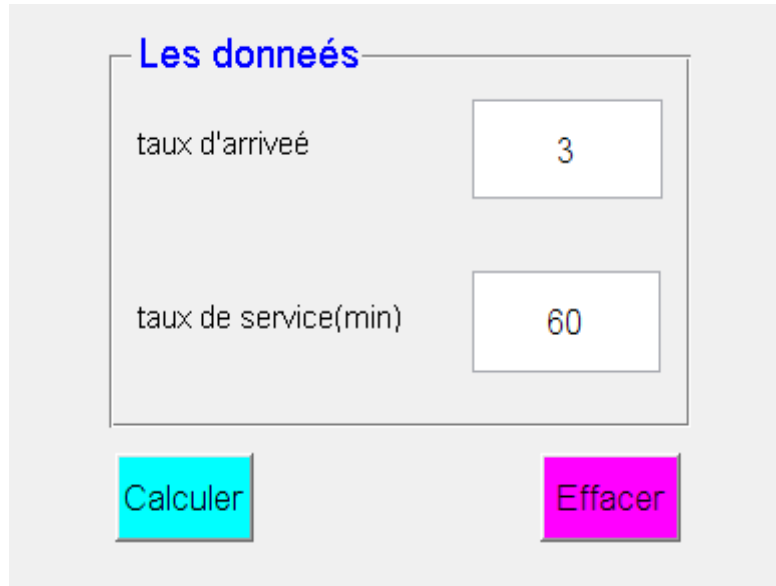
A screenshot of a data entry form. The form has a title "Les données" in blue text. It contains two input fields: "taux d'arrivé" with the value "3" and "taux de service(min)" with the value "60". Below the input fields, there are two buttons: "Calculer" (blue) and "Effacer" (magenta).

Figure .IV.7. Bloc de déclaration des données.

IV.6.3. Résultats obtenus d'après l'exécution par bouton (Calculer)

| Les résultats | |
|--|------------|
| Taux d'utilisation du système | 0.05 |
| Nombre moyen de clients qui attendent d'être servis | 0.00263158 |
| Nombre moyen de clients dans le système | 0.0526316 |
| Temps moyen d'attente en file | 0.00087719 |
| Temps moyen d'attente dans le système | 0.0175439 |
| Probabilité qu'il y ait zéro unité (client) dans le système | 0.95 |
| Probabilité qu'il y ait n unités (clients) dans le système | 0.0475 |
| Probabilité qu'il y ait moins de n unité(client) dans le système | 0.95 |

Figure .IV.8. Les résultats numériques.

IV.7. Interprétation des résultats et choix la politique de maintenance

Les calculs des paramètres des file d'attente a pour but principale d'améliorer les fonctions de la sûreté de fonctionnement par l'agitation sur ces paramètres.

Il faut minimiser le temps d'attente qui permet de prendre les décisions des travaux de maintenance dans les bonnes conditions.

Les résultats du calcul de ces paramètres sont confidentiels avec celles d'interface

- Le temps d'attente est presque nul.
- Probabilité qu'il y ait zéro unité (client) dans le système est proche à 1.

Ce qui permet de réduit les défaillances et augmenter la fiabilité de système de production.

Comme planning de maintenance nous proposons d'appliquer une maintenance préventive et corrective sur les éléments de système de production.

- ✓ Homogénéisateur : MPS pour décomposer les globules de graisse dans le produit
- ✓ Chambre tubulaire : MPS, MPC pour longueur du tube est prévue pour maintenir la température à la température de pasteurisation
- ✓ Echangeur de chaleur à plaques : MP pour d'usure des plaques a cause d'un fluide que glacé ou chaude
- ✓ Unité de désaération : MPS pour extraire les gaz et l'air à partir du produit
- ✓ Unité de séparation : MPS Pour séparer la crème et le lait écrémé l'un de l'autre
- ✓ Module de standardisation automatique : MPS pour standardiser la teneur en graisses du lait et de la crème à un niveau précis.
- ✓ Tableau de commande : MP, MC sur l'équipement de LACTA.
- ✓ Bac tampon : MPS pour une vanne de contrôle automatique régule le niveau.

- ✓ Unité d'eau chaude : MPS sur la vanne de régulation de vapeur qui entraîne la vapeur dans un échangeur de chaleur à plaques séparées dans lequel l'eau est chauffée.

