

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE 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: AUTOMATIQUE
THEME

EVALUATION DE PERFORMANCE DE LA
SURETE DE FONCTIONNEMENT PAR
L'UTILISATION DES RESEAUX DE FILES
D'ATTENTE

Proposé et dirigé par :

- **MR: Mabrouk DEFDAF**

Présenté par :

- **SAHRAOUI Yasser**

Année Universitaire: 2011/2012

N° d'ordre : 20

Remerciements

Avant tout Je tiens à remercier le bon Dieu tout puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il m'a donné durant toutes ces longues années.

*Ainsi, je tiens également à exprimer mes vifs remerciements à mon encadreur **MR: Mabrouk DEFDAF** pour avoir d'abord proposé ce thème, pour son suivi continuel tout le long de la réalisation de ce mémoire et qu'il n'a pas cessé de me donner ses conseils.*

Je tiens à remercier vivement toutes personnes qui m'ont aidé à élaborer et réaliser ce mémoire, ainsi à tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin à accomplir ce travail.

Mes remerciements vont aussi à tous les enseignants du département, particulièrement Messieurs : GHOMARI et BOUGURA.A et le chef de département de génie électrique qui ont contribué à ma formation par ailleurs, et messieurs DJENIDI Salaheddine pour sa coopération avec moi dans le domaine de la programmation. Je remercie tous les membres du jury qui ont accepté de juger mon travail et tous les enseignants.

En fin, je tiens à exprimer ma reconnaissance à tous mes amis et collègues pour le soutien moral et matériel. . .

Sommaire

Introduction générale 1

Chapitre I : Généralité sur la sûreté de fonction

I.1. Introduction 4

I.2. Les concepts de base de la sûreté de fonctionnement (SDF) 4

I.3. Qu'est ce que la maintenance? 4

 I.3.1. Un peu d'histoire 4

 I.3.2. Définition 5

I.4. Les différents types de Maintenance 5

 I.4.1. La maintenance corrective 6

 I.4.1.1. Définition 6

 I.4.1.2. Les forme de la maintenance corrective 6

 I.4.2. La maintenance préventive 6

 I.4.2.1. Définition 6

 I.4.2.2. L'intérêt d'une telle maintenance 6

 I.4.3. Les type de maintenance préventive 7

I.5. Les niveaux de maintenance 8

I.6. Les Sûreté de fonctionnement 9

 I.6.1. Fiabilité 9

 I.6.1.1. Les différents types de fiabilité 10

 I.6.1.2. Analyse de fiabilité 10

 I.6.2. La Maintenabilité (Maintainability) 14

 I.6.2.1. Définition de la maintenabilité 14

 I.6.2.2. La fonction maintenabilité 15

 I.6.3. La disponibilité 15

 I.6.3.1. Définition de la disponibilité 15

 I.6.3.2. Les sortes de la disponibilité 15

| | |
|---|----|
| I.6.4. L'Analyse des Modes de défaillance, de leurs effets et Criticités (AMDEC)..... | 16 |
| I.6.4.1. Généralités | 16 |
| I.6.4.2. définition et différentes formes évolutives | 17 |
| I.6.5. L'Analyse préliminaire de Risques (APR) | 18 |
| I.6.6. Les réseaux de Pétri (RDP) | 18 |
| I.7. Conclusion | 19 |

Chapitre II : Généralité sur les réseaux des files d'attentes

| | |
|---|----|
| II.1. Introduction | 21 |
| II.2. Processus d'arrivée | 22 |
| II.3. Processus de service | 22 |
| II.4. Discipline de service | 23 |
| II.5. Notations usuelles en files d'attente | 23 |
| II.6. Etude de quelques modèles markoviens de files d'attente | 23 |
| II.6.1. Systèmes à capacité illimitée | 24 |
| II.6.1.1. Système de files d'attente à un seul serveur | 24 |
| II.6.1.2. Système de files d'attente avec plusieurs serveurs en parallèle | 27 |
| II.6.1.3. Système de file d'attente en cascade | 29 |
| II.6.1.4. Système de files d'attente avec découragement | 33 |
| II.6.2. Système de files d'attente à capacité limitée | 35 |
| II.6.2.1. Système M/M/S/N | 35 |
| II.6.2.2. Système M/M/1/N | 38 |
| II.6.3. Système fermé | 39 |
| II.7. Conclusion | 42 |

Chapitre III : Application FMD (SBO + remplisseuse)

| | |
|---|----|
| III.1. Introduction | 44 |
| III.2. Représentation la machine SBO et remplisseuse..... | 45 |
| III.2.1. la machine SBO | 45 |
| III.2.1.1. Généralité | 45 |

| | |
|---|----|
| III.2.1.2. Définition | |
| III.2.1.3. Schéma de principe | 45 |
| III.2.1.4. Présentation générale | 46 |
| III.2.1.5. Chaîne cinématique | 50 |
| III.2.1.6. Four linéaire infra-rouge | 50 |
| III.2.1.7. Consommation en énergies et fluides | 51 |
| III.2.2. Représentation la machine remplisseuse | 52 |
| III.2.2.1. Caractéristiques de l'équipement. | 52 |
| III.2.2.2. Schéma de flux des bouteilles | 54 |
| III.2.2.3. Remplissage à débitmètre électromagnétique situé en amont de chaque bec de remplissage | 55 |
| III.2.2.4. Caractéristiques du remplissage | 56 |
| III.2.2.5. Fermeture. | 56 |
| III.2.2.6. Distributeur de bouchons | 57 |
| III.2.2.7. Caractéristique des bouchages | 57 |
| III.3 Analyse FMD. | 58 |
| III.3.1. Introduction | 58 |
| III.3.2. Historique des pannes | 58 |
| III.3.3. Analyse de la fiabilité. | 60 |
| III.3.3.1. l'historique mensuelle de la machine | 60 |
| III.3.3.2. Paramètres de la loi de weibull en logiciel Log – LAALA | 61 |
| III.3.4. Maintenabilité intrinsèque. | 65 |
| III.3.5. La disponibilité | 67 |
| III.4. Conclusion | 69 |

Chapitre IV : Application des réseaux de file d'attente

| | |
|---|----|
| IV.1. Généralités | 71 |
| IV.2. pourquoi y a-t-il de l'attente? | 71 |
| IV.3. L'objectif de l'analyse des files d'attentes | 71 |
| IV.4. les caractéristiques du système des files d'attentes | 73 |
| IV.5. Les relations de base | 75 |
| IV.6. Application le modale1 pour déterminer les mesures de performance | 76 |

| | |
|--|----|
| IV.7. Qu'est ce que le C# | 78 |
| IV.7.1. Un langage simple et performant pour .NET | 78 |
| IV.7.2. application par langage C# | 78 |
| IV.8. Interprétation et choix de la politique de maintenance | 80 |
| IV.9. Conclusion | 80 |
| Conclusion générale | 83 |

Liste des figures

- Figure I.1- Organigramme types de maintenance 07
- Figure I.2- Les trois périodes de la courbe en baignoire avec différentes valeurs de β 11
- Figure I.3- Graphique Allan Plait 12
- Figure I.4- Allure d'un taux de défaillance « en baignoire 12
- Figure I.5- Chronologie des temps des activités de maintenance 14
- Figure II.1- Système à un seul serveur 21
- Figure II.2- Système multi-serveurs (S serveur en parallèles) 21
- Figure II.3- Graphes du système sans boucles 28
- Figure II.4- Service pour les deux systèmes (FIFO) 30
- Figure II.5- Système de files d'attente avec découragement 34
- Figure II.6- Graphes d'expliquent le système M/M/S/N..... 36
- Figure II.7- Système M/M/1/N 38
- Figure II.8- Système fermé 40
- Figure III.1- Schéma générale les deux machine 44
- Figure III.2- Schéma principe de la machine SBO 45
- Figure III.3- Convoyeur de préforme 46
- Figure III.4- Les préformes attachés à tournettes 47
- Figure III.5- Les préforme dans les fours 47
- Figure III.6- Les préformes en route vers les moules de soufflage 48
- Figure III.7- Chaîne cinématique 50
- Figure III.8- Schéma principe Le passage du préforme dans le four se déroule 51
- Figure III.9- Schéma de flux des bouteilles 54
- Figure III.10- L'illustration montre le remplissage de bouteille 55
- Figure III.11- Remplissage des bouteilles 56
- Figure III.12- Le convoyeur de bouchon 57
- Figure III.13- Fermeture les bouteilles 58
- Figure III.14- présentation les pannes par ordinateur de la machine 59
- Figure III.15- Paramètres loi de weibull en logiciel Log-LAALA 61

Figure

- Figure III.16- Courbe de la densité de probabilité 63
- Figure III.17- Courbe de la fonction de répartition 63
- Figure III.18- Courbe de la fonction de fiabilité 64
- Figure III.19- Courbe de taux de défaillance 64
- Figure III.20- Courbe de la maintenabilité 67
- Figure III.21- Courbe de disponibilité 68
- Figure IV.1- L'objectif de l'analyse de la file d'attente 73
- Figure IV.2- Système de file d'attente simple 74
- Figure IV.3- Le système de file d'attente en pratique 74
- Figure IV.5- La fenêtre pour écrire les données 79
- Figure IV.6- Le résultat de simulation 79

Liste des tableaux

- Tableau III.1- Dossier Historique 60
- Tableau III.2- Test de Kolmogorov Smirnov 62
- Tableau III.3- Tableau de maintenabilité 66
- Tableau IV.1- symboles (modèle avec population infinie) 74
- Tableau IV.2- formules de modèle de base 76

Introduction

Générale

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 sureté 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:

- n Systèmes mécaniques (moteurs, pompes, ...),
- n Systèmes numériques programmés,
- n Systèmes hydrauliques,
- n Systèmes électriques ou électroniques (capteurs, automates programmables), etc.

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

Le rôle de service sureté 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 sureté 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.

La présente étude s'intéresse aux :

- Chapitre I : Généralité sur la sûreté de fonctionnement.
- Chapitre II: Généralité sur les réseaux des files.
- Chapitre III : Application fiabilité, maintenabilité, disponibilité de (SBO + remplisseuse).
- Chapitre IV : Application des réseaux de file d'attente.

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'Etudes; elle représente 70% environ de l'activité totale. Les 30% restants représentent la partie dite quantitative qui est consacrée à la maîtrise des risques avant 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 de risques et, par voie de 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. [1]

I.2. Les concepts de base de la sûreté de fonctionnement (SDF) [2]

La sûreté de fonctionnement (SDF) 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 probabilités et des conséquences induites par les défaillances techniques et humaines. Cette discipline intervient non seulement au niveau de systèmes déjà construits mais aussi au niveau conceptuel pour la réalisation des systèmes.

I.3. Qu'est ce que la maintenance ? [2]

1.3.1. Un peu d'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 a trouvé la forme maintenance comme celui qui soutient, utilisée en 1169, c'est une forme archaïque de mainteneur.

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.

Les principales raisons à retenir pour le passage de l'entretien à la maintenance

- Evolution technologique
- Coût
- Automatisation
- Amortissement
- Contraintes réglementaires

I.3.2. Définition :

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 équipement «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.

Ø 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.

Ø Selon LAROUSSE : La maintenance est l'ensemble de tous ce qui permet de maintenir ou de rétablir un système en état de fonctionnement.

I.4. Les différents types de Maintenance [2]

- La maintenance corrective
- La maintenance préventive

I.4.1. La maintenance corrective :

I.4.1.1. Définition

La norme AFNOR NF X 60 010 définit la maintenance corrective comme une maintenance effectuée après défaillance, où l'on distingue :

Le dépannage : action sur un bien en panne en vue de le remettre en état de fonctionnement.

Aussi, dans ce cas, il est indispensable de travailler méthodiquement. Une bonne préparation du travail, la saisie et la gestion de toutes les informations concernant les interventions de maintenance, permettront de terminer le travail en limitant les temps morts et en évitant les erreurs de démontage et de montage.

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.

I.4.1.2. Les formes de la maintenance corrective

La maintenance corrective peut être utilisée:

- seule en tant que méthode.
- en complément d'une maintenance préventive pour s'appliquer aux défaillances résiduelles.

I.4.2. La maintenance préventive [2]

I.4.2.1. Définition

AFNOR (X-60-010) : Maintenance effectuée dans l'intention de réduire la probabilité de défaillance d'un bien ou la dégradation d'un service rendu.

I.4.2.2. L'intérêt d'une telle maintenance

- 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.

I.4.3. Les types de maintenance préventive

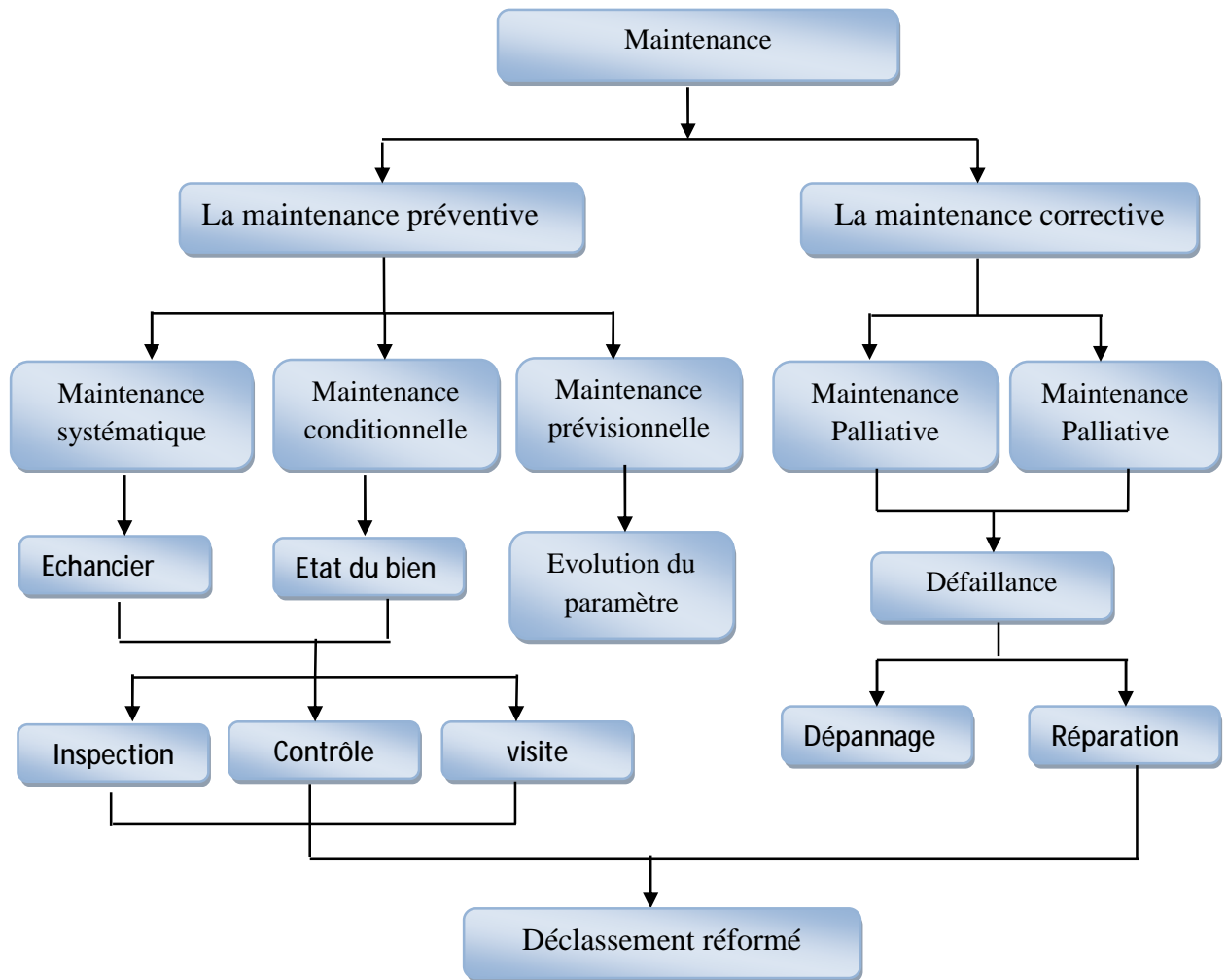
1) La maintenance préventive systématique :

Ø **AFNOR X-60-010** : « Maintenance préventive effectuée suivant un échéancier établi, suivant le temps ou le nombre d'unité d'usage. »

Cette maintenance comprend des inspections périodiques et des interventions planifiées

2) La maintenance préventive conditionnelle :

Ø **AFNOR X-60-010** : « Maintenance préventive subordonnée à un type d'événement prédéterminé révélateur de l'état du bien. »



Figure(L.1) : Organigramme types de maintenance [2].

I.5. Les niveaux de maintenance [2]

Les interventions de maintenance peuvent être classées par ordre croissant de complexité (selon norme X60-000 de 2002) :

1^{er} niveau de maintenance

Réglage simple prévu par le constructeur ou le service de maintenance, au moyen d'éléments accessibles sans aucun démontage pour ouverture de l'équipement. Ces interventions peuvent être réalisées par l'utilisateur sans outillage particulier à partir des instructions d'utilisation, actions simples nécessaires à l'exploitation et réalisées sur des éléments facilement accessibles en toute sécurité à l'aide d'équipements de soutien intégrés 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.

2^{eme} niveau de maintenance

Dépannage par échange standard des éléments prévus à cet effet et d'opération mineure de maintenance préventive, ces interventions peuvent être réalisées par un technicien habilité ou l'utilisateur de l'équipement dont la mesure ou ils ont reçu une formation particulière, actions qui nécessitent des procédures simples et/ou des équipements de soutien (intégrés au bien ou extérieurs) d'utilisation ou de mise en oeuvre 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.

3^{eme} niveau de maintenance

Identification et diagnostique de panne suivit éventuellement d'échange de constituant, de réglage et de d'étalonnage général. Ces interventions peuvent être réalisées par technicien spécialisé sur place ou dans un local de maintenance à l'aide de l'outillage prévu dans des instructions de maintenance.

Opérations qui nécessitent des procédures complexes et/ou des équipements de soutien portatifs, d'utilisation ou de mise en oeuvre 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.

4^{eme} niveau de maintenance

Travaux importants de maintenance corrective ou préventive à l'exception de la rénovation et de la reconstruction. Ces interventions peuvent être réalisées par une équipe disposant d'un encadrement technique très spécialisé et des moyens importants adaptés à la nature de l'intervention, opérations dont les procédures impliquent la maîtrise d'une technique ou technologie particulière et/ou 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.

5^{eme} niveau de maintenance

Travaux de rénovation, de reconstruction ou de réparation importante confiée à un atelier central de maintenance ou une entreprise extérieure prestataire de service, opérations dont les procédures impliquent un savoir-faire, faisant appel à des techniques ou technologies particulières, des processus et/ou des équipements de soutien industriels.

Par définition, ce type d'opérations de maintenance (rénovation, reconstruction, etc.) est effectué par le constructeur ou par une société spécialisée avec des équipements de soutien définis par le constructeur et donc proches de la fabrication du bien concerné.

I.6. Les Sûreté de fonctionnement [4]

I.6.1. 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 est la ou les fonctions que doit accomplir le dispositif pour pleinement remplir la tâche qui lui est assignée.

Considérons l'instant T d'occurrence de la défaillance ; cette 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. Par extension, on appelle également fiabilité la probabilité associée R (t) à cette notion alors qu'elle n'en est qu'une mesure.

Elle est définie par:

$R(t) = P(E \text{ non-défaillante sur la durée } [0, t], \text{ en supposant qu'elle n'est pas défaillante à l'instant } t = 0)$. Ce qui peut s'exprimer par:

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

L'aptitude contraire est appelée dé fiabilité, et est définie par :

$$F(t) = 1 - R(t) = P(t < T)$$

On distingue plusieurs types de fiabilité (termes spécifiques) :

I.6.1.1. Les différents types de fiabilité [4]

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

I.6.1.2. Analyse de fiabilité

I.6.1.2.1. Loi de Weibull :

C'est une loi qui continue à être utilisée le long du cycle de vie d'un matériel, Weibull a donné au taux de défaillance une formule qui dépend de trois paramètres: β, γ, η

I.6.1.2.1.1. Caractéristiques

a) Densité de probabilité

Elle caractérise la probabilité de panne juste à temps.

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

b) La fonction de répartition

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

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

c) La fonction de fiabilité

$F(t) + R(t) = 1$: C'est la probabilité cumulée de non - défaillance au-delà du temps.

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

d) 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 .

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

e) Le moyen de temps de bon fonctionnement MTBF

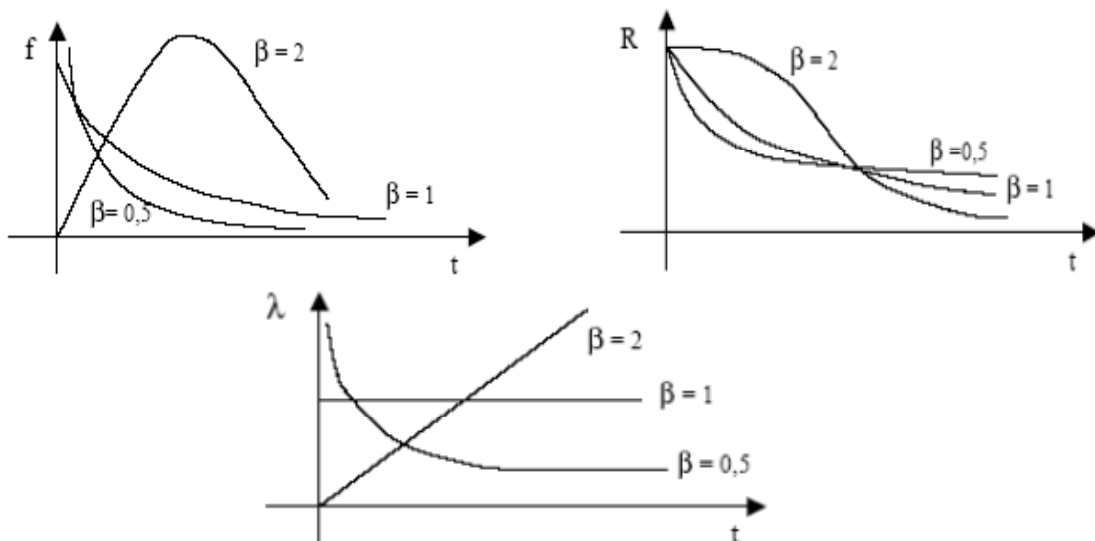
C'est la racine de temps de bon fonctionnement [$MTBF$] divisée par le nombre de pannes.

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

I.6.1.2.1.2. Signification des différents paramètres

Ø Paramètre de forme

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



Figure(L.2) : Les trois périodes de la courbe en baignoire avec différentes valeurs de β . [4]

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

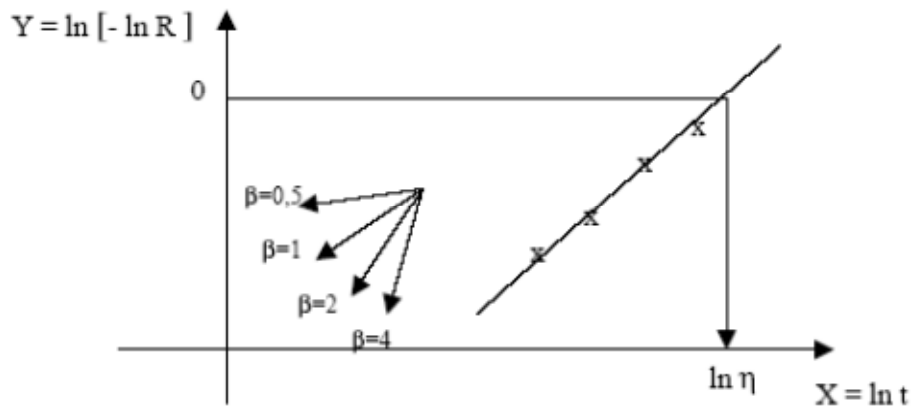
Si $\gamma > 0$ il y a survie totale du lot.

Ø Paramètre d'échelle η

En unité de temps qui est associé à l'échelle utilisée sur le graphe d'ALAIN PLATT. Ce dernier qui est en papier de WEIBULL utilise la méthode graphique pour l'estimation des paramètres de cette loi. Il est gradué comme suit :

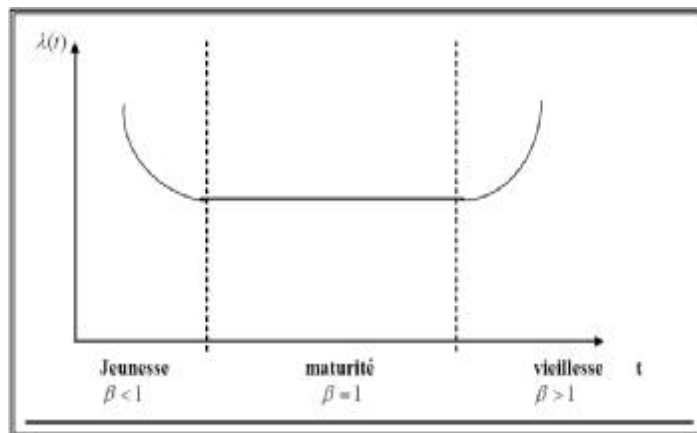
- En abscisse: $\ln t$.

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



Figure(I.3) : Graphique Allan Plait. [4]

Courbe de défaillance :



Figure(I.4) : Allure d'un taux de défaillance « en baignoire ». [4]

$\beta < 1$: 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 la 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 vieillesse provoquée par l'usure mécanique.

Ø La MTBP moyenne des temps entre panne.

Ø La MUT moyenne de temps de bon fonctionnement.

$$MTBF = \frac{\sum \text{temps entre panne}}{N_i}$$

$$MUT = \frac{\sum TBF}{N_i}$$

I.6.1.2.1.3. Algorithme de l'étude de la loi de "Weibull" [4]

Saisie des données d'exploitations recensement de **TBF** tableau de classement des **TBF** par ordre croissant.

Ordre attribué à chaque **TBF** ($1 < i < n$) suivant la taille n de l'échantillon

On calcule $F(t)$ Théorique.

$$\begin{cases} F(t)_{théo} = \frac{\sum n_i - 0.3}{N + 0.4} & \text{si } N \leq 20 \\ F(t)_{théo} = \frac{\sum N_i}{N + 0.4} & \text{si } N > 20 \end{cases}$$

I.6.1.2.1.4. Structure de papier de "Weibull"

Ø Description de papier fonctionnel de Weibull

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

I.6.2. La Maintenabilité (Maintainability) [4]

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 de la (fig.10) résume tous les instants importants de cette chronologie.

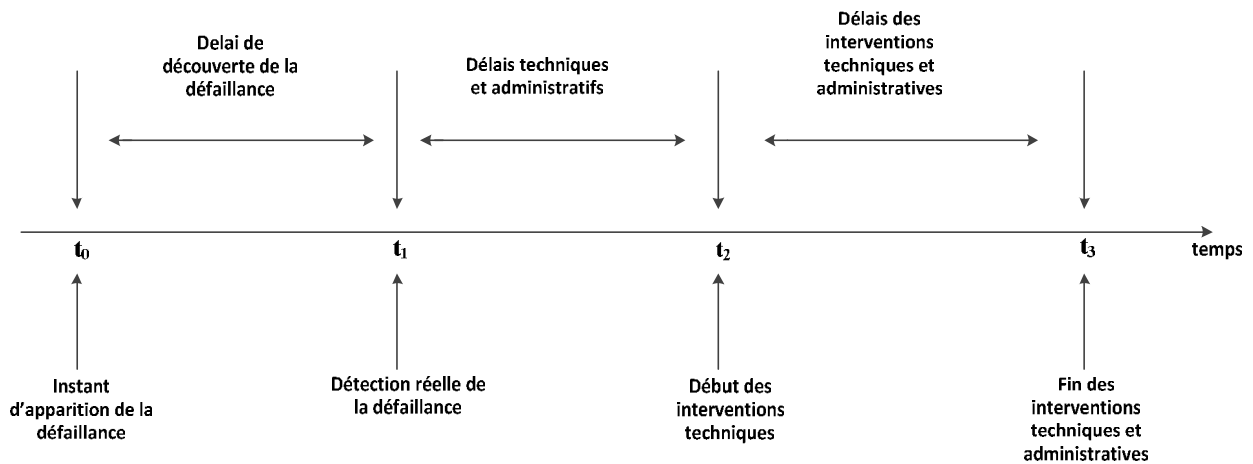


Figure (I.5) : Chronologie des temps des activités de maintenance [3]

I.6.2.1. Définition de la maintenabilité [4]

(AFNOR X-06-010) : «Aptitude d'un dispositif à être maintenu ou rétabli dans un état dans lequel il puisse 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 (« item ») à être maintenu ou remis dans des conditions spécifiques 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.

- » Maintenabilité intrinsèque.
- » Maintenabilité extrinsèque.

I.6.2.2. La fonction maintenabilité [4]

C'est la probabilité pour qu'un dispositif soit réparé avant (t).

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

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

I.6.3. La disponibilité [4]

La norme AFNOR X 60-500 définit la disponibilité comme « 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 de maintenance soit assurée ».

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

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

L'aptitude contraire est appelée indisponibilité et est définie par :

$$\bar{A} = 1 - A(t)$$

I.6.3.1. Définition de la disponibilité

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.

I.6.3.2. Les sortes de la disponibilité

a) Disponibilité intrinsèque

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

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

b) Disponibilité instantanée

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

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

μ : Taux de réparation.

λ : Taux de défaillance.

I.6.4. L'Analyse des Modes de défaillance, de leurs effets et Criticités (AMDEC ou FMECA) [5]**I.6.4.1. Généralités**

L'analyse des modes de défaillance et de leurs effets (AMDE) et l'analyse des modes de défaillance de leurs effets et de leur criticité (AMDEC) sont des méthodes d'analyse de la fiabilité qui permettent de recenser les défaillances dont les conséquences affectent le fonctionnement du système dans le cadre d'une application donnée.

En règle générale, toute défaillance ou tout mode de défaillance d'un composant altère le fonctionnement du système. L'étude de fiabilité, de la sécurité et de la disponibilité d'un système fait appel à deux types d'analyse complémentaires : l'analyse qualitative et l'analyse quantitative. L'analyse quantitative permet de calculer ou de prévoir les indices de performance du système pendant qu'il remplit une tâche spécifique ou lorsqu'il doit fonctionner sur une longue période dans des conditions particulières. Les indices classiques caractérisent la fiabilité, la sécurité, la disponibilité, les taux de défaillance, le temps moyen jusqu'à défaillance (MTTF), etc.

L'AMDE commence au niveau – composant ou sous-ensemble – pour lequel on dispose d'informations de base sur les défaillances (modes de défaillances premières). Partant des caractéristiques fondamentales des défaillances des éléments et de la structure fonctionnelle du système, l'AMDE permet de dégager la relation qui existe entre les défaillances des éléments et les défaillances, les dysfonctionnements, les contraintes opérationnelles et la dégradation du fonctionnement ou de l'intégrité du système. Pour pouvoir étudier les défaillances secondaires ou d'un niveau plus élevé de système ou de sous-système, il est parfois nécessaire d'examiner également la suite chronologique des événements.

L'AMDE au sens strict se limite à une analyse qualitative de défaillance du matériel. Elle ne porte pas sur les erreurs humaines ni sur les erreurs de logiciel, bien qu'en fait, dans les systèmes actuels, ces deux types d'erreurs peuvent survenir. Mais prise dans un sens plus large, elle pourrait englober ces deux facteurs. On utilise la notion de criticité pour définir la gravité des conséquences d'une défaillance.

Il existe plusieurs catégories ou niveaux de criticité qui sont fonction du danger et de l'incapacité plus ou moins grande du système de fonctionner, et parfois, de la probabilité des défaillances. Il vaut mieux procéder séparément à l'analyse de cette probabilité. L'étude de la criticité et de la probabilité des modes de défaillance est une suite logique de l'AMDE. Cette analyse de la criticité des modes de défaillance mis à jour est bien connue sous le nom de AMDEC.

I.6.4.2. définition et différentes formes évolutives

I.6.4.2.1. Définition

L'AMDEC est une méthode qualitative et inductive (qui définit une règle ou une loi à partir de l'expérience : un raisonnement inductif visant à identifier les risques de pannes potentielles contenues dans un avant-projet de produit ou de système, quelles que soient les technologies, de façon à les supprimer ou à les maîtriser (norme AFNOR X 60-510 de décembre 1986.

I.6.4.2.2. Histoire et évolution

La FME(C)A (failure mode effect critically analysis) a été mise au point vers 1960 dans l'industrie aéronautique américaine. Dédiée à l'origine à la mise au point des produits, l'industrie automobile a étendu son usage à la mise au point des procédés, puis des systèmes de production vers 1980. Alors que sa vocation initiale était prévisionnelle, l'outil a été utilisé de façon opérationnelle pour améliorer des systèmes existants. Il est possible de réaliser des AMDE ou des AMDEC, l'estimation de la criticité des modes de défaillance apparaissant utile ou non. Actuellement, les AMDE (C) sont mises en œuvre :

- de façon réglementaire : sûreté des industries à risque (nucléaire, chimie, aérospatiale, transports, etc.) ;
- de façon contractuelle : équipementiers de l'automobile principalement ;

- de façon volontaire : construction d'une bonne disponibilité à l'origine ou amélioration de la disponibilité en phase d'exploitation.

Dans ce qui suit nous étudierons les analyses de type « AMDEC - moyens de production » qui concernent de plus les techniciens de maintenance.

I.6.5. L'Analyse préliminaire de Risques (APR) [1]

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

C'est une analyse déductive dont les objectifs sont :

- 1- de forcer le projet à pratiquer une décomposition fonctionnelle de base, de tout le concept de l'instrument, y compris les softs, pendant la phase de design,
- 2- l'identification des erreurs et des non-conformités de design en comparaison aux spécifications d'origine,
- 3- l'identification très tôt dans le déroulement du projet, des modes de pannes possibles et en particulier des pannes à effet catastrophique sur le système, ces dernières sont traitées en priorité,
- 4- l'apport de modifications pour réduire le nombre d'éléments critiques et, plus généralement, pour réduire les risques de pannes.

I.6.6. Les réseaux de Pétri (RDP) [1]

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

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

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

I.7. 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.

La suite de ce travail consiste à étudier l'évaluation des performances d'un système de production, après de faire représenter Les deux machines (SBO, Remplisseuse) dans la société " HODNA LAIT ".

Chapitre II

Généralité sur les réseaux des files

II.1. Introduction [6]

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

Ce phénomène a lieu dans les étapes suivantes :

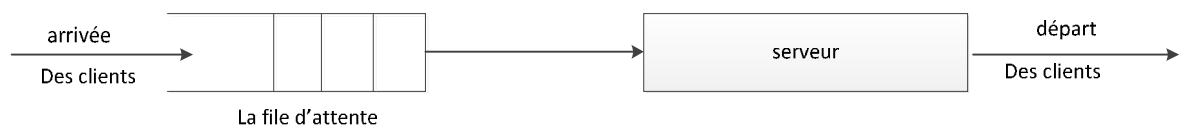
Un ensemble d'individus, qu'on appelle clients, viennent suivant un processus quelconque (le plus souvent aléatoire) acquérir un service auprès d'un notre individu dit serveur.

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 de clients arrivants ou servis par unité de temps).

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

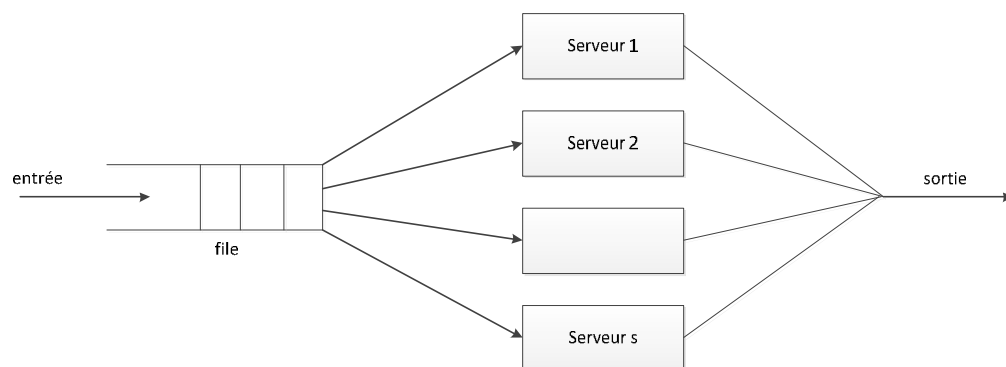
Remarquons que le processus ainsi décrit est un processus stochastique, car on ne peut connaitre à l'avance ni le temps d'arrivée d'un client, ni la durée de service qu'il demandera.

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



Figure(II.1) : système à un seul serveur [6]

Ou bien :



Figure(II.2) : système multiserveurs (S serveur en parallèles) [6]

Remarque

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

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

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

II.2. Processus d'arrivée [6]

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 unités 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.

II.3. Processus de service

La deuxième composante d'un système de files d'attente est la quantité de service demandée par un client.

Dans la majorité des cas, on suppose que la population des clients est homogène, ce qui entraîne que les services demandés sont identiquement distribués, ou ont une distribution comme dite distribution de service.

Dans des cas plus compliqué, les clients sont classés dans de différentes types suivants la nature de distribution de leurs services.

En pratique, on rencontre la distribution exponentielle qui est la plus simple à manipuler mathématiquement. Une propriété assez importante de cette distribution est son manque de mémoire, qui pourrait-être caractérisé par le fait que le temps résiduel d'un service est indépendant du temps déjà écoulé de ce service.

II.4. Discipline de service

On a mentionné plus haut, qu'une fois le serveur devient libre, il choisit un client de la file suivant une politique ou discipline adoptée au sein du système.

La règle la plus familière est FCFS (PAPS) : First Come First Served (premier arrivé, premier servi), ou FIFO : First In First out, ou les clients sont servis dans l'ordre de leurs arrivées.

Cette règle peut ne pas interpréter réellement la situation au sein du système : parfois certains clients sont plus importants que d'autres et nécessitent un traitement meilleur, d'où on parlera de files d'attente avec priorité .on distingue les priorités simples et les priorités complexes.

Il existe d'autres disciplines de service telles LIFO : Last In First Out (ou DAPS : dernier arrivé, premier sorti), R-R : Round-Robin (sélection aléatoire),....., etc.

II.5. Notations usuelles en files d'attente

Pour spécifier le type de file d'attente qu'on étudie, on utilise habituellement la notation A/B/S/N ou A et B décrivent respectivement la distribution du temps interarrivées et la distribution du temps de service, S étant le nombre de serveur existant dans le système, et N est la taille de la salle d'attente (en cas ou elle existe).Ce symbole est omis dans le cas des files infinies.

A titre d'exemple de notation utilisée, on cite :

M : distribution exponentielle. Du fait de son manque de mémoire, cette distribution peut décrire un processus markovien.

E : distribution d'erlang d'ordre K,

$$f(t) = \frac{\gamma(\gamma t)^{k-1}}{\Gamma(k)} e^{-\gamma t} \dots\dots\dots(1)$$

D : distribution déterministe.

G : distribution générale.

Exemple :

M/M/1 : système à arrivées poissonienne, à service exponentiel, à un seul serveur, et à une file infinie.

M/M/1/N : même description que le système précédent, sauf que la file est limité à N places.

Autre systèmes : M/D/S, M/E_k/2/N, G/G/1,....., etc.

II.6. Etude de quelque modèles markoviens de files d'attente [7]

Nous allons commencer notre étude par des systèmes markoviens. Ce sont des systèmes ou les temps interarrivés et les temps de services des clients sont exponentiels.

II.6.1. Systèmes à capacité illimitée [6]

II.6.1.1. Système de files d'attente à un seul serveur

Système M/M/1

Dans ce système on a affaire à des arrivées poissonniennes de taux λ (nombre moyen de clients arrivant pendant une unité de temps) et à un service exponentiel de taux μ (nombre moyen de clients servis pendant une unité de temps, donc $1/\mu$ est le temps moyen de service d'un client). Il y a un seul serveur et la file est illimitée. On suppose que la discipline est FIFO.