IV.8. Conclusion

Les files d'attente représentent le système productif de façon réaliste et précise, on peut l'utiliser de manière déverse pour évaluer l'impact de certaines décisions, de certaines modifications des paramètres influents sur la sûreté de fonctionnement.

Le choix des politiques de maintenance dépend fortement des objectifs fixés par la direction de la production. Ces objectifs jouent en général le rôle d'un ou de plusieurs critères combinés. L'analyse des critères de choix a donc besoin d'un processus de décision permettant de choisir le type de maintenance à appliquer et surtout à quel moment et sous quelles conditions.

Conclusion générale

Bien que les méthodes d'évaluation des critères de sûreté de fonctionnement soient diverses, les réseaux des files d'attente nous apportent un avantage qui est la prise en compte des dépendances fonctionnelle, ce qui permet une optimisation chiffrée de la maintenance.

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 entreprise, à travers sa hiérarchie, fasse redescendre la connaissance et la volonté de prise en charge de la maintenance dans tout le corps actif de la société. Il correspond, comme nous l'avons souligné à plusieurs reprises, à un énorme effort de formation, de sensibilisation, 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 concertation.

La recherche de l'accroissement des performances des systèmes de production devenus complexes conduit à transférer sur la fonction 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.

Nous venons de montrer dans cette travail l'intérêt de mettre en œuvre une stratégie de maintenance adaptée à nos entreprises et particulièrement la société HODNA LAIT de m'sila.

L'utilisation des réseaux des files d'attente 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.

Ce travail ouvre l'étude de la sûreté de fonctionnement par l'utilisation des autre outils comme réseaux de pétri, simulation de Monte-Carlo,Etc.

Annexe

| Formes | Maintenance préventive | | Maintenance corrective |
|----------------------------------|--|--|---|
| | Systématique | Conditionnelle | |
| Conditions d'intervention | Basée sur l'estimation de la durée de vie des composants | Intervention conditionnelle par la dérive d'un paramètre significatif | Fonctionnement jusqu'à la rupture |
| Aide au diagnostic | | Les outils permettant l'analyse de l'évolution des paramètres de fonctionnement | |
| Application | <ul style="list-style-type: none"> - Opération de graissage - Vérifications périodiques obligatoires - Pièces d'usure | <ul style="list-style-type: none"> - Machine stratégique - Machine à problème - Risque panne dangereuse | <ul style="list-style-type: none"> - Machine doublée - Panne acceptable - Panne imprévisible |

Tableau 1. Formes de maintenance.

| Domaine d'opération | Niveau 1 Appareil | Niveau 2 Sous ensemble | Niveau 3 Fonction interne | Niveau 4 Composant | Niveau 5 Pièce et matériau |
|---------------------------------------|--|--|--|--|---|
| Maintenance préventive systématique | - inspection - entretien extérieur | - contrôle de conformité - entretien intérieur | - étalonnage systématique - visite de maintenance | - révision partielle systématique | - révision générale systématique |
| Maintenance préventive conditionnelle | - contrôle et test de sous-ensembles autonomes d'appareils | - test de fonctionnement interne - reconfiguration de système | - réajustage conditionnel - réétalonnage conditionnel | - opérations correctives normales - conditionnelles de 1, 2, 3,4 ou 5 | - opérations correctives lourdes -conditionnelles de niveau 1, 2, 3,4 ou 5 |
| Maintenance corrective normale | - échange standard d'appareils réparables | - échange standard de sous-ensembles autonomes réparables | - échange standard des composants complexes réparables | - remplacement des composants irréparables | - réparation des composants simples ou complexes |
| Maintenance corrective lourde | -renouvellement d'appareils irréparables | - remplacement des sous-ensembles irréparables | - diagnostic des causes de défaillance fugitives | - diagnostic des causes communes de défaillance - modification curative | - rénovation -reconstruction -modernisation (travaux neufs) |

Tableau 2. Niveau d'exécution des opérations de maintenance.