Etude des probabilités d'état du système [8]

Pour pouvoir étudier ce système entre les instants t et $t + \Delta t$, considérons l'un de ses états, soit l'état n . Cet état désigne qu'il existe n clients dans le système à l'instant $t + \Delta t$. Ce cas a lieu dans les situations suivantes :

- à l'instant t il y a eu $(n-1)$ clients et une arrivée a eu lieu pendant Δt , mais aucun service n'a été achevé pendant cet intervalle. Donc à $t + \Delta t$ on a un effectif de n . La probabilité correspondante est :

$$P_{n-1}(t) * [\lambda \Delta t (1 - \mu \Delta t)] \dots \dots \dots (2)$$

- à l'instant t il y a eu n clients dans le système, pendant l'intervalle Δt aucune entrée et aucun achèvement de service ; donc aucune sortie n'a eu lieu. L'effectif à $t + \Delta t$ sera donc n , et la probabilité correspondante sera :

$$P_n(t) * (1 - \lambda \Delta t) * (1 - \mu \Delta t) \dots \dots \dots (3)$$

- à l'instant t il y a eu $n+1$ clients dans le système, un service a été achevé pendant Δt , et aucune entrée n'a été enregistrée pendant cet instant. Donc l'effectif à $t + \Delta t$ sera n et la probabilité correspondante :

$$P_{n+1}(t) * (1 - \lambda \Delta t) * \mu \Delta t \dots \dots \dots (4)$$

$$D'où : P_n(t + \Delta t) = P_{n-1}(t) * [\lambda \Delta t (1 - \mu \Delta t)] + P_n(t) * (1 - \lambda \Delta t) * (1 - \mu \Delta t) + P_{n+1}(t) * (1 - \lambda \Delta t) * \mu \Delta t .$$

Si on développe cette expression on obtient :

$$P_n(t + \Delta t) = P_{n-1}(t) * \lambda \Delta t + P_n(t) [1 - (\lambda + \mu) \Delta t] + P_{n+1}(t) \mu \Delta t + 0(\Delta t^2) \dots \dots (5)$$

Où $0(\Delta t^2)$ est un infiniment petit en $(\Delta t)^2$.

Quand $\Delta t \rightarrow 0$, l'équation différentielle correspondante sera :

$$\frac{P_n(t + \Delta t) - P_n(t)}{\Delta t} \rightarrow P'_n(t) = P_{n-1}(t) \lambda - (\lambda + \mu) P_n(t) + P_{n+1}(t) \mu$$

A l'état stationnaire les différentielles s'annulent et les probabilités ne dépendent plus du temps. D'où l'équation précédente s'écrira sous la forme :

$$0 = \lambda P_{n-1} - (\lambda + \mu)P_n + \mu P_{n+1} \quad \forall n \geq 1 \dots\dots\dots (6)$$

Pour $n = 0$ c'est-à-dire quand on n'a aucun client dans le système à $t + \Delta t$ le raisonnement sera comme suit :

- à l'instant t il n'y a eu aucun client dans le système et aucune arrivée n'a eu lieu pendant Δt . La probabilité correspondante sera :

$$P_0(t) * (1 - \lambda\Delta t) \dots\dots\dots (7)$$

- à l'instant t il y a eu un seul client en service et il a achevé son service pendant Δt , mais aucune arrivée n'a eu lieu pendant cet intervalle. D'où la probabilité de réalisation :

$$P_1(t) * \mu\Delta t * (1 - \lambda\Delta t) \dots\dots\dots (8)$$

Donc $P_0(t + \Delta t) = P_0(t)(1 - \lambda\Delta t) + P_1(t)\mu\Delta t(1 - \lambda\Delta t)$.

Après avoir développé l'expression et éliminé les termes en $(\Delta t)^2$ on obtient :

$$P_0(t + \Delta t) = P_0(t)(1 - \lambda\Delta t) + P_1(t)\mu\Delta t .$$

$$\Rightarrow \frac{P_0(t+\Delta t)-P_0(t)}{\Delta t} \rightarrow P'_0(t) = \lambda P_0(t) + \mu P_1(t) .$$

A l'état stationnaire on peut écrire :

$$0 = -\lambda P_0 + \mu P_1 \Rightarrow P_1 = \frac{\lambda}{\mu} P_0 .$$

En portant la valeur de P_1 dans l'expression de P_2 qui pourrait-être déduite de l'équation (6) pour $n = 1$, on trouve :

$$0 = \lambda P_0 - (\lambda + \mu)\lambda P_0/\mu + \mu P_2 \Rightarrow P_2 = \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^2 P_0 .$$

De proche en proche, on déduit :

$$P_n = \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n P_0 \dots\dots\dots (9)$$

En utilisant la propriété $\sum_i P_i = 1$, on trouve la valeur de P_0 :

$$P_0 = \frac{1}{1 + \frac{\lambda}{\mu} + \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^2 + \dots + \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n + \dots}$$

L'expression au dénominateur est une progression géométrique de raison λ/μ . Elle est convergente si $\lambda/\mu < 1$ est égale à $\frac{1}{1-\frac{\lambda}{\mu}}$.

La condition $\lambda/\mu = \rho$ (taux ou intensité de trafic) < 1 est une condition essentielle pour la stabilité du système et elle est dite condition d'ergodicité du système.

Si $\lambda > \mu$ le système peut-être en engorgement.

Donc on déduit que pour un tel système :

$$P_0 = 1 - \rho \quad \text{Et} \quad P_n = P^N(1 - \rho) \quad \forall n \geq 1 \dots\dots\dots (10)$$

Etude des paramètres caractéristiques du système

On note le nombre moyen de clients dans le système par \bar{n} et on le calcule par :

$$\bar{n} = \sum_{n=0}^{+\infty} n P_n = \sum_{n=0}^{+\infty} n \left(1 - \frac{\lambda}{\mu}\right) \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n \dots\dots\dots (11)$$

$$\bar{n} = \frac{\lambda}{\mu} \left(1 - \frac{\lambda}{\mu}\right) \left[1 + 2 \left(\frac{\lambda}{\mu}\right) + 3 \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^2 + \dots + n \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^{n-1} + \dots\right].$$

On voit que l'expression entre crochets est la dérivée de l'expression :

$$\frac{\lambda}{\mu} + \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^2 + \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^3 + \dots = B.$$

B Peut aussi s'écrire sous la forme :

$$B = \frac{\lambda}{\mu} \left[1 + \frac{\lambda}{\mu} + \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^2 + \dots + \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n + \dots\right].$$

D'où $B = \frac{\lambda}{\mu} \left[\frac{1}{1 - \frac{\lambda}{\mu}} \right]$

Et donc $B' = \frac{1}{(1-\rho)^2}$. Ce qui nous permet de déduire.

$$\bar{n} = \frac{\lambda}{\mu - \lambda} \dots\dots\dots (12)$$

En utilisant les relations de Little : $\bar{n} = \lambda \bar{T}$ et $\bar{n}_f = \lambda \bar{T}_f$

Où \bar{T} est le temps moyen d'attente dans le système \bar{T}_f et \bar{n}_f sont respectivement le temps moyen d'attente et le nombre moyen de clients dans la file. On déduit :

$$\bar{T} = \frac{1}{\mu - \lambda} \dots\dots\dots (13)$$

Si on note par $1/\mu$ le temps moyen de service d'un client, on peut aussi écrire :

$$\bar{T} = \bar{T}_f + \frac{1}{\mu} \quad \text{D'où} \quad \bar{T}_f = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)} \dots\dots\dots (14)$$

Et donc $\bar{n}_f = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)} \dots\dots\dots (15)$

Remarque

Il ne faut surtout pas dire que $\bar{n} = \bar{n}_f + 1$, car rien ne nous indique qu'il y a en moyen un client en service. Mais on peut remarque que :

$$\bar{n}_f = \bar{n} - \rho.$$

II.6.1.2. Système de files d'attente avec plusieurs serveurs en parallèle [6]

Système M/M/S

Dans ce type de files d'attente, on a S serveurs en parallèle. Le client entrant au système n'est pas obligé de visiter tous les S serveurs (tel que dans le cas où ils sont en série). Si chaque serveur est doté d'une file, au moment de son arrivée le client choisit l'une d'entre elles ; bien sûr il doit choisir la file la moins longue ; ou bien il rejoint une position donnée dans la file si elle est unique, puis il sera sélectionné de cette file selon la politique adoptée dans le système.

Remarquons que tant que n , le nombre de clients présents dans le système est inférieur à S , ce qui revient à dire tant que les serveurs ne sont pas tous occupés, alors la file ne se constitue pas et tout client arrivant est immédiatement pris en charge par l'un des serveurs libres.

Dès que $n = S$ la file commence à se constituer et tout client qui arrive doit rejoindre la file.

Etude des probabilités d'état

Pour traiter ce type de files d'attente, on pourrait se baser sur les résultats du processus de naissance et de mort. On remarque dans ce cas que $\lambda_n = \lambda, \forall n$ car le nombre des arrivées ne dépend pas du nombre de clients présents dans le système. Par contre $\mu_n = N_\mu$ pour $1 \leq n \leq S$ et $\mu_n = S_\mu$ pour tout $n \geq S$. Car si μ est le nombre moyen de clients servis pendant une unité de temps par un serveur, ce nombre est égale à 2μ si on a 2 serveurs, il est égale à 3μ si on a 3 serveurs,....., etc.

D'où le système des équations des probabilités d'états sera :

$$\begin{cases} P_0(t + \Delta t) = (1 - \lambda\Delta t)P_0(t) + \mu\Delta t + P_1(t) \\ P_n(t + \Delta t) = \lambda\Delta t P_{n-1}(t) + [1 - (\lambda + n_\mu)\Delta t]P_n(t) + (n + 1) \mu\Delta t P_{n+1}(t) & 1 \leq n \leq S \\ P_n(t + \Delta t) = \lambda\Delta t P_{n-1}(t) + [1 - (\lambda + S_\mu)\Delta t]P_n(t) + S_\mu\Delta t P_{n+1}(t) & \forall n \geq S \end{cases} \dots \dots \dots (16)$$

Le système des équations différentielles sera :

$$\begin{cases} P'_0(t) = -\lambda P_0(t) + \mu P_1(t) \\ P'_n(t) = \lambda P_{n-1}(t) - (\lambda + n_\mu)P_n(t) + (n + 1) \mu P_{n+1}(t) & \forall 1 \leq n \leq S \\ P'_n(t) = \lambda P_{n-1}(t) - (\lambda + S_\mu)P_n(t) + S_\mu P_{n+1}(t) & \forall n \geq S \end{cases}$$

Remarquons que le système des équations différentielles précédentes aurait pu être déduit d'après le graphe, sans boucles, suivant :

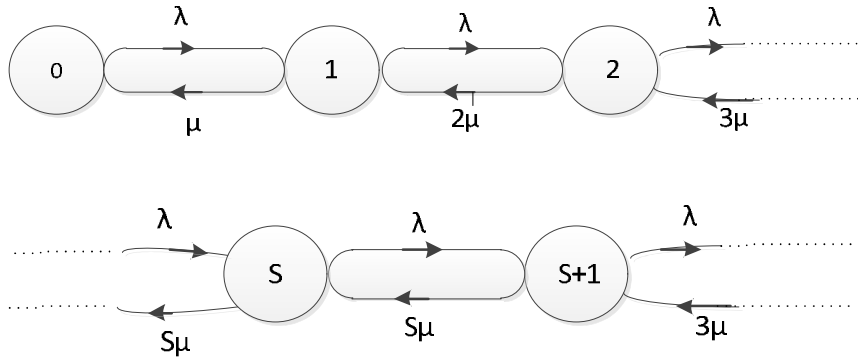


Figure (II.3) : graphes du système sans boucles

Pour dresser l'équation i , il suffit de faire le bilan des arcs entrants et des arcs sortants du nœud $(i - 1)$.

A l'état stationnaire le système des équations différentielles précédent sera :

$$\begin{cases} 0 = -\lambda P_0 + \mu P_1 \\ 0 = \lambda P_{n-1} + (n + 1) \mu P_{n+1} - (\lambda + n\mu) P_n & 1 \leq n \leq S \\ 0 = \lambda P_{n-1} + S\mu P_{n+1} - (\lambda + S\mu) P_n & \forall n \geq S \end{cases}$$

En résolvant ce système pour $S = 2$, on peut déduire :

$$P_n = \frac{(\lambda/\mu)^n}{n!} P_0 \quad \forall 1 \leq n \leq S$$

$$\text{Et } P_n = \frac{(\lambda/\mu)^n}{S! S^{n-S}} P_0 \quad \forall n \geq S$$

On remarque que pour $n = S$ les deux formules donnent la même valeur.

Pour calculer P_0 on applique la relation $\sum_i P_i = 1$. D'où on tire :

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{n=0}^{S-1} \frac{(\lambda/\mu)^n}{n!} + \sum_{k=0}^{+\infty} \frac{(\lambda/\mu)^{S+k}}{S! S^k}} \dots \dots \dots (17)$$

La deuxième somme donne :

$$\frac{(\lambda/\mu)^S}{S!} + \frac{(\lambda/\mu)^{S+1}}{S! S} + \dots = \frac{(\lambda/\mu)^S}{S!} \left[1 + \frac{\lambda}{\mu S} + \left(\frac{\lambda}{\mu S} \right)^2 + \dots \right].$$

L'expression entre crochet est une progression géométrique qui possède une limite égale à

$$\frac{1}{1 - \frac{\lambda}{\mu S}} \text{ si sa racine } \frac{\lambda}{\mu S} < 1.$$

Donc la condition d'ergodicité du système est :

$$\frac{\lambda}{\mu S} < 1.$$

D'où on déduit :

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{n=0}^{S-1} \frac{(\lambda/\mu)^n}{n!} + \frac{(\lambda/\mu)^S}{S!(1-\frac{\lambda}{\mu S})}} \dots\dots\dots (18)$$

Paramètre caractéristique du système

a) Nombre moyen de clients dans le système

$$\bar{n} = \sum_{n=0}^{+\infty} nP_n = \sum_{n=1}^{S-1} \frac{n(\lambda/\mu)^n}{n!} P_0 + \sum_{n=S}^{+\infty} \frac{n(\lambda/\mu)^n}{S! S^{n-S}} P_0$$

Après une série de manipulation, on déduit :

$$\bar{n} = \frac{\lambda}{\mu} + \frac{(\lambda/\mu)^{S+1}}{S S!(1-\frac{\lambda}{\mu S})^2} P_0 \dots\dots\dots (19)$$

b) Temps moyen de séjour d'un client dans le système

$$\bar{T} = \frac{\bar{n}}{\lambda} = \frac{1}{\mu} + \frac{(\lambda/\mu)^S}{\mu S!(1-\frac{\lambda}{\mu S})^2} P_0 \dots\dots\dots (20)$$

c) Nombre moyen de clients en attente (en file)

$$\bar{n}_f = \sum_{k=0}^{+\infty} k * P_{S+k} = P_0 \frac{(\lambda/\mu)^S}{S!} \sum_{k=0}^{+\infty} k \left(\frac{\lambda}{\mu S}\right)^k$$

Ou bien
$$\bar{n}_f = \frac{P_0(\lambda/\mu)^{S+1}}{S * S!(1-\frac{\lambda}{\mu S})^2} \dots\dots\dots (21)$$

On remarque aussi que $\bar{n} = \bar{n}_f + \rho$.

d) Temps moyen d'attente dans la file

$$\bar{t}_f = \frac{\bar{n}_f}{\lambda} = \frac{P_0 * S\mu * (\lambda/\mu)^S}{S! * (S\mu - \lambda)^2} \dots\dots\dots (22)$$

On remarque aussi que :

$$\bar{T}_f = \bar{T} - \frac{1}{\mu}.$$

II.6.1.3. Système de file d'attente en cascade

L'étude analytique du système en cascade est en générale difficile e et on procède presque toujours par simulation (thème qui sera abordé dans la partie C de ce cours). Toutefois, dans le cas des arrivées poissonienne et de service exponentiel, l'étude est possible. On rencontre les systèmes en cascade, dans une chaine de fabrication, dans le trafic de clients dans un restaurant à self service, dans la circulation des dossiers dans une administration,.....etc.

A titre d'exemple on va présenter une cascade de deux systèmes de files poissonniennes possédant chacune un seul canal de service. Pour trouver les équations d'état du système, en état stationnaire, on va utiliser la théorie des chaînes de Markov.

Position du problème

On considère la file d'attente suivante :

Le client arrive selon un processus de Poisson de taux λ et se présente à un premier guichet noté A, puis à un guichet B. Les temps d'attente au guichet A et au guichet B sont deux variables aléatoires indépendantes, distribuées selon une loi exponentielle de moyenne $1/\mu$ et $1/\nu$ respectivement.

Les disciplines de service sont FIFO pour les deux systèmes. D'où le schéma représentatif suivante:

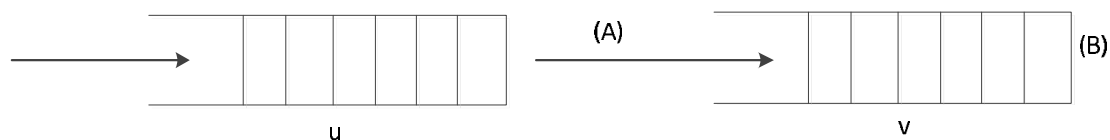


Figure (II.4) : service pour les deux systèmes (FIFO).

On peut appliquer cette méthode à un nombre limité de systèmes. On note par X_t (resp Y_t) le nombre de clients présents à l'instant t dans le système A (resp dans B). Les couples (X_t, Y_t) , pour $t \geq 0$ définissent une chaîne de Markov homogène.

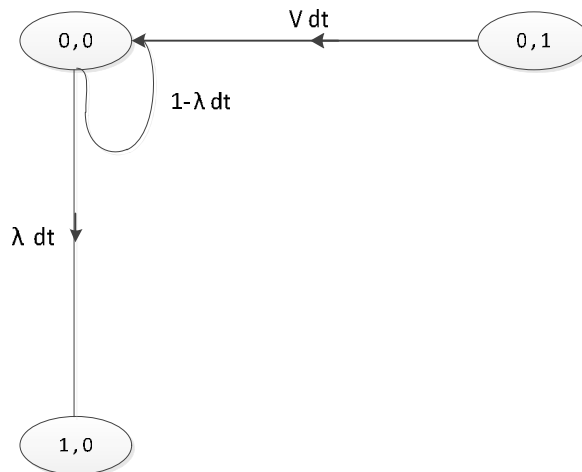
Notre problème consiste à :

- donner le diagramme de transition relatif au couple (X_t, Y_t) .
- montrer que la chaîne de Markov est irréductible. Etablir des conclusions sur le régime stationnaire.
- chercher la solution du système, obtenu en b, en posant $P_{ij} = P_i * Q_j$ ou P_i et Q_j étant à préciser. Chercher sous quelle condition sur λ, μ et ν , une solution existe-t-elle. Déduire la probabilité pour que P clients soient dans le système global (dans A et B) en générale stationnaire.

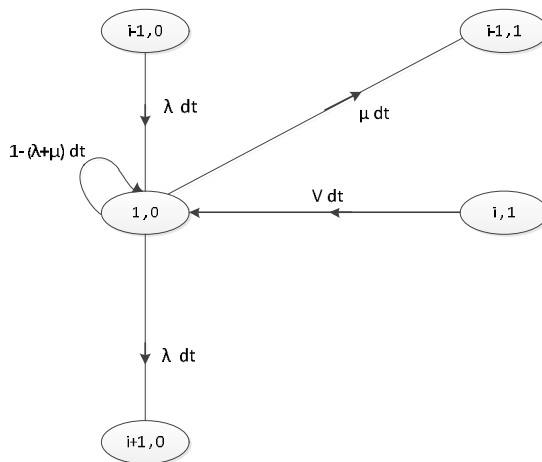
a) Diagramme de transition

Dans notre problème, il faut prendre en considération quatre cas possible : comme les arrivées en A sont poissonniennes et les services en A et B sont exponentiels, alors on peut schématiser les cas suivants :

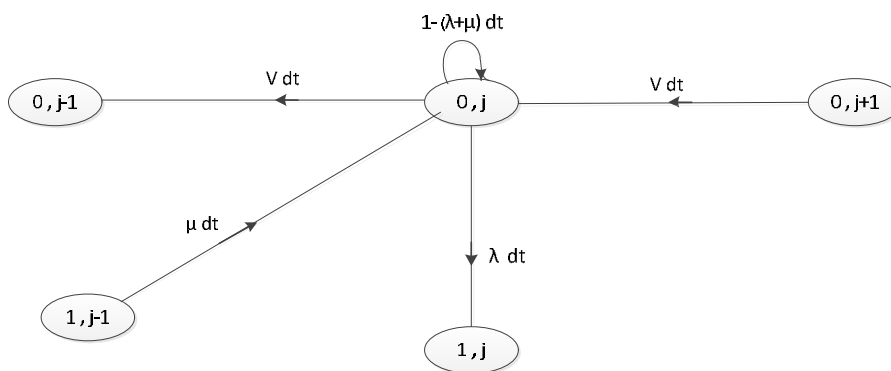
1) $i = 0$ et $j = 0$ (système vide) :



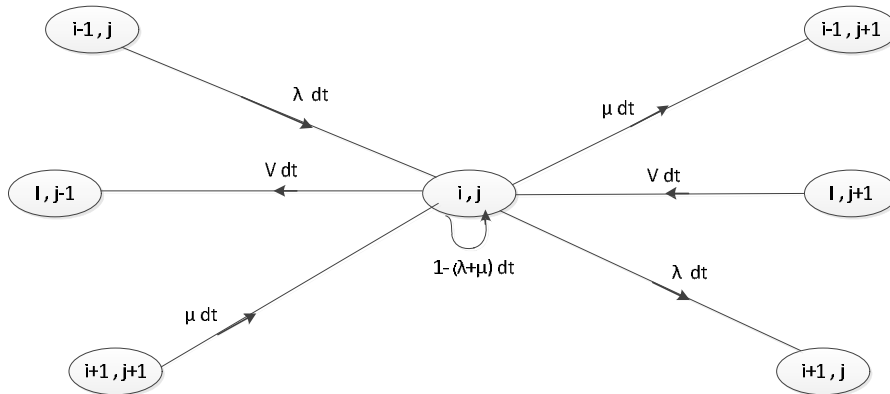
2) $i > 0$ et $j = 0$



3) $i = 0$ et $j > 0$



4) $i > 0$ et $j > 0$



b) En traçant le graphe qui schématise les chemins possibles allant de l'état (i, j) vers $(0, 0)$ et inversement, on peut apercevoir que ce graphe est fortement connexe et qu'il n'y a aucune réduction. D'autre part, le nombre des états possibles est dénombrable, donc le régime ergodique existe et notre graphe est irréductible.

En utilisant les graphes précédents on peut dresser le système des équations d'état suivant. Mais auparavant, remarquons que le régime stationnaire existe si et seulement s'il existe un vecteur P_{ij} vérifiant :

$$\begin{cases} \sum_{i \geq 0} \sum_{j \geq 0} P_{ij} = 1 & \text{avec } P_{ij} \geq 0 \forall i \geq 0, \forall j \geq 0 \\ \mathbf{0} = -(\lambda + \mu)P_{i,0} + \lambda P_{i-1,0} + v P_{i,1} & \forall i > 0 \\ \mathbf{0} = -(\lambda + v)P_{0,j} + \mu P_{1,j-1} + v P_{0,j+1} & \forall j > 0 \dots\dots (23) \\ \mathbf{0} = -(\lambda + \mu + v)P_{i,j} + \lambda P_{i-1,j} + \mu P_{i+1,j-1} + v P_{i,j+1} & \forall i > 0, \forall j > 0 \end{cases}$$

c) pour que le système A admette un régime stationnaire, il faut que $\rho_A < 1$, car ce modèle n'est autre que le système M/M/1.

Posons $P_i^A = (1 - \rho_A) \rho_A^i$ avec $\rho_A = \frac{\lambda}{\mu} < 1$

Et supposons que le système B admette un régime stationnaire. Nous allons chercher une solution de la forme :

$P_i^A * P_j^B$ Avec le système des équations établies en (b).

Avec la nouvelle notation le système précédent pourrait s'écrire sous la forme :

$$\sum_{i \geq 0} \sum_{j \geq 0} P_i^A * P_j^B = (\sum_{i \geq 0} P_i^A) (\sum_{j \geq 0} P_j^B) = 1$$

Avec $P_i^A * P_j^B \geq 0 \quad \forall i \geq 0 \text{ et } \forall j \geq 0$

$$\Rightarrow \sum_{j \geq 0} P_j^B = 1$$

Après simplification, le système des équations restantes, pourrait s'écrire sous la forme (il sera d'ailleurs relatif au système B) :

$$\begin{cases} \sum_{j=0}^{+\infty} P_j^B = 1 & P_j^B \geq 0 & \forall j \geq 0 \\ \mathbf{0} = -\lambda P_0^B + \nu P_1^B & & \dots\dots\dots(24) \\ \mathbf{0} = -(\lambda + \nu)P_j^B + P_{j-1}^B + P_{j+1}^B & \forall j \geq 1 \end{cases}$$

On peut voir que ce système correspond aussi au système M/M/1 avec $\rho_B = \frac{\lambda}{\nu}$.

Autrement dit, il suffit de subdiviser la cascade en autant de système qu'elle en contienne, et d'étudier chaque système séparément.

Donc on peut écrire :

$$P_{i,j} = (1 - \rho_A)(1 - \rho_B)\rho_A^i \rho_B^j \quad \text{Avec } \rho_A = \frac{\lambda}{\mu} \quad \text{et} \quad \rho_B = \frac{\lambda}{\nu}$$

On peut apercevoir qu'on a affaire à deux systèmes indépendants.

Donc la probabilité de trouver P clients dans le système pourrait-être donnée par :

$$\sum_{i+j=P} P_{i,j} = \sum_{i=0}^P P_i^A * P_{P-1}^B = \left(1 - \frac{\lambda}{\mu}\right) \left(1 - \frac{\lambda}{\nu}\right) \lambda^P \sum_{i=0}^P \frac{1}{\mu^i \nu^{P-i}} \dots\dots\dots (25)$$

Paramètre caractéristiques du système

Les valeurs des paramètres caractéristiques de chaque système (A et B) séparément, sont identiques à celles déjà déduites pour le système M/M/1, et on donne à titre d'exemple :

$$\bar{n}_A = \frac{\rho_A}{1-\rho_A} \quad \bar{n}_B = \frac{\rho_B}{1-\rho_B} \quad \Rightarrow \bar{n} = \bar{n}_A + \bar{n}_B \dots\dots\dots(26)$$

Les autres paramètres sont identiques à ceux du système cité.

II.6.1.4. Système de files d'attente avec découragement

Considérons un système de files d'attente à S serveurs, fonctionnant dans les conditions suivantes :

- 1) le flux de demandes est simple et poissonien de taux λ .
- 2) le temps de service d'une demande suit la loi exponentielle de paramètre $\mu = \frac{1}{T_{ser}}$ (ou T_{ser} est le temps de service).
- 3) une demande ayant trouvée tous les canaux occupés, attend d'être servie, mais son temps d'attente est limité à T_{at} . Si avant ce temps la demande n'est pas servie, elle quitte le système sans être servie.

On suppose que le temps d'attente T_{at} est aléatoire et réparti suivant une loi exponentielle de densité : $h(t) = \nu e^{-\nu t} \quad t > 0$

Ou le paramètre ν est une grandeur inversement proportionnelle à T_{at} .

Le paramètre v peut-être interprété comme étant le flux des demandes quittant le système sans être servies.

On peut apercevoir que si $v \rightarrow +\infty$ nous aurons un système à demandes refusées, par contre, si $v \rightarrow 0$ nous aurons affaire au système à capacité illimitée.

Après la présentation de notre système, on pourrait définir ses états comme suit:

E_0 : Aucun serveur n'est pas occupé ; aucune demande n'est en attente.

E_1 : Un seul serveur est occupé, aucune demande n'est en attente.

.....
 E_S : Tous les serveurs sont occupés, aucune demande n'est en attente.

E_{S+1} : Tous les serveurs sont occupés, une seule demande est en attente.

.....
 E_{S+i} : Tous les serveurs sont occupés, i demandes sont en attente.

Le nombre de clients dans la file, donc en attente, est illimité ; d'où le graphe suivant :

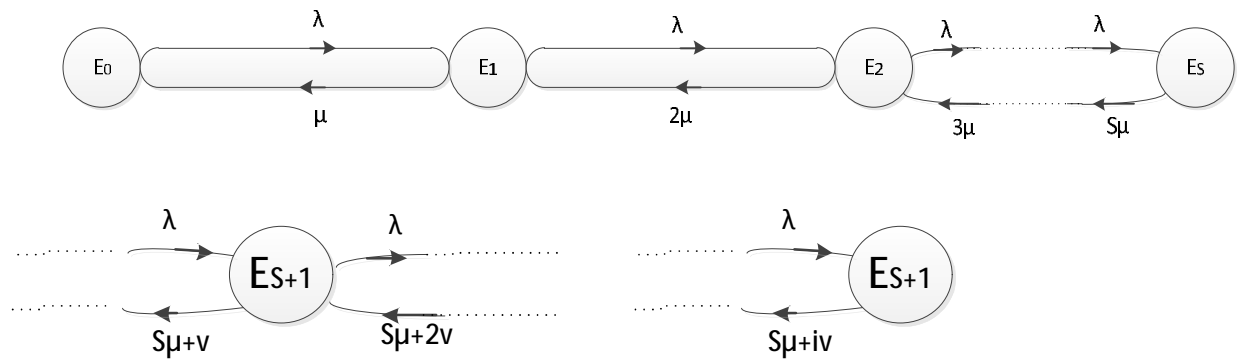


Figure (II.5) : Système de files d'attente avec découragement [6]

En état stationnaire, on aura le système des équations :

$$\left\{ \begin{array}{l}
 0 = -\lambda P_0 + \mu P_1 \\
 0 = \lambda P_0 - (\lambda + \mu) P_1 + 2\mu P_2 \\
 \vdots \\
 0 = \lambda P_{k-1} - (\lambda + k\mu) P_k + (k + 1)\mu P_{k+1} \qquad 1 \leq k \leq S - 1 \\
 \vdots \\
 0 = \lambda P_{S-1} - (\lambda + S\mu) P_S + (S\mu + v) P_{S+1} \\
 \vdots \\
 0 = \lambda P_{S+i-1} - (\lambda + S\mu + iv) P_{S+1} + [S\mu + (i + 1)v] P_{S+i+1} \\
 \sum_{k=0}^{+\infty} P_k = 1
 \end{array} \right. \dots\dots\dots (27)$$

D'où en tire :

$$P_k = \frac{(\lambda/\mu)^k}{k!} P_0 \quad \text{Pour } k \leq S$$

Et
$$P_{s+i} = \frac{\lambda^{s+i} P_0}{i! \mu^s \prod_{n=1}^i (S\mu + n\nu)} \quad i \geq 1$$

Avec
$$P_0 = \frac{1}{\sum_{k=0}^S \frac{(\lambda/\mu)^k}{k!}} \sum_{i=1}^{+\infty} \frac{\lambda^{s+i}}{s! \mu^s \prod_{n=1}^i (S\mu + n\nu)}$$

Paramètres caractéristiques du système :

La manière qu'on va adopter pour calculer les paramètres caractéristiques du système, est identique à celles déjà adoptées pour calculer ces mêmes paramètres dans les autres systèmes.

D'où on n'envisage de calculer qu'un seul paramètre (\bar{n}_f) qui aura de l'importance dans la déduction d'un autre paramètre permettant l'analyse du système (P_{dep}) :

$$\bar{n}_f = \sum_{i=1}^{+\infty} i * P_{s+i} = \frac{\frac{\rho^s}{s!} \sum_{r=1}^{+\infty} \frac{r \rho^r}{\prod_{n=1}^r (S\mu + n\nu)}}{\sum_{k=0}^S \frac{\rho^k}{k!} + \frac{\rho^s}{s!} \sum_{r=1}^{+\infty} \frac{\rho^r}{\prod_{n=1}^r (S\mu + n\nu)}} \dots \dots \dots (28)$$

On peut démontrer que :

$$\sum_{r=1} \frac{r \rho^r}{\prod_{n=1}^r (S\mu + n\nu)} < \frac{(\rho/\beta)^S}{(S-1)} e^{\frac{\rho}{\beta}}$$

Et

$$\sum_{r=1} \frac{\rho^r}{\prod_{n=1}^r (S\mu + n\nu)} < \frac{(\rho/\beta)^{S+1}}{(r+1)} e^{\frac{\rho}{\beta}} \quad \text{ou } \beta = \frac{\nu}{\mu}$$

Donc la probabilité pour qu'une demande parte sans être servie sera :

$$P_{dep} = \frac{\nu \bar{n}_f}{\lambda} = \frac{\beta}{\rho \bar{n}_f}$$

II.6.2. Système de files d'attente à capacité limitée

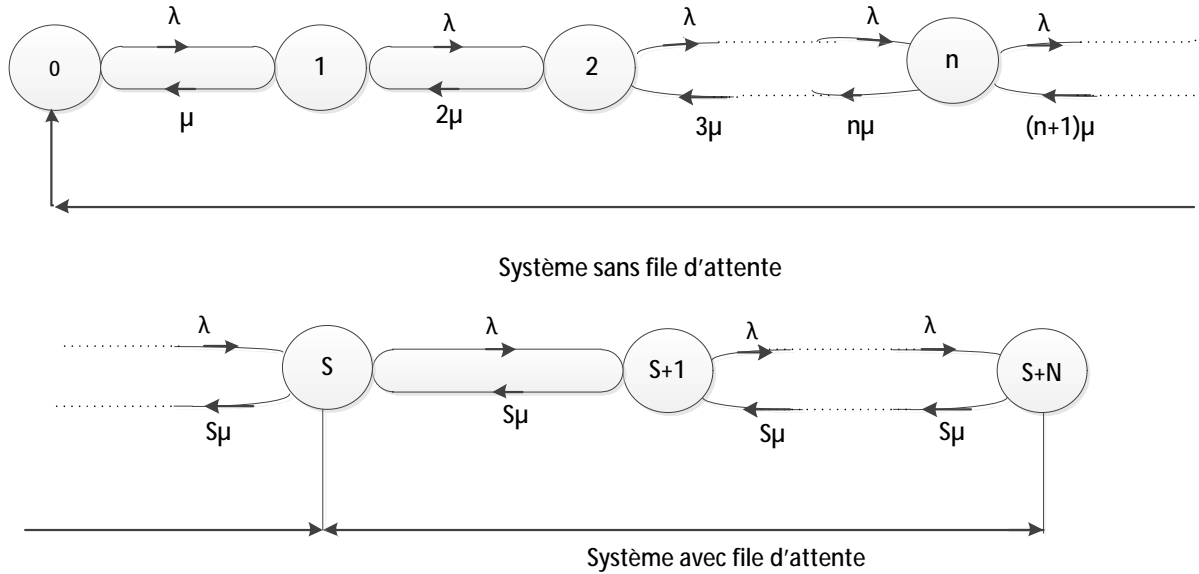
On les appelle aussi les systèmes mixtes. Car ils sont des systèmes dotés de salles d'attente, donc le processus d'attente est permis ; mais ils deviennent des systèmes à demandes refusées dès que le nombre de clients dans le système excède la capacité de la salle d'attente

II.6.2.1. Système M/M/S/N

C'est un système markovien à S serveur et où la capacité de la salle d'attente est N. S'il y a S+N clients dans le système, on commence à refuser les clients qui se présentent.

Mentionnons que la file commence à se constituer à partir de l'état (S+1).

Le graphe décrivant le système peut-être dressé comme suit :



Figure(II.6) : graphes expliquent le système M/M/S/N.[6]

Système des équations d'état

Remarquons que les équations différentielles d'écrivant l'état du système peuvent-être déduites du graphe ou de celles d'un processus de naissance et de mort avec $\lambda_n = \lambda$ et

$$\mu_n = n\mu \text{ si } n < S \text{ et } \mu_n = S\mu \text{ si } n \geq S :$$

$$\begin{cases} P'_0(t) = -\lambda P_0(t) + \mu P_1(t) \\ P'_n(t) = \lambda P_{n-1}(t) - (\lambda + n\mu)P_n(t) + (n+1)\mu P_{n+1}(t) & 1 \leq n \leq S \\ P'_n(t) = \lambda P_{n-1}(t) - (\lambda + S\mu)P_n(t) + S\mu P_{n+1}(t) & S \leq n \leq S+N-1 \\ P'_{S+N}(t) = \lambda P_{S+N-1}(t) - S\mu P_{S+N}(t) \end{cases}$$

A l'état stationnaire les $P'_n(t)$ sont égales à 0 et les conditions initiales du système sont $P_0(0) = 1$ Et $P_i(0) = 0$. On devrait ajouter la condition :

$$\sum_{k=0}^{S+N} P_k = 1$$

Ces conditions nous permettent de résoudre le système des équations précédent et d'obtenir :

$$\begin{cases} P_n = \frac{\rho^n}{n!} P_0 & 1 \leq n \leq S \\ P_n = \frac{\rho^n}{S! S^{n-S}} P_0 & S \leq n \leq S+N \end{cases} \dots \dots \dots (29)$$

Pour les deux équations $\rho = \frac{\lambda}{\mu}$.

En appliquant la condition (*), on obtient :

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{i=0}^{S-1} \frac{\rho^i}{i!} + \frac{\rho^S}{S!} \left[1 + \frac{\rho}{S} + \left(\frac{\rho}{S}\right)^2 + \dots + \left(\frac{\rho}{S}\right)^N \right]} \dots \dots \dots (30)$$

L'expression entre crochets est une progression géométrique de raison $\frac{\rho}{S}$.