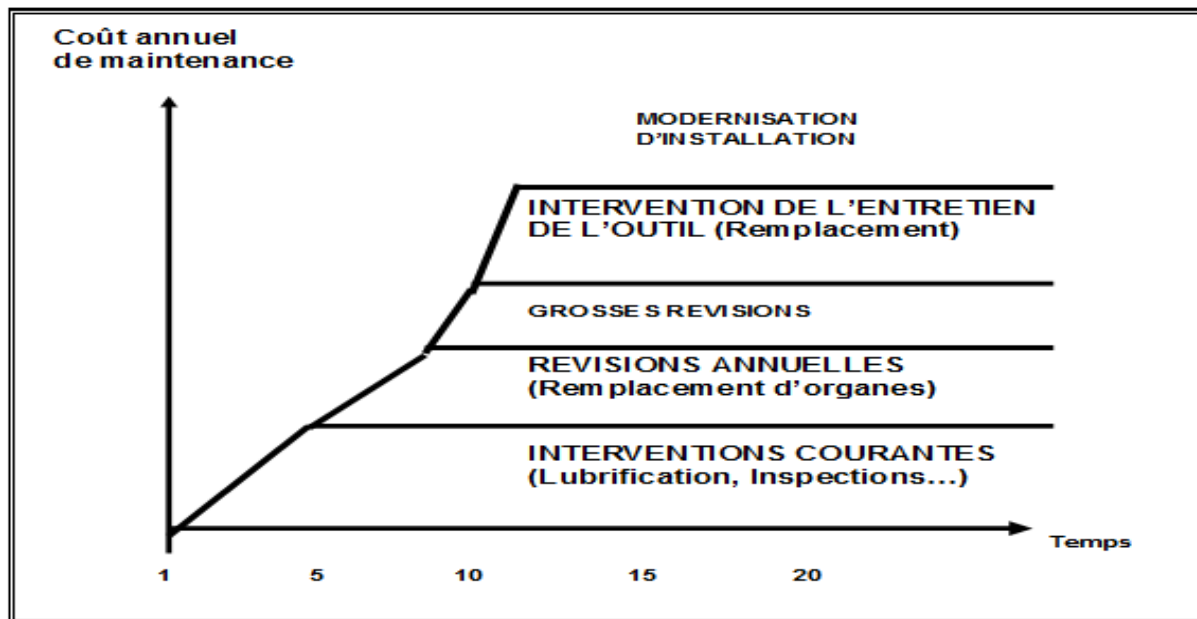


Figure 1. État du matériel en fonction du temps.

| Coût d'investissement | | Coût d'exploitation | | | |
|--|---|---|--|--|--|
| Coût de recherche et développement | Coût de production du bien | Coût de fabrication | Coût de maintenance | Coût de production du bien | Coût de liquidation |
| <ul style="list-style-type: none"> - coût de planning - coût de recherche - coût d'ingénieur et de conception | <ul style="list-style-type: none"> - coût de fabrication - coût de montage - coût de logistique et démarrage | <ul style="list-style-type: none"> - coût du personnel - coût des matières - coût des équipements complémentaires - coût de formation | <ul style="list-style-type: none"> - coût du personnel - coût de la pièce de rechange et consommables - coût de l'outillage et équipements spéciaux - coût de formation - coût de gestion | <ul style="list-style-type: none"> - coût de modification | <ul style="list-style-type: none"> - coût de destruction - coût de recyclage |

Tableau 3. Paramètres du coût global de durée de vie

| Définition des conditions fondamentales | Respect des conditions d'utilisation | Définition des méthodes de réparation | Elimination des erreurs | Réparation des dégradations | Amélioration des points faibles |
|--|--|--|--|--|---|
| Mesures pour éliminer les causes de salissures | Définition des capacités nominales et des seuils de charge | - standardisation des démontages, mesures et remplacement | -standardisation des méthodes d'utilisation - analyse des causes d'erreurs | Découverte et prévention des dégradations | - amélioration des résistances pour augmenter la durée de vie |
| - resserrage - embrification des points de graissage - définition des règles fondamentales | -standardisation des modes opératoires - définition et amélioration des conditions d'utilisation - étanchéité contre l'eau et les poussières des parties mobiles | - standardisation des pièces - amélioration et spécialisation des outils - amélioration de la conception pour une plus grande facilité de réparation | - amélioration des tableaux de commande - surveillance visuelle - méthodologie de dépannage - amélioration des outils - méthodes de stockage | - inspection de l'installation avec les cinq sens et découverte des points de dégradation - définition des règles pour les inspections - analyse MTBF pour chaque type de panne - définition du seuil de remplacement | - structure, mécanismes - matériaux, formes - précisions des dimensions, du montage - résistance à l'abrasion, la corrosion - état de surface - réduction des contraintes dynamiques - suppression des faiblesses de fonctionnement |

Tableau 4. Les cinq points essentiels contre les pannes.