1ier cas :

Si $\rho = S$, on aura la somme de N+1 terme de valeur 1. D'où :

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{i=0}^{S-1} \frac{\rho^i}{i!} + \frac{\rho^S}{S!} (N+1)}$$

2ieme cas :

Si $\rho \neq S$, la progression géométrique mentionnée sera égale à :

$$1 + \frac{\rho}{S} \frac{1 - (\frac{\rho}{S})^N}{1 - \frac{\rho}{S}} \quad \text{D'où :}$$

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{i=0}^S \frac{\rho^i}{i!} + \frac{\rho^S}{S!} \frac{1 - (\frac{\rho}{S})^N}{1 - \frac{\rho}{S}}}$$

Paramètres caractéristiques du système

a) Nombre moyen de clients dans la file

$$\bar{n}_f = \sum_{n=1}^N n * P_{s+n} = \rho \frac{\rho^S}{S!S} P_0 \left[1 + 2 \left(\frac{\rho}{S}\right) + 3 \left(\frac{\rho}{S}\right)^2 + \dots + N \left(\frac{\rho}{S}\right)^{N-1} \right] \dots \dots \dots (31)$$

L'expression entre crochets est la dérivée de $S_n = \sum_{i=1}^N \left(\frac{\rho}{S}\right)^i$

1ier cas :

$$\text{Si } \frac{\rho}{S} \neq 1, \quad S_n = \frac{\frac{\rho}{S} - (\frac{\rho}{S})^{N+1}}{1 - \frac{\rho}{S}}$$

$$\Rightarrow S'_n = \frac{1 - (\frac{\rho}{S})^N [1 + N(1 - \frac{\rho}{S})]}{(1 - \frac{\rho}{S})^2}$$

$$\text{D'où } \bar{n}_f = \frac{\rho^{S+1}}{(S-1)!} P_0 \frac{1 - (\frac{\rho}{S})^N [1 + N(1 - \frac{\rho}{S})]}{(S-\rho)^2}$$

2ieme cas :

$\frac{\rho}{S} = 1$. Dans ce cas pour calculer \bar{n}_f , il suffit de prendre la limite de son expression quand ρ tend vers S :

$$\bar{n}_f = \frac{\rho^{S+1}}{(S-1)!} P_0 \lim_{\rho \rightarrow S} \frac{1 - (\frac{\rho}{S})^N [1 + N(1 - \frac{\rho}{S})]}{(S-\rho)^2} \dots \dots \dots (32)$$

C'est une indétermination. On applique la règle de l'Hopital, on obtient :

$$\bar{n}_f = \frac{S^S}{S!} P_0 \frac{N(N+1)}{2}$$

b) temps moyen d'attente dans la file

$$\bar{T}_f = \frac{\rho^{S+1}}{\lambda * (S - 1)!} P_0 \frac{1 - \left(\frac{\rho}{S}\right)^N \left[1 + N \left(1 - \frac{\rho}{S}\right)\right]}{(S - \rho)^2} \quad \text{si } \rho \neq S \dots\dots\dots (33)$$

$$\bar{T}_f = \frac{S^S}{\lambda S!} P_0 \frac{N(N + 1)}{2} \quad \text{si } \rho = S \dots\dots\dots (34)$$

c) Nombre moyen de clients dans le système

Par des calculs analogues aux précédents, on obtient :

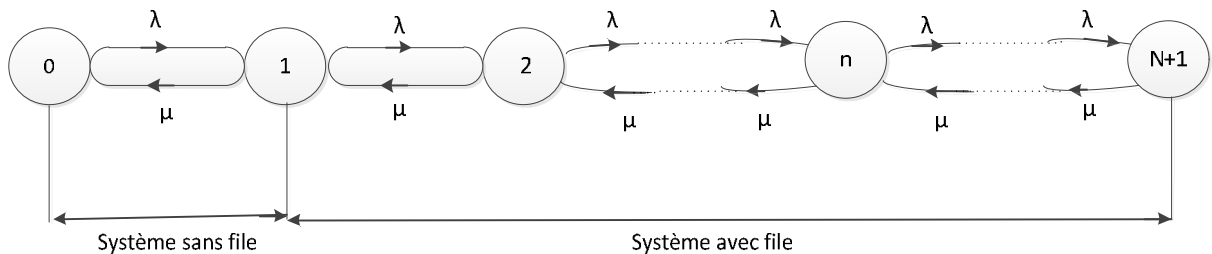
$$\begin{cases} \bar{n} = \rho + \frac{\rho^{S+1}}{(S - 1)!} P_0 \frac{1 - \left(\frac{\rho}{S}\right)^N \left[1 + N \left(1 - \frac{\rho}{S}\right)\right]}{(S - \rho)^2} & \text{si } \rho \neq S \dots\dots\dots (35) \\ \bar{n} = \rho + \frac{S^S}{S!} P_0 \frac{N(N + 1)}{2} & \text{si } \rho = S \end{cases}$$

d) temps moyen de séjour d'un client dans le système

$$\begin{cases} \bar{T} = \frac{1}{\mu} + \frac{\rho^{S+1}}{\lambda S!} P_0 \frac{1 - \left(\frac{\rho}{S}\right)^N \left[1 + N \left(1 - \frac{\rho}{S}\right)\right]}{(S - \rho)^2} & \text{si } \rho \neq S \dots\dots\dots (36) \\ \bar{T} = \frac{1}{\mu} + \frac{S^S}{\lambda S!} P_0 \frac{N(N + 1)}{2} & \text{si } \rho = S \end{cases}$$

II.6.2.2. Système M/M/1/N

Le graphe correspondant à ce système est :



Figure(II.7) : Système M/M/1/N [6]

Système des équations différentielles

Les équations différentielles correspondantes à ce système sont :

$$P'_0(t) = -\lambda P_0(t) + \mu P_1(t)$$

$$P'_n(t) = \lambda P_{n-1}(t) - (\lambda + \mu) P_n(t) + \mu P_{n+1}(t) \quad \forall 1 \leq n \leq S$$

$$P'_{N+1}(t) = \lambda P_N(t) - \mu P_{N+1}(t)$$

A l'état stationnaire, la résolution du système précédent donne :

$$P_n = \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n P_0 \quad \forall 1 \leq n \leq N + 1 \dots\dots\dots (37)$$

Et $P_0 = \frac{1}{\sum_{i=0}^{N+1} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^i}$

1ier cas : si $\frac{\lambda}{\mu} = 1$, $P_0 = \frac{1}{(N+2)}$

2ieme cas : si $\frac{\lambda}{\mu} \neq 1$, $P_0 = \frac{1 - \frac{\lambda}{\mu}}{1 - \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^{N+2}}$

Paramètres caractéristiques du système

a) nombre moyen de clients dans le système

$$\begin{cases} \bar{n} = \frac{\rho}{1-\rho} - \frac{(N+2)\rho^{N+2}}{1-\rho^{N+2}} & \text{si } \frac{\lambda}{\mu} \neq 1 \\ \bar{n} = \frac{N+1}{2} & \text{si } \frac{\lambda}{\mu} = 1 \end{cases} \dots\dots\dots (38)$$

b) temps moyen de séjour dans le système

$$\begin{cases} \bar{T} = \frac{1}{\mu - \lambda} - \frac{(N+2)\lambda^{N+1}}{\mu^{N+2} - \lambda^{N+2}} & \text{si } \lambda \neq \mu \\ \bar{T} = \frac{N+1}{2\lambda} & \text{si } \lambda = \mu \end{cases} \dots\dots\dots (39)$$

c) Nombre moyen de clients dans la file

$$\begin{cases} \bar{n}_f = \frac{N(N+1)}{2(N+2)} & \text{si } \lambda = \mu \\ \bar{n}_f = \frac{\rho[1 - \rho^N - N\rho^N(1-\rho)]}{(1-\rho)(1-\rho^{N+2})} & \text{si } \lambda \neq \mu \end{cases} \dots\dots\dots (40)$$

d) temps moyen d'attente dans la file

$$\begin{cases} \bar{T}_f = \frac{N(N+1)}{2\lambda(N+2)} & \text{si } \lambda = \mu \\ \bar{T}_f = \frac{1 - \rho^N - N\rho^N(1-\rho)}{\mu(1-\rho)[1 - \rho^{N+2}]} & \text{si } \lambda \neq \mu \end{cases} \dots\dots\dots (41)$$

II.6.3. Système fermé

Ce système est un système markovien à S serveurs, ayant une politique de service FIFO, mais le nombre de clients est fixe.

On rencontre ce type de système, en particulier, dans les ateliers de réparation de machine : ou leur nombre reste fixe pendant une certaine période et ou elles tombent en pannes de façon périodique, mais aléatoirement.

On peut schématiser ce système comme suit :

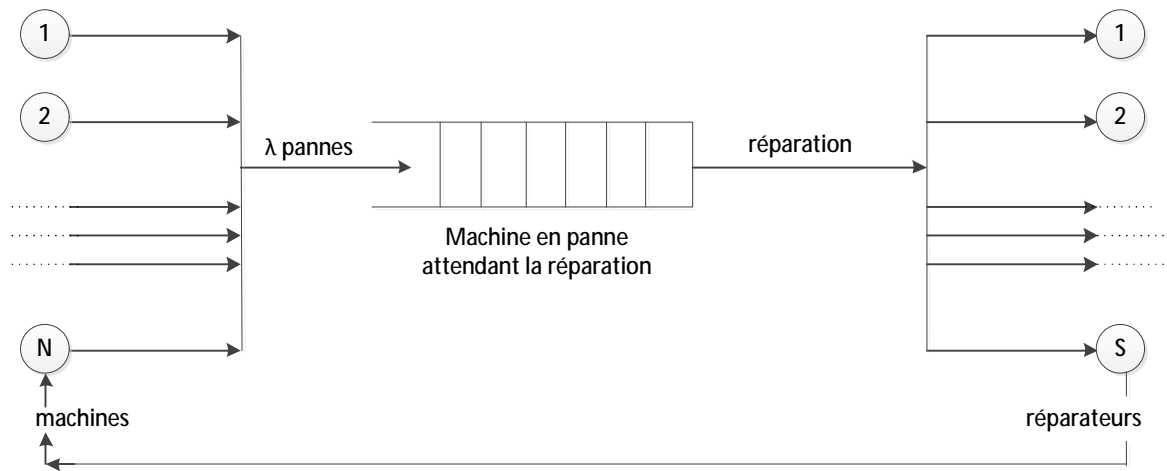


Figure (II.8) : système fermé.

On notera par n_t le nombre de machines en pannes à l'instant t ; donc $n_t \in [0, 1, 2, \dots, N]$ ou N est le nombre total de machines disponibles. Notons aussi par $P_j(t) = P(n_t = j)$.

On doit supposer que :

- chaque machine en état de fonctionnement, a un taux de panne λ . D'autre part les machines sont indépendantes entre elles, concernant l'événement de tomber en panne.
- les temps de réparation des machines sont des variables aléatoires indépendantes entre elles et distribuées suivant la loi exponentielle de moyen $1/\mu$.

Pour tracer le graphe de transition, il faut définir tous les états possibles du système :

E_0 : Tous les réparateurs sont libres, il n'y a pas de machines en panne (toutes les machines fonctionnent).

E_1 : Un seul réparateur est occupé, donc une seule machine est en panne.

E_2 : Deux réparateurs sont occupés, donc deux machines sont en pannes.

.....

E_S : Tous les réparateurs sont occupés, donc il y a S machines en pannes.

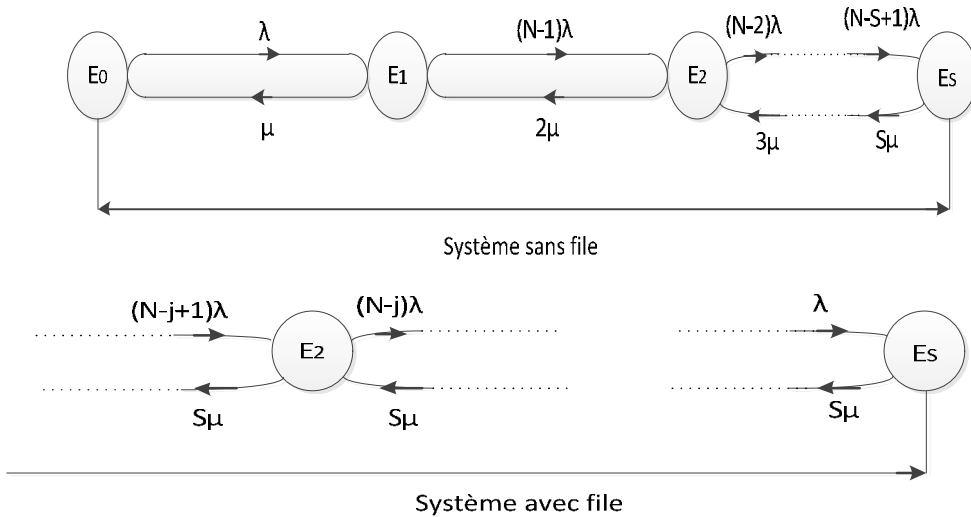
.....

E_j : Tous les réparateurs sont occupés, $(j - S)$ machines font la file.

.....

E_N : Tous les machines sont en pannes : S en réparation et $(N - S)$ font la file.

Donc le graphe de transition est :



Le système des équations différentielles correspondant est :

$$\begin{cases}
 P'_0(t) = -N\lambda P_0(t) + \mu P_1(t) \\
 P'_1(t) = N\lambda P_0(t) - [(N-1)\lambda + \mu]P_1(t) + 2\mu P_2(t) \\
 \vdots \\
 P'_S(t) = (N-S+1)\lambda P_{S-1}(t) - [(N-S)\lambda + S\mu]P_S(t) + S\mu P_{S+1}(t) \\
 \vdots \\
 P'_j(t) = (N-j+1)\lambda P_{j-1}(t) - [(N-j)\lambda + S\mu]P_j(t) + S\mu P_{j+1}(t) \\
 \hspace{15em} S \leq j \leq N-1 \\
 P'_N(t) = \lambda P_{N-1}(t) - S\mu P_N(t)
 \end{cases} \dots\dots\dots (42)$$

En résolvant ce système à l'état stationnaire et en ajoutant les conditions initiales

$$P_0(0) = 1 \quad P_i(0) = 0 \quad i = 0, 1, 2, \dots, N \quad \text{et} \quad \sum_{i=0}^N P_i = 1$$

On obtient :

$$P_i = \frac{N! \rho^i}{i!(N-i)!} P_0 \quad 1 \leq i \leq S$$

$$P_j = \frac{N! \rho^j}{S! S^{j-S} (N-j)!} P_0$$

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{i=0}^S \frac{N! \rho^i}{i!(N-i)!} + \sum_{j=S+1}^N \frac{N! \rho^j}{S!(N-j)! S^{j-S}}}$$

La probabilité que r machines soient en attente d'une réparation est :

$$P_{S+r} = \frac{N! \rho^{S+r}}{S! (N-S-r)! S^r} P_0 \dots\dots\dots (43)$$

Paramètres caractéristiques du système

- a) **nombre moyen de machines dans le système (en panne et en réparation)**

$$\bar{n} = \sum_{i=0}^S i P_i + \sum_{j=S+r}^N j P_j \quad 1 \leq r \leq N - S$$

$$\bar{n} = P_0 N! \left[\sum_{i=0}^S \frac{\rho^i}{(i-1)!(N-i)!} + \frac{S^{S-1}}{(S-1)!} \sum_{j=S+1}^N \frac{j \rho^j}{S^j (N-j)!} \right] \dots \dots \dots (44)$$

- b) **temps moyen de séjour dans le système (temps de réparation + temps d'attente pour être réparé)**

$$\bar{T} = \frac{\bar{n}}{\lambda(N - \bar{n})} \dots \dots \dots (45)$$

- c) **nombre moyen de machines en attente de réparation**

$$\bar{n}_f = \sum_{r=0}^{N-S} r P_{S+r} = \frac{N! \rho^S P_0}{S!} \sum_{r=1}^{N-S} \frac{r (\rho/S)^r}{(N - S - r)!} \dots \dots \dots (46)$$

- d) **temps moyen d'attente d'une machine pour être réparée**

$$\bar{T}_f = \frac{\bar{n}_f}{\lambda(N - \bar{n})} \dots \dots \dots (47)$$

II.7. Conclusion

Dans le présent chapitre nous avons étudié les files d'attente pour appliquer leurs performances dans l'amélioration des aspects de la maintenance.

Chapitre III
Application fiabilité, maintenabilité,
disponibilité de
(SBO + remplisseuse)



III.1 Introduction

Ce chapitre a pour but de faire représenter a coté de la société la LAITRAIT EL-HODNA (HODNA LAIT) ou nous avons fais notre stage :

- Présentation la machine SBO et RAMPLESSEUSE Qui considèrent un serveur unique.
- Analyse FMD par utilisation historique des pannes de la machine remplisseuse.

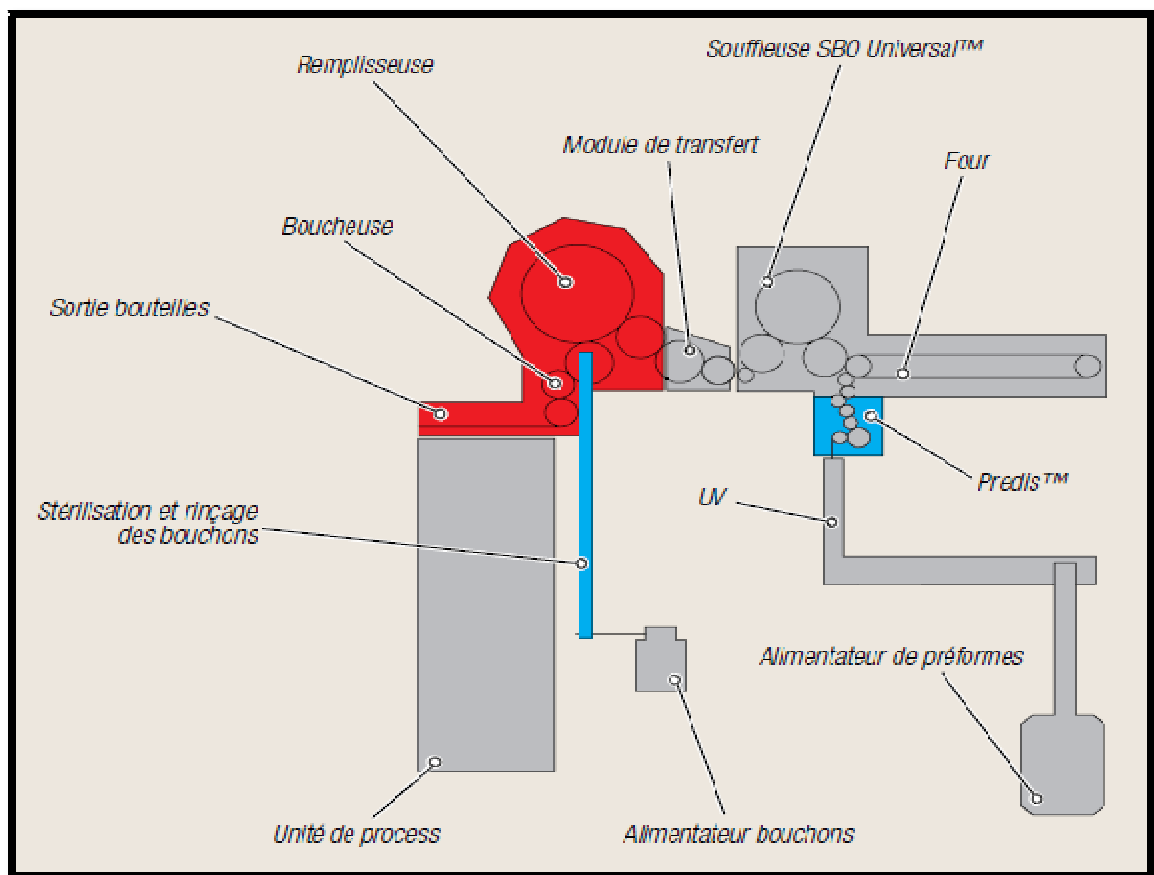


Figure (III.1) : schéma générale les deux machine [9]

III.2. Représentation la machine SBO et remplisseuse [10]

III.2.1. la machine SBO

III.2.1.1. Généralité

Pour la fabrication de bouteilles destinées au conditionnement de boissons par exemple le lait, boissons plates et gazeuses yaourt Labanetc. SIDEL a choisi le procédé froid.

Ce procédé implique

- Le réchauffage des préformes.
- Un étirage axial mécanique, suivi d'un étirage radial par soufflage d'air comprimé.

Ce procédé permet l'optimisation de la production, ainsi qu'une grande souplesse de fonctionnement et d'utilisation.

III.2.1.2. Définition

La SBO est destinée à fabriquer des bouteilles. Sa cadence peut atteindre 14400 bouteilles à l'heure suivant la capacité.

III.2.1.3. Schéma de principe

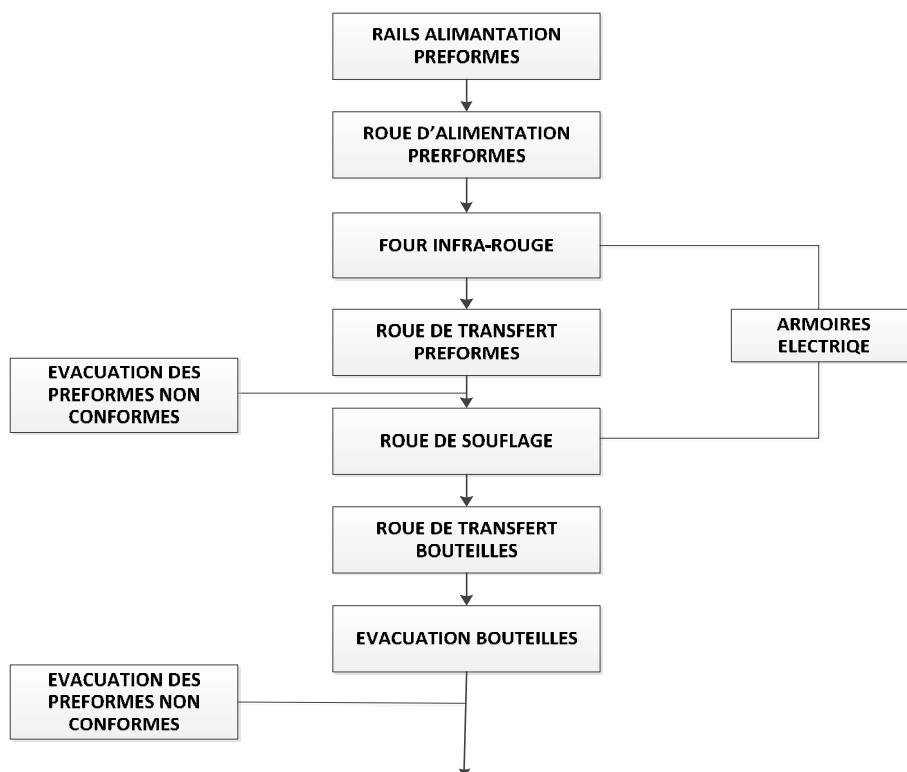


Figure (III.2) : schéma principe de la machine SBO [10]

III.2.1.4. Présentation générale

La machine de soufflage SBO peut être décomposée suivant les fonctions principales suivantes, sachant que les mouvements sont contrôlés par des cames et des galets suiveurs

1- Alimentation des préformes froides

la SBO peut être équipée d'un ensemble de stockage et de chargement qui positionne les préformes sur les rails d'entrée de la machine.