Bibliographie

- [1] **SAHRAOUI YASSER**, « évaluation de performance de la sûreté de fonctionnement par l'utilisation des réseaux de files d'attente », mémoire de fin d'études (2011 / 2012).
- [2] **BRUNO SERICOLA**, « Processus de Markov pour la sûreté de fonctionnement et la qualité de service », Université de Rennes 1, octobre 1998.
- [3] **MONCHY F**, « Maintenance : Méthodes et organisation » édition Dunod, Paris, 2000.
- [4] **P.LYONNET**, « La maintenance : mathématiques et Méthodes», édition Lavoisier, Tec et Doc, Paris 1992.
- [5] **GABRIEL ANTONIO PEREZ CASTANEDA**, « Évaluation par simulation de la sûreté de fonctionnement de système en contact dynamique hybride», thèse de Doctorat, « université Nancy, institut national polytechnique de lorraine », version1, 12/05/2009.
- [6] **ALIN GABRIEL MIHALACHE**, « Modélisation Et Evaluation De La Fiabilité Des Systèmes Mécatroniques : Application Sur Système Embarque », Thèse De Doctorat Université D'Angers 2007.
- [7] **BEN DJAAFER AHMED**, « Réalisation d'un plan de maintenance préventive systématique pour l'amélioration de la sûreté de fonctionnement d'un système électromécanique », mémoire de fin d'étude (2012 / 2013).
- [8] **E.LOGHRAB, SIDI MOHAMED OULD YEYE, BEN ABDERRAHMAN THAMEUR**, « Contribution à l'amélioration des performances de la maintenance par l'utilisation des files d'attentes », mémoire de fin d'étude (2010/2011).
- [9] **DJAGHAME AHLAM, SAIDANE CHOUMAYSSA**, « Etude sur les travaux de restauration en Cours sur des pièces mécaniques au niveau de M.E.I. », mémoire de fin d'étude d'étude (2010/2011).
- [10] **XIAOLAN XIE**, « Evaluation des Performances des systèmes de production ».
- [11] **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.
- [12] **CHIKH AYACHE**, « contribution a l'amélioration de la fiabilité par l'utilisation des réseaux des files d'attente », mémoire de fin d'étude (2012 / 2013).
- [13] **ARISTIDE DOSSOU & MARCELLIN C.ASSE**, thème « contribution a l'amélioration de la gestion des files d'attente à la SBEE.

- [14] **MALIKA BABES**, « statistiques, files d'attente et simulation », 11/1992, p86.
- [15] **YASMIN ARDA**, thèse « Politiques d'approvisionnement dans les systèmes à plusieurs fournisseurs et Optimisation des décisions dans les chaînes logistiques décentralisées » doctorat de l'université de Toulouse délivré par l'Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse 2008
- [16] **MELLE ROSA ABBOU**, « les réseaux de files d'attente pour l'évaluation des performances d'un atelier de maintenance ».
- [17] **PHAM CONG DUC**, « Cours de Modélisation et d'Evaluation de Performance Files d'attente ».
- [18] **MANUEL D'OPERATEUR**, « Tetra Therm Lacta », Doc. No. OM-1221809-0401 (document de l'entreprise, Edition 2008-06).

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DE DIPLOME
DE MASTER EN GENIE ELECTRIQUE**

SPECIALITE :

INGENIERIE DES SYSTEMES ELECTROMECHANIQUES

Proposé et dirigé par : - Mr. DEFDAF Mabrouk

Présenté par : - TOUAMA Elhadj

Thème :

**EVALUATION DES PERFORMANCES DE LA MAINTENANCE DES
SYSTEMES DE PRODUCTION**

Résumé :

La fonction maintenance parmi les fonctions principales, elle joue un rôle primordial dans la gestion des entreprises. Cette thématique présente un souci majeur dans un grand nombre de travaux et plus particulièrement celle qui concerne l'évaluation des stratégies de la maintenance dans les systèmes de production. Les réseaux des files d'attentes comptent parmi les outils qui permettent à la fois la modélisation et l'analyse qualitative et quantitative du système. Ils ont le double avantage de disposer d'un part, d'un support graphique naturel, qui fourni une aide précieuse pour l'analyse, et d'autre part de posséder des priorités analytique qui permettent une évaluation simple du comportement du système à étudier. L'approche utilisée dans ce travail consiste à choisir le système de maintenance de LACTA, enfin nous avons mis en place une analyse qui quantitative consiste à évaluer les performances du système.

Mots clés : Evaluation des Performances, Maintenance, Modélisation; Réseau de files d'attentes,...

N° d'ordre : ISE - 116