Les préformes froides sont introduite au moyen d'une rampe inclinée. Elles sont suspendues par la collerette et sont guidées par 2 rails entre lesquels elles descendent par gravité.

L'extrémité intérieure de la rampe communique avec une roue à 30 encoche par l'intermédiaire d'un bloc usiné. Cette roue d'alimentation transporte les préformes avec un pas défini vers la chaîne de tournettes du four infrarouges.



Figure (III.3) : convoyeur de préforme [9]

2- Four linéaire de réchauffage des préformes

Les préformes, saisies au col par des tournettes, sont animées d'un mouvement de rotation, en défilant devant les lampes infra-rouge.



Figure (III.4) : les préformes attachés à tournettes [10]

Un système d'éjection des préformes est actionnée automatiquement en cas de mauvais vétissage ou de préforme defectueuse. Il est placé avant le pivotement de la tournette.

Un profilé maintenu froid par une circulation d'eau protège le col des préformes des rayonnements infra-rouge.

Le four linéaire est équipé en version standard de 16 modules de chauffe. Chaque module de four, comporte 8 lampes infra-rouge.

En sortie de four, une caméra infra-rouge lit la température des préformes. Ces informations permettent de réguler automatiquement l'ensemble de zones soumises à son contrôle.

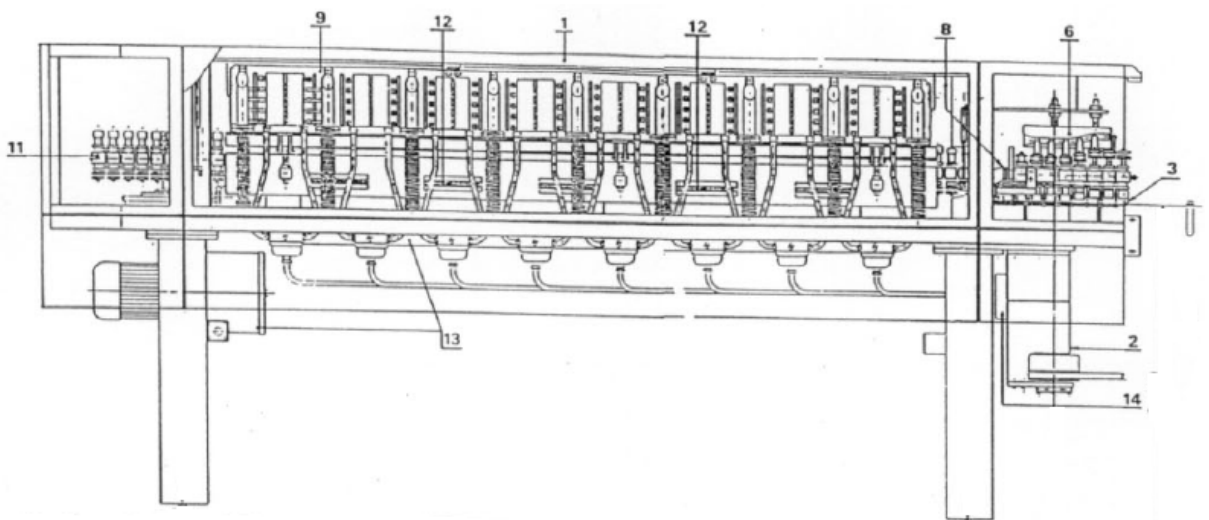


Figure (III.5) : les préforme dans les fours [10]

- | | |
|-----------------------------------|------------------------------|
| 1- Châssis four équipé | 8- Glissière et retournement |
| 2- Transmission | 9- Module support lampes I.R |
| 3- Roue à encoches d'alimentation | 10- Protection I.R |
| 4- Alimentation préformes | 11- Tournette |
| 5- Détection et éjection préforme | 12- Rotation tournette |
| 6- Came de vétissage | 13- Ventilation |
| 7- Roue tendeur | 14- vérinage four |

3- Roue de transfert des préformes chaudes

Une roue de transfert munie de 8 bras assure le passage des préformes chaudes à leur sortie du four, dans les moules de soufflage. Chaque bras est équipé d'une pince à 2 doigts articulés qui saisissent la préforme au dessus de la collerette, au moment où la tournette la libère. La préforme ainsi maintenue est transférée par rotation du bras dans le moule de soufflage.



Figure (III.6) : les préformes en route vers les moules de soufflage.[9]

4- Ejection des préforme

Un système d'éjection est monté après la roue de transfert des préforme. Il est possible d'éjecter manuellement les préformes avant qu'elles ne soient introduites dans le moule, dans le cas de température non conforme, suite à un arrêt prolongé par exemple.

5- Roue de soufflage

La préforme est introduite dans le moule dont les opérations d'ouverture et de fermeture sont assurées par une bielle actionnée par une came.

Le verrouillage du moule est effectuée par un verrou mécanique.

Le nez de la tuyère de soufflage est introduit dans le col de la préforme.

L'étanchéité à l'air de soufflage est réalisée par un joint torique en appui sur le buvant de la préforme.

La tuyère de soufflage permet le guidage de la tige d'élongation qui assure l'orientation longitudinale.

Le soufflage qui assure l'orientation latérale s'effectue en 2 étapes afin d'obtenir une répartition optimale de l'épaisseur de la paroi.

- Un pré-soufflage à moyenne pression.
- Un soufflage à haute pression.

Un ensemble de cames synchronise le déroulement de ces actions.

Les moules sont conditionnés en température par une circulation d'eau.

L'ensemble de ces équipements permet une fiabilité et une qualité optimale de la production.

6- Roue de transfert des bouteilles

Une roue de transfert équipé de 8 bras assure la prise des bouteilles dans les moules afin de les sortir de la roue de soufflage. Ce système est identique à la roue de transfert des préformes.

7- Ejection des bouteilles

Un système d'éjection est monté après la roue de transfert des bouteilles. Ce système est identique à l'éjection des préformes. Il est complété par un ensemble de cellules photo-électriques qui en automatique contrôlent les largeurs des fonds et des épaules. Si la bouteille n'est pas conforme, elle est éjectée au lieu de continuer vers le dispositif de sortie bouteilles.

En " Manuel ", il est possible d'éjecter les bouteilles bonnes ou non conformes avant le dispositif de sortie bouteille.

8- Roue de sortie bouteilles

Une roue de sortie à 8 encoches reçoit les bouteilles amenées par les bras de transfert et

les déposés sur un tapis. Elles sont maintenues par des guides. La sortie bouteille peut être reliée à un système de convoyeur.

III.2.1.5. Chaîne cinématique [10]

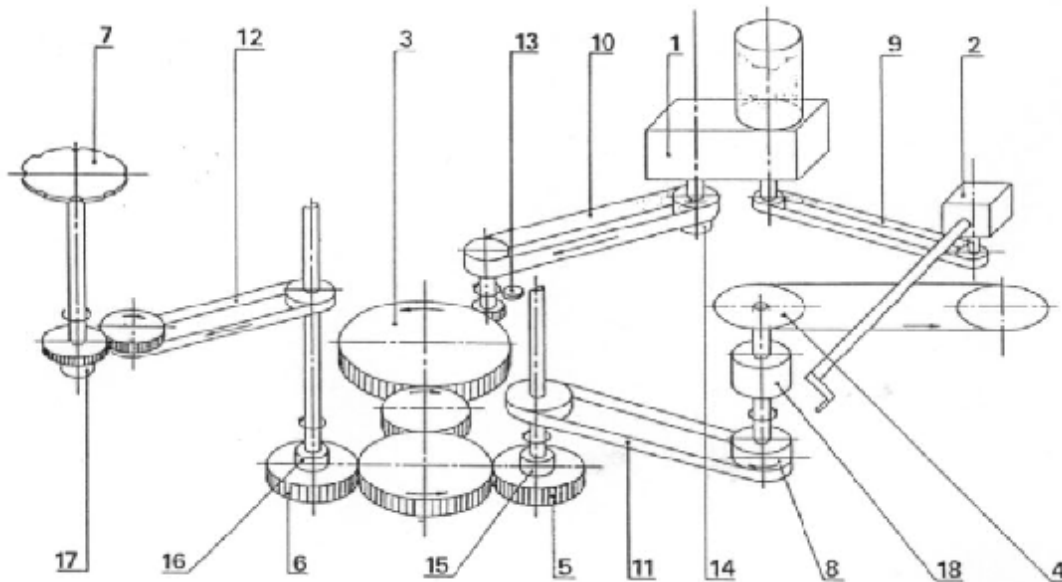


Figure (III.7) : chaîne cinématique [10]

- | | |
|-------------------------------------|---|
| 1- Motoréducteur à courant continu | 10- courroie de la roue de soufflage |
| 2- Dispositif de rotation manuelle | 11- courroie du four infra-rouge |
| 3- Couronne de la roue de soufflage | 12- courroie de la sortie bouteille |
| 4- Roue à encoches d'alimentation | 13- frein pneumatique |
| 5- Transfert des préforme | 14- limiteur de couple motoréducteur |
| 6- Transfert des bouteilles | 15- limiteur de couple transfert préformes |
| 7- Roue de sortie de bouteille | 16- limiteur de couple transfert bouteilles |
| 8- Module épicycloïdal | 17- limiteur de couple sortie bouteilles |
| 9- Courroie de la rotation manuelle | 18- limiteur de couple four |

III.2.1.6. Four linéaire infra-rouge

Description

Le rôle du four infra-rouge est d'amener les préformes à une température comprise entre 105 et 120 °C avant leur étirage-soufflage dans la roue de finition.

Le passage dans le four se déroule selon le schéma suivant :

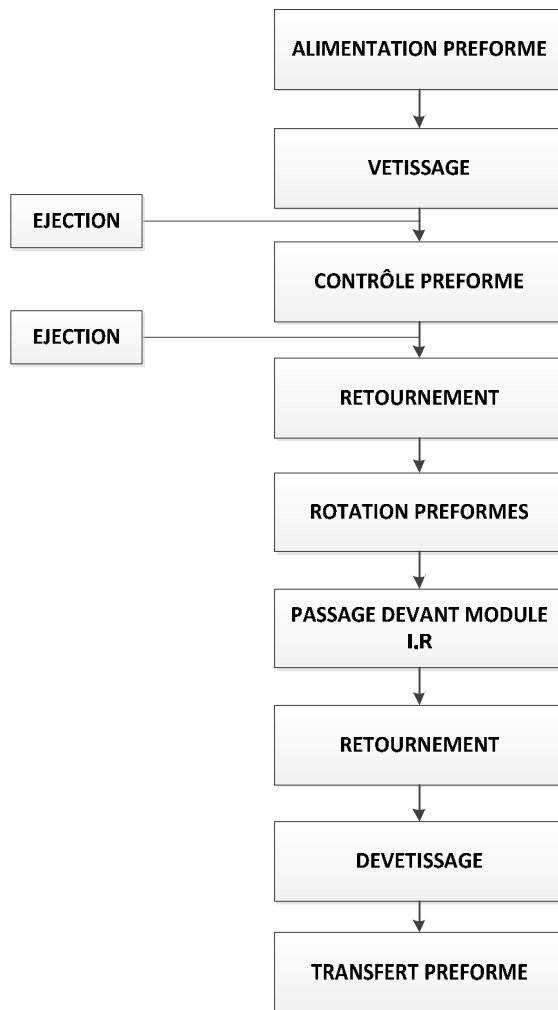


Figure (III.8) : schéma principe Le passage du préforme dans le four se déroule [9]

III.2.1.7. Consommation en énergies et fluides [10]

La puissance électrique utilisée, le débit et la pression d'air comprimé (commande et soufflage), le débit d'eau réfrigérée, sont fonction de la forme, de la capacité et du poids de la bouteille.

1- Electricité :

| Puissance installée maximum | Consommation | Tension | Fréquence |
|-----------------------------|----------------------------------|--|-------------|
| 332 KW | 180 à 240 KW/h. selon article | 380 volts triphasé + neutre + terre | 50 60 Hz |

- Adaptation possible à d'autres tensions par transformateur.

2- Air comprimé :

Pression installée de 7 à 35 Bars

Aire de commande

| Pression | Débit |
|--------------|---|
| 7 Bars huilé | 95 à 200 Nm ³ /Heure selon article |

Aire de soufflage – air sec, déshuilé, filtré à 0.01 ppm

Fond de sphérique

| Pression | Débit |
|-----------------|---|
| jusqu'à 25 Bars | 270 à 1340 Nm ³ /h selon article |

Fond pétaloïde

| Pression | Débit |
|-----------------|---|
| jusqu'à 25 Bars | 375 à 1750 Nm ³ /h selon article |

3- Eau réfrigérée

| Température | Pression | Débit | Calories à évacuer |
|-------------|------------|----------------------------------|--------------------------|
| 10 à 12 °C | 5 à 6 Bars | jusqu'à 15 m ³ /heure | jusqu'à 36000 Kcal/heure |

III.2.2. Représentation la machine remplisseuse

Les produits laitiers liquides et sensibles jouent un rôle prépondérant dans la vie quotidienne des consommateurs.

Les nouveaux produits et nouvelles recettes commercialisées sont d'une très grande variété et chacun à sa spécificité

III.2.2.1. Caractéristiques de l'équipement

Les caractéristiques de l'équipement sont les suivantes :

1- Machine

| W-Machine | Sous-commande | Remarque-Description-Machine | Famille-Machine | Modèle-Machine | Année-fabrication-machine |
|--------------|---------------|--|-----------------|----------------------------|---------------------------|
| SMMM 1303 | .SRFG 0006 | SIDEL Combi FMm ULTRA 2 40/24/12 | SIDEL FMm | SOUTIREUSE FMm 40/24/12 | 2009 |

2- Remplissage

| Type de bouteille | Température de remplissage |
|-------------------|----------------------------|
| PET | 2 - 4 °C |

3- Thermo soudeuse à induction

| N° têtes thermo soudeuse | Fabricant thermo soudeuse |
|--------------------------|---------------------------|
| 24 | FORDS |

4- Boucheuse

| N° têtes boucheuse | Fabricant boucheuse |
|--------------------|---------------------|
| 12 | ZALKIN |

5- Equipement

| Hauteur du niveau de la mer de l'usine d'installation | Tension de la ligne | Fréquence de la ligne |
|---|---------------------|-----------------------|
| 200 m | 400 V | 60 Hz |

6- Consommations

Lait blanc pasteurisé et dérivés :

| Spécifications | Consommation | Débit |
|----------------|--------------|-------|
| - | 18000 l/h | - |

7- Recettes

| Desc.Bouteilles | Vitesse PRD (bph) | Vol. Bout. (l) (*) | Type de boisson | Prod (l/h) |
|-----------------|----------------------|-----------------------|--------------------------|------------|
| Tbd | 18000 | 0,5 | LAIT BLANC PASTEURISÉ | 9000 |
| 1102452603 | 18000 | 1 | LAIT BLANC PASTEURISÉ | 18000 |

(*) 32 Floz= 1 Litre; Floz=Once.

III.2.2.2. Schéma de flux des bouteilles [9]

Ce schéma indique le parcours suivi par les bouteilles à travers la machine.

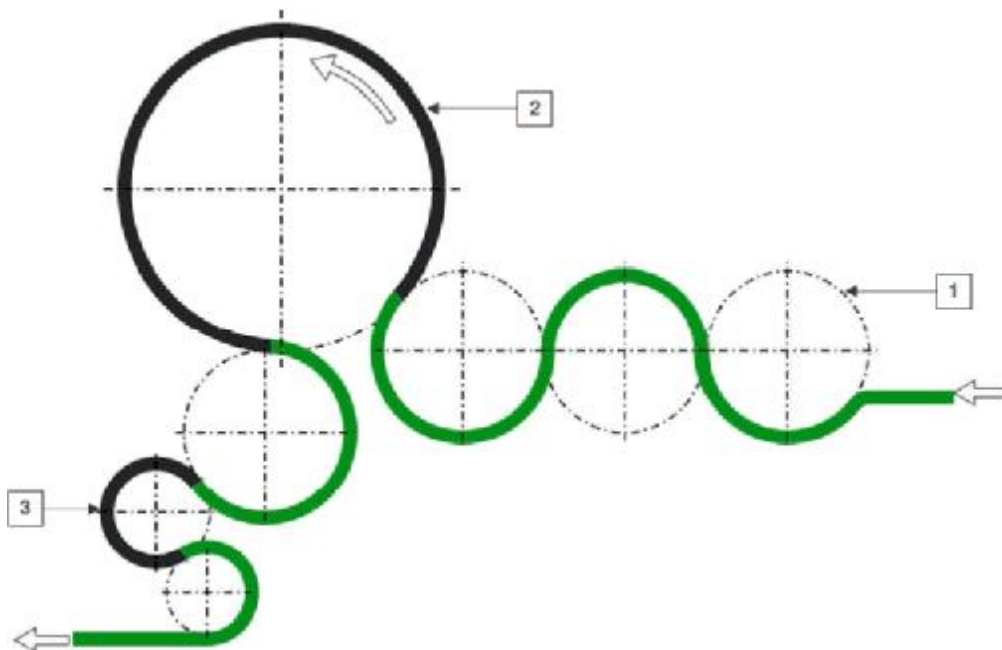


Figure (III.9) : schéma de flux des bouteilles. [9]

La machine est composée principalement de :

- 1- Etoile d'entrée bouteilles
- 2- Carrusel de remplissage
- 3- Boucheuse

Les bouteilles sont déplacées au moyen des étoiles de transfert et des guides.

III.2.2.3. Remplissage à débitmètre électromagnétique situé en amont de chaque bec de remplissage

Le produit traité est transféré par faible pression dans le réservoir. Le niveau du produit est contrôlé par le bec doseur raccordé à une sonde analogique, ce qui permet un flux de liquide constant et régulier par chaque bec.

Afin d'obtenir les meilleurs résultats, le bec peut remplir à deux débits différents. Grâce au contrôle électropneumatique du cycle de remplissage, le remplissage est conforme aux normes d'hygiène, sans qu'il y ait aucun contact avec la bouteille.

Pour les cycles de nettoyage et de stérilisation internes au circuit produit, chaque bec de remplissage est équipé de fausses bouteilles entièrement automatisées raccordant le bec de remplissage au circuit fermé de la plateforme CIP. Au cours des cycles CIP et SIP, le débit est contrôlé sur tous les becs de remplissage.

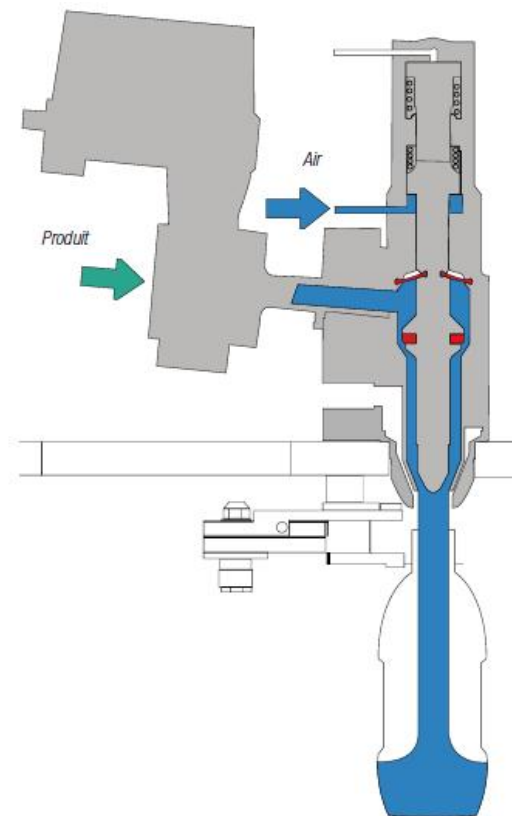


Figure (III.10) : L'illustration montre le remplissage de bouteille [9]

III.2.2.4. Caractéristiques du remplissage [10]

- Grande précision du remplissage
- Changement facile de produit grâce au contrôle de la recette à partir du pupitre de commande.
- Remplissage avec pulpe jusqu'à 60g/l
- Aucun contact entre le bec de remplissage et la bouteille
- CIP à circuit fermé avec des fausses bouteilles de nettoyage automatiques.

La remplisseuse est équipée d'un système de récupération qui permet de ramener le produit restant à l'unité de traitement.

Après l'étape de production, le produit quitte le réservoir par les bacs de remplissage pour arriver dans un plateau.



Figure (III.11) : remplissage des bouteilles [9]

III.2.2.5. Fermeture

Le bouchage sécurisé de la bouteille, condition indispensable à la garantie de l'intégrité du produit.

Sidel propose des visseuses d'une qualité reconnue, produits par des fournisseurs haut de gamme. La visseuse est montée sur la table de la remplisseuse et livrée en une seule et même unité.

Venant ajouter à la conception hygiénique de la visseuse, toutes les pièces soumises à des exigences très strictes en matière d'hygiène telles que le coffret supérieur, la table, le support de tête et les colliers ainsi que les protections des tourelles mécaniques sont en acier inoxydable.

III.2.2.6. Distributeur de bouchons

Le distributeur de bouchons est doté de trois fonctions sur une seule unité: Stockage, élévation et orientation de bouchons.

Le distributeur de bouchons fonctionne très efficacement tout en se caractérisant par un très faible encombrement. Les bouchons dépourvus de bague et les bouchons retournés sont détectés et automatiquement éjectés. Sur les applications ESL, les bouchons suivent le même processus de décontamination que les bouteilles :

Pulvérisation APA à chaud et à haute pression, activation chimique, rinçage à l'eau stérile et égouttage.



Figure (III.12) : le convoyeur de bouchon [9]

III.2.2.7. Caractéristique des bouchages

- Contrôle individuel et réglage du couple de serrage de la tête
- détection et éjection de bouteilles mal bouchées.

- gestion de différents formats et diamètres de bouchons
- nettoyage facile: absence d'organe de transmission au sein de la zone stérile
- accès facilité pour la maintenance
- aucune barrière vapeur nécessaire
- graissage manuel centralisé avec distribution progressive.



Figure (III.13) : fermeture les bouteilles [9]

III.3. Analyse FMD

III.3.1. Introduction

La machine remplisseuse considérée comme le cœur de l'usine, elle sert au utilisé pour remplir des bouteilles de lait ou des boissons en général. Pour cette raison, la fiabilité et le bon fonctionnement de cette machine dépendent de tous les éléments constituant cette dernière.

Nous allons à travers cette partie étudier la fiabilité, la maintenabilité et la disponibilité à partir de l'historique des pannes de cette machine, afin de connaître les points faibles liés à la conception ou son exploitation.

III.3.2. Historique des pannes

D'après l'historique et les interventions de la machine remplisseuse, (du mai 2011 à mai 2012), on a les pannes qui se répètent plusieurs fois et Quel besoin de temps pour le réparer :

- Température minimum tunnel.
- Blocage bouchons dans tunnel.
- Attente disponible Capdis (Blocage préformes).
- Niveau minimum - H2O2 pur.
- Une ou plusieurs vannes en manuel.
- Une ou plusieurs vannes en manuel.
- Etoile - Défaut VLT.
- Défaut courant maxi.
- Syst. Dosage - Configuration carts de dosage en cours.
- Cycle faux bouteilles en cours.
- Demande d'arrêt bouteilles vers convoyeurs.
- MOTORISATION - Machine pas démarrée.
- Alimentateur bouchons - bourrage bouchons.
- Demande blocage bouteilles.
- Déclenchement fin de course couple souffleuse.
- MOTORISATION - Couple trop élevé sur inverter remplisseuse.
- 4 way valve produit - Entrée de la Vapeur TT bas.



Figure (III.14) : présentation les pannes par ordinateur de la machine

III.3.3. Analyse de la fiabilité

Le calcul des temps de bon fonctionnement et les temps d'arrêts à raison de 24 h de travail par jour, nous donnons les résultats suivants :

III.3.3.1. l'historique mensuelle de la machine

| Range | La date de panne | Temps d'arrêt (H) (TR) | Temps de Bon Fonctionnement (TBF) |
|-------|------------------|---------------------------|--------------------------------------|
| 1 | Juin 2011 | 40 | 680 |
| 2 | Juillet 2011 | 53 | 667 |
| 3 | Aout 2011 | 20 | 700 |
| 4 | Septembre 2011 | 35 | 685 |
| 5 | Octobre 2011 | 15 | 705 |
| 6 | Novembre 2011 | 57 | 663 |
| 7 | Décembre 2011 | 45 | 675 |
| 8 | Janvier 2012 | 52 | 668 |
| 9 | Février 2012 | 24 | 696 |
| 10 | Mars 2012 | 39 | 681 |
| 11 | Avril 2012 | 43 | 677 |
| 12 | Mai 2012 | 29 | 691 |

Tableau (III.1) : Dossier Historique

III.3.3.2. Paramètres de la loi de weibull en logiciel Log – LAALA

FIABILITE

fiabilité Courbes

Saisie des TBF

13

| N° | TBF |
|----|-----|
| 10 | 681 |
| 11 | 677 |
| 12 | 691 |

Initialiser Analyser Fermer

Resultats de l'analyse statistique

| Loi LOG-NOR | Loi NORMALE | Loi EXPONEN- | Loi WEIBULL |
|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Ecart: 6.5253 | Ecart: 13.4795 | Landa: 0.0015 | Beta: 50.3964 |
| Mu: 0.0197 | MTBF: 682.3333 | MTBF: 682.3333 | MTBF: 681.8389 |
| MTBF: 682.3442 | TEST K-S: >20% | TEST K-S: >20% | Eta: 689.0616 |
| TEST K-S: >20% | | | TEST K-S: >20% |

Figure (III.15) : Paramètres loi de weibull en logiciel Log-LAALA.

A partir de logiciel LOG _ LAALA, On déduire les paramètres: β , η , γ , MTBF, ...?

$$\beta = 50.3964$$

$$\eta = 689.0616$$

$$\gamma = 0$$

$$\text{MTBF} = 681.8389.$$

• Test de Kolmogorov- Smirnov

Ce test consiste à calculer l'écart entre la fonction théorique **F(t) Théo** et la fonction réelle **F(t) réel** et prendre le maximum en valeur absolue $D_{n,max}$.

Cette valeur est comparée avec $D_{n,\alpha}$ Qui est donnée par la table de Kolmogorov :

Ø Si $D_{n,max} > D_{n,\alpha}$, on refuse l'hypothèse du modèle théorique.

Ø Si $D_{n,max} < D_{n,\alpha}$, on accepte l'hypothèse du modèle théorique.

N.B : la valeur de $D_{n,\alpha}$ est donnée par la table de **Kolmogorov-Smirnov**.

* ici on a : $N=12 < 20 \rightarrow \alpha = 0.05 = 5\%$

| TBF | F(t) réel | F(t) Théo | $D_{n, F(t) \text{ réel} - F(t) \text{ Théo} }$ |
|-----|-----------|-----------|---|
| 680 | 0.3790 | 0.0564 | 0.3226 |
| 667 | 0.1646 | 0.137 | 0.0276 |
| 700 | 0.5023 | 0.217 | 0.2853 |
| 685 | 0.5502 | 0.298 | 0.2522 |
| 705 | 0.6666 | 0.379 | 0.2876 |
| 663 | 0.1243 | 0.459 | 0.3347 |
| 675 | 0.3169 | 0.540 | 0.2231 |
| 668 | 0.3020 | 0.620 | 0.318 |
| 696 | 0.8093 | 0.701 | 0.1083 |
| 681 | 0.4485 | 0.782 | 0.3335 |
| 677 | 0.610 | 0.862 | 0.252 |
| 691 | 0.7104 | 0.943 | 0.2326 |

Tableau (III.2) : Test de Kolmogorov Smirnov

$$\alpha = 0.05 = 5\%$$

$$D_{n,\alpha} = D_{12,0.05} = 0.375$$

Alors si nous revenons à la table, nous constatons que la valeur max est $D_{n,max} = 0.3347$

$\Rightarrow 0.3347 < 0.375 \Rightarrow D_{n,max} < D_{n,\alpha}$. Donc le modèle de Wei Bull est acceptable.

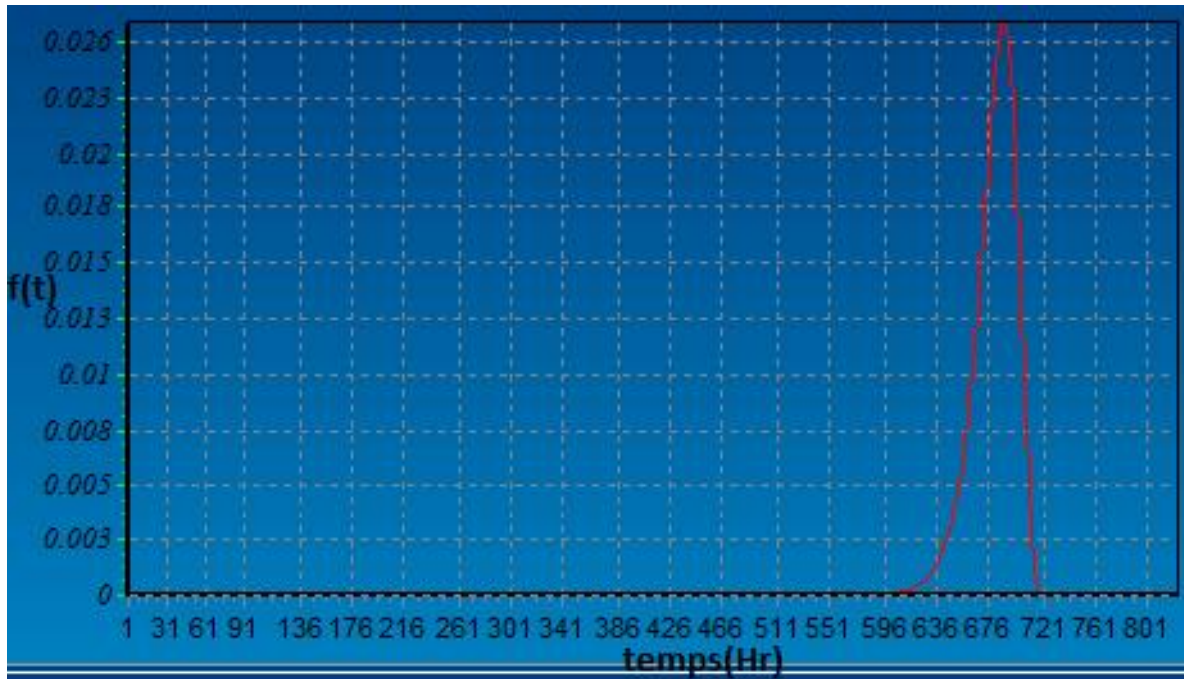


Figure (III.16) : Courbe de la densité de probabilité.

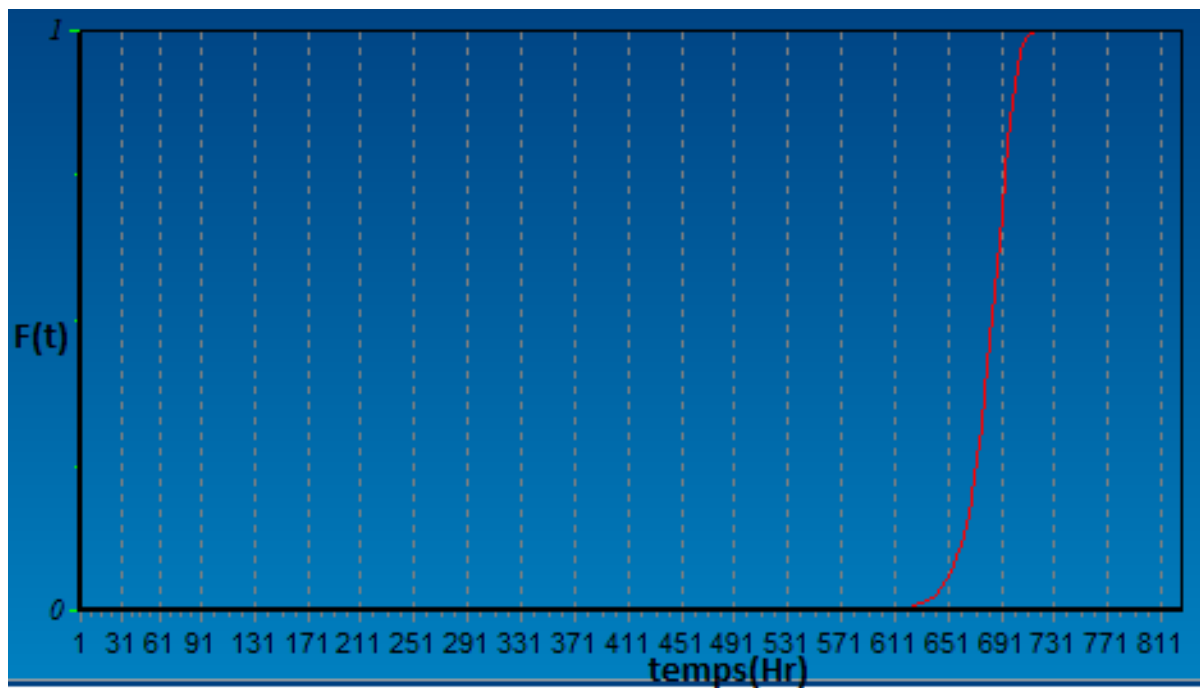


Figure (III.17) : courbe de la fonction de répartition.

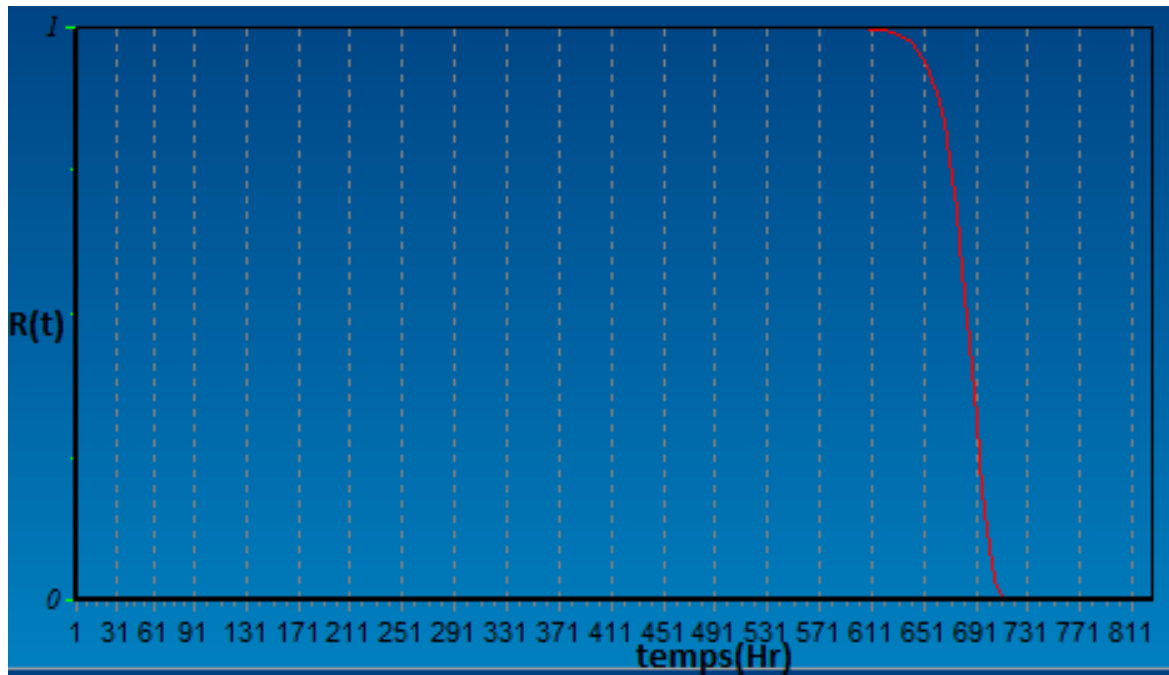


Figure (III.18) : courbe de la fonction de fiabilité.

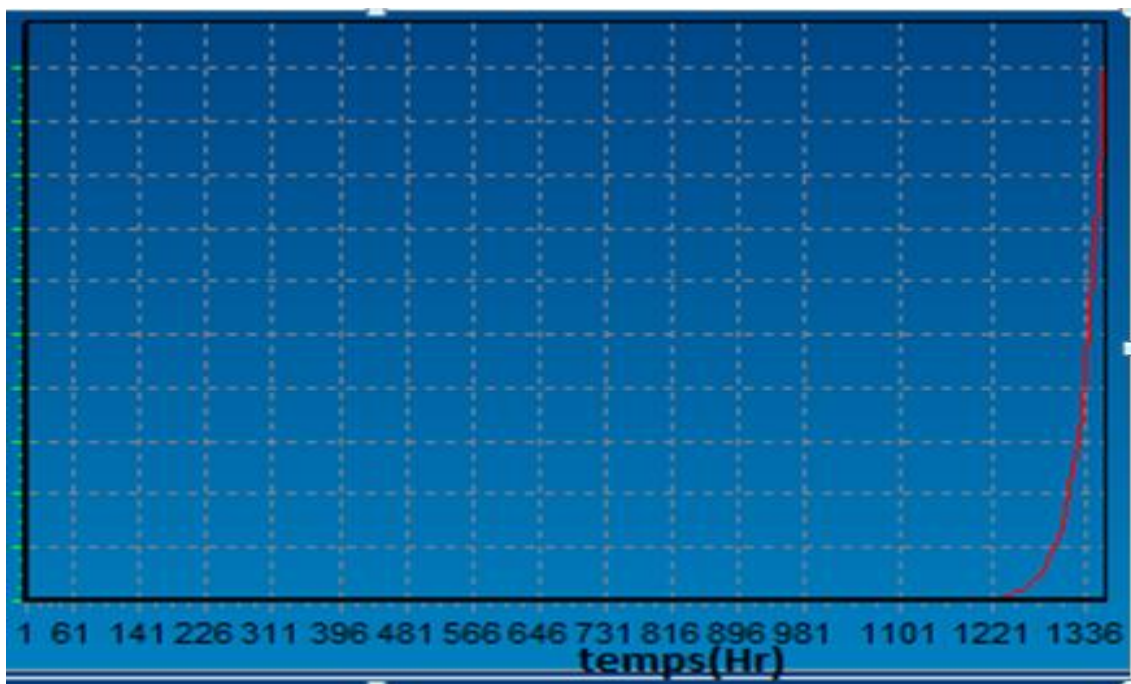


Figure (III.19) : Courbe de taux de défaillance

Interprétation des courbes

La courbe de fiabilité de la machine remplisseuse est une courbe descendante, le moyen du temps de bon fonctionnement est 681.8389 heures (pour chaque mois).

Donc on peut dire que la qualité de cette machine de production. La fiabilité de cette dernière est jugée comme étant acceptable.

Pour la courbe de la densité de probabilité, la courbe représente la probabilité instantanée de défaillance (juste au temps t), donc l'augmentation du TBF provoque une diminution de sa fiabilité et augmente la probabilité d'apparition d'un défaut ou de défaillance.

La courbe de la fonction de répartition est une courbe croissante, et qui représente la probabilité cumulée de défaillance, et ce qu'on peut voir dans cette courbe c'est que la probabilité de défaillance de la tour vertical augmente avec l'augmentation des temps de bons fonctionnements.

La courbe qui représente le taux de défaillance à un instant donné est une courbe croissante. $\beta = 50.3964$ ne correspond pas à la zone de décroissance rapide c'est la période de mise en place et de déverminage de l'installation. Les défaillances sont dues à des anomalies ou des imperfections de montage ou à la méconnaissance de la conduite du matériel de la part des opérateurs, c.-à-d. que le taux de défaillance augmente aussi avec l'augmentation du temps de bon fonctionnement, cette augmentation qui provoque la diminution de fiabilité de la machine.

III.3.4. Maintenabilité intrinsèque

MTTR: Mean Time To Repair.

Moyenne des temps de réparation

$$\text{MTTR} = \frac{\text{Temps cummule pour réparation}}{\text{Nombre d'intervention}}$$

Le taux de réparation (μ) : $\mu = \frac{1}{\text{MTTR}} \text{ int/h}$

Dans la plus par cas $M(t)$ est constante alors

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

Où

$$\mu = \frac{1}{MTTR}$$

$$\text{Et } MTTR = \frac{\sum TR}{N}$$

Analyse numérique

$$\text{Donc } MTTR = \frac{452}{12} = 37.666$$

$$\mu = \frac{1}{37.666} = 0.0265$$

$$\Rightarrow M(T) = 1 - e^{-0.0265 t}$$

| Range | Temps de réparation | M(t) |
|-------|---------------------|-------|
| 1 | 40 | 0.654 |
| 2 | 53 | 0.743 |
| 3 | 20 | 0.411 |
| 4 | 35 | 0.604 |
| 5 | 15 | 0.328 |
| 6 | 57 | 0.779 |
| 7 | 45 | 0.696 |
| 8 | 52 | 0.747 |
| 9 | 24 | 0.470 |
| 10 | 39 | 0.644 |
| 11 | 43 | 0.680 |
| 12 | 29 | 0.536 |

Tableau (III.3) : Tableau de maintenabilité

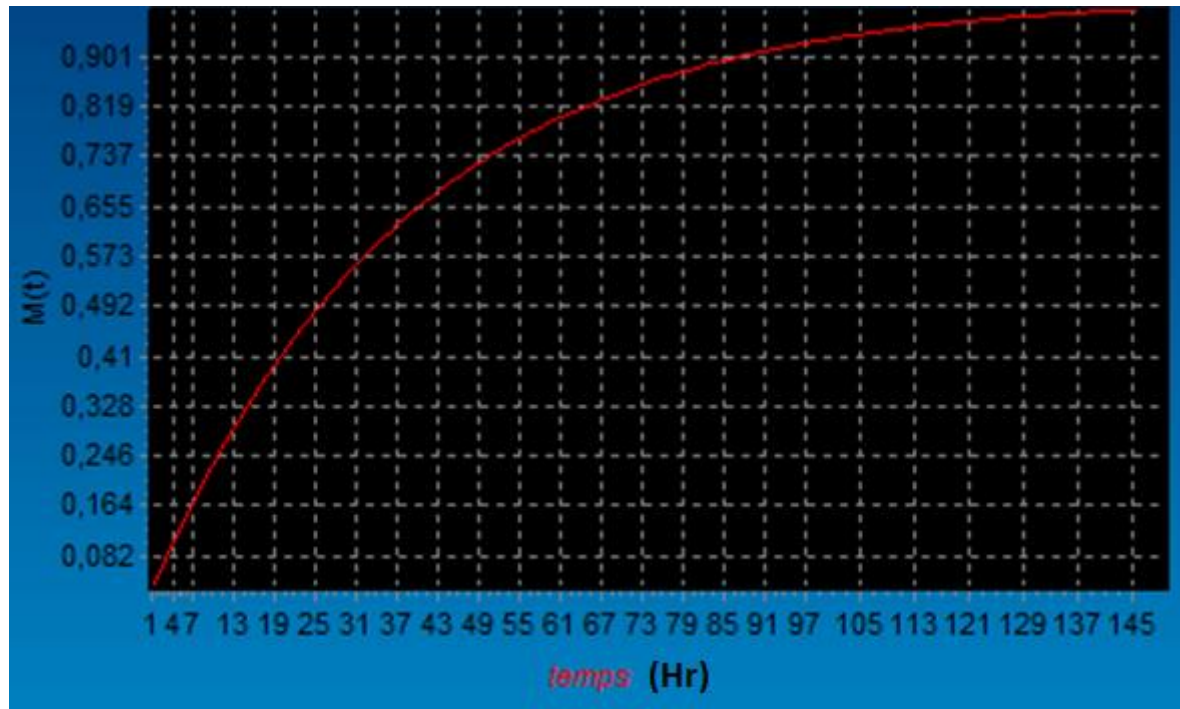


Figure (III.20) : Courbe de la maintenabilité

Interprétation de la courbe de maintenabilité

On voit que la courbe de maintenabilité est une courbe croissante, qui est le complément à l'unité de la probabilité pour que le système ne soit pas réparé sur l'intervalle $[0, t]$.

Après l'observation du graphique de maintenabilité on déduit que nous avons peu de chance pour que la réparation se fasse dans les meilleures conditions possibles.

L'amélioration de la maintenabilité de la machine remplisseuse on a proposé le suivant :

Il faut diminuer l'allongement du temps de réparation par l'application de la méthode de l'AMDEC.

III.3.5 La disponibilité

Disponibilité intrinsèque

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

Analyse numérique

$$D_i = \frac{681.838}{681.838 + 37.666} = 0.947$$

$$\Rightarrow D_i = 94.7\%$$

Disponibilité instantanée

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

μ : Taux de réparation.

λ : Taux de défaillance.

Analyse numérique

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{1}{MTBF} = \frac{1}{681.838} = 0.0014$$

$$MTTR = \frac{1}{\mu} \Rightarrow \mu = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{37.666} = 0.0265$$

$$\frac{\lambda}{\lambda + \mu} = \frac{0.0014}{0.0014 + 0.0265} = 0.0501$$

$$\frac{\mu}{\lambda + \mu} = \frac{0.0265}{0.0014 + 0.0265} = 0.917$$

$$\Rightarrow D(t) = 0.917 + 0.0501 \cdot e^{-1.418 t}$$

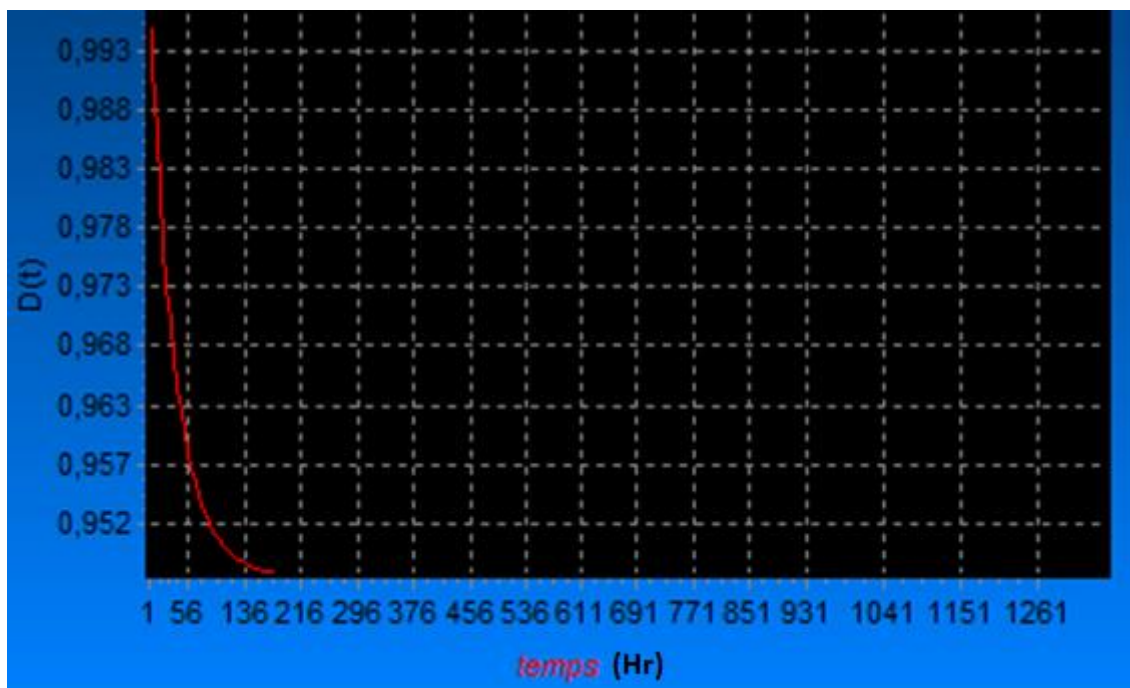


Figure (III.21) : Courbe de disponibilité.

Interprétation de la courbe de disponibilité

On voit que la courbe de disponibilité est une courbe descendante, et la disponibilité est le reflet de la fiabilité et de la maintenabilité, l'augmentation de cette caractéristique revient directement à augmenter ces deux paramètres et du moment de cette machine on doit agir toujours sur la fiabilité.

III.4 Conclusion

L'application de la méthodologie de maintenance intégrée montre bien l'importance que l'on doit accorder aux données du retour d'expérience et de historique des pannes. Raison pour laquelle l'application de la méthodologie sur les équipements de production, nécessite une organisation structurelle rigoureuse basée sur le principe de flexibilité, adaptabilité et complémentarité et aussi sur des axes particuliers tels que nous avons proposé au deuxième chapitre.

Dans ce chapitre l'analyse FMD permettra au gestionnaire de la fonction maintenance de déterminer une stratégie de maintenance basé sur l'étude graphique à travers un exemple pratique qui permet d'obtenir des analyses profondes pour mieux planifier une politique de gestion de la maintenance qui implique les objectifs désirés .

Chapitre IV

Application des réseaux de file d'attente

IV.1. Introduction

La théorie des files d'attente s'attache à modéliser et à analyser de nombreuses situations en apparence très diverses, mais qui relèvent néanmoins toutes du schéma descriptif général suivant. Des clients arrivent à intervalles aléatoires dans un système comportant plusieurs serveurs auxquels ils vont adresser une requête. La durée du service auprès de chaque serveur est elle-même aléatoire. Après avoir été servis (ce qui suppose un arrêt chez un ou plusieurs serveurs selon le cas), les clients quittent le système.

Et nous appliquons dans ce chapitre la simulation par langage de programmation `c#`.

IV.2. pourquoi y a-t-il de l'attente? [11]

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 aléatoires plutôt qu'à intervalles fixes. 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. Donc, si le système n'est pas congestionné d'un point de vue macro, il l'est d'un point de vue micro. Par ailleurs, en cas de variabilité minimale ou inexistante (arrivée selon les rendez-vous et temps de service constant), aucune file d'attente ne se former.

IV.3. L'objectif de l'analyse des files d'attentes

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

En cas de ressources inoccupées, la capacité est une valeur perdue, car elle est non stockable. Les coûts d'attente sont constitués des salaires payés aux employés qui attendent pour effectuer leur travail (mécanicien qui attend un outil, chauffeur qui attend le déchargement du camion, etc.), du coût de l'espace disponible pour l'attente (grandeur de la

salle d'attente dans une clinique, longueur d'un portique de lave-auto, kérosène consommé par les avions qui attendent pour atterrir) et, bien sûr, du coût associé à la perte de clients impatientes qui vont chez les concurrents.

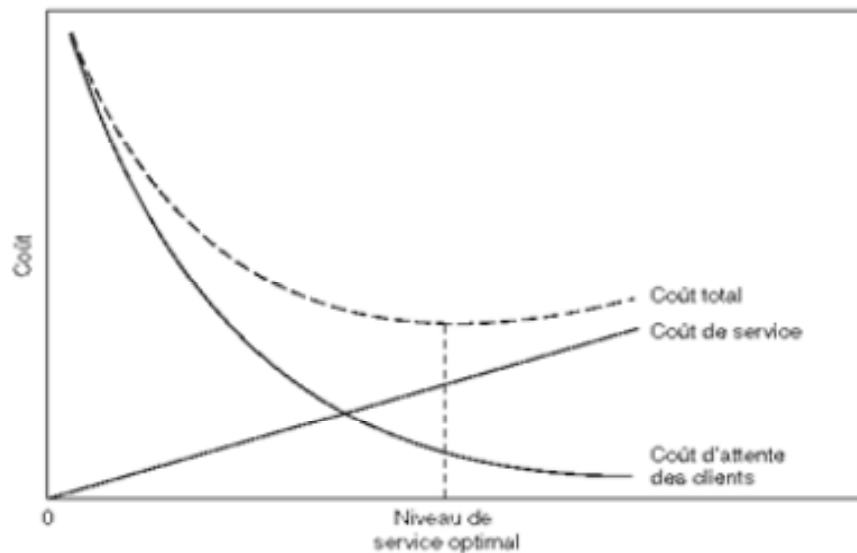
En pratique, lorsque le client est externe à l'entreprise, le coût d'attente est difficile à évaluer, car il s'agit d'un impact plutôt que d'un coût pouvant être comptabilisé. Cependant, on peut considérer les temps d'attente comme un critère de mesure du niveau de service. Le gestionnaire décide des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

Lorsque le client est interne à l'entreprise les clients sont les machines et les commis, l'équipe d'entretien, on peut établir directement certains coûts se rapportant au temps d'attente des clients (machines). Par ailleurs, il ne faut pas conclure trop rapidement que pour l'entreprise, le coût du temps d'attente d'un employé qui attend est égal à son salaire durant le temps d'attente ; cela impliquerait que la baisse nette des gains de l'entreprise, du fait de l'inactivité d'un employé, est égale au salaire de ce dernier, ce qui, a priori, n'est pas évident. L'employé, qu'il travaille ou qu'il attende, reçoit le même salaire.

Par contre, sa contribution aux gains de l'entreprise est réellement perdue, car la productivité baisse. Quand un opérateur de machine est inactif parce qu'il attend, sa force productive (qui peut comprendre, outre son salaire, une proportion des coûts fixes de l'entreprise) est perdue. En d'autres termes, il faut tenir compte non pas de la ressource physique en attente, mais plutôt de la valeur (coût) de toutes les ressources économiques inactives, et évaluer ensuite la perte de profit à partir de la perte de productivité.

L'objectif de l'analyse des files d'attente est de trouver un compromis entre le coût associé à la capacité de service et le coût d'attente des clients. La figure IV.1 illustre bien ce concept. Notez que lorsque la capacité de service augmente, le coût de service augmente. Par souci de simplicité, nous avons illustré un coût de service linéaire. Cela n'affecte en rien la démonstration. Lorsque la capacité de service augmente, le nombre de clients en attente et le temps d'attente tendent à diminuer, donc les coûts d'attente diminuent. Le coût total (la somme des coûts de service et d'attente) est représenté sur le graphique par une courbe en forme de U. Graphiquement, il suffit de déterminer le niveau de service se traduisant par le coût total minimum. (Contrairement au modèle de la quantité économique utilisé dans la gestion des stocks, le minimum n'est pas nécessairement atteint au point d'intersection de la droite et de la courbe.).

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



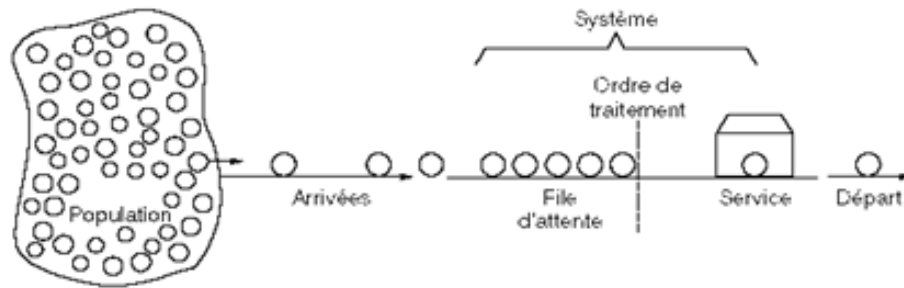
Figure(IV.1) : l'objectif de l'analyse de la file d'attente [11]

IV.4. les caractéristiques du système des files d'attentes [11]

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

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

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



Figure(IV.2) : système de file d'attente simple [11]

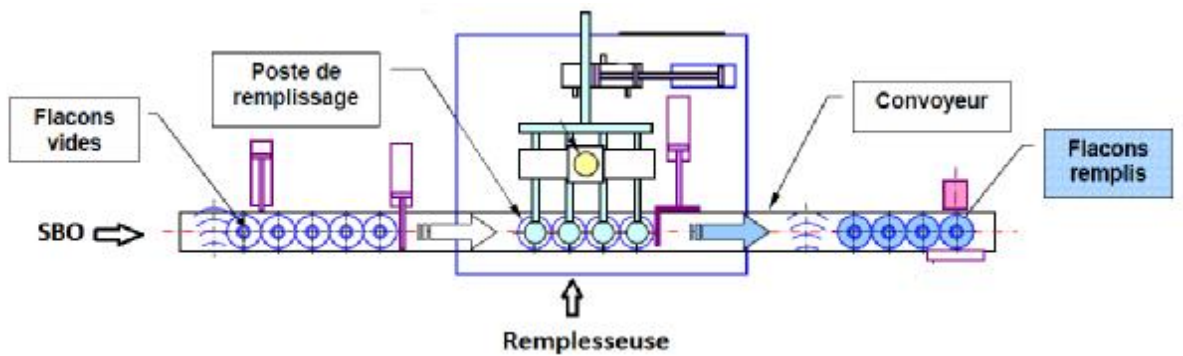


Figure (IV.3) : le système de file d'attente en pratique [10]

Tableau (IV.1) : symboles (modèle avec population infinie)

| 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) |
| T | Temps de service |
| \bar{T}_f | Temps moyen d'attente en file |
| \bar{T} | Temps moyen d'attente dans le système (temps d'attente en file, plus le temps de service) |

| | |
|-------|---|
| 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 |
| M | Nombre de serveurs |
| P_W | Probabilité qu'un client Potentielle avant d'être service |

IV.5. Les relations de base

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

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

service

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

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

$$P = \frac{\lambda}{\mu}$$

Le nombre moyen de clients en file :

N_i est obtenu à partir d'une table ou de la formule appropriée, selon le modèle en question.

Le nombre de clients dans le système :

$$\bar{n} = \bar{n}_f + \rho$$

Le temps moyen d'attente en file :

$$\bar{T}_f = \frac{\bar{n}_f}{\lambda}$$

Le temps moyen d'attente dans le système :

$$\bar{T} = \bar{T}_f + \frac{1}{\mu} = \frac{\bar{n}}{\lambda}$$

Modèle 1: serveur unique, temps de service exponentiel

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 IV.2 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 IV.2

Tableau IV.2 : formules de modèle de base

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

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.

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

IV.6. Application le modale1 pour déterminer les mesures de performance

a- Taux d'utilisation du système :

$$\rho = \frac{\lambda}{M \cdot \mu} \quad \text{Avec } M = 1$$

$\lambda = 5$ Bouteille / min

$$\mu = \frac{1}{\text{temps de service}}$$

Temps de service = 5 s par bouteille $\Rightarrow \mu = \frac{1}{5} \times 60$

$$\mu = 12 \text{ Bouteilles / min}$$

Alors

$$\rho = \frac{5}{12} \Rightarrow \rho = 0.416$$

b- Pourcentage d'inactivité de l'agent :

$$\text{Pourcentage d'inactivité} = 1 - \rho = 0.584$$

C'est-à-dire 58.4% du temps.

c- Nombre moyen de clients qui attendent pour être servis :

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

\Rightarrow

$$\bar{n}_f = \frac{5^2}{12(12 - 5)} = 0.297$$

d- Nombre moyen de clients qui attendent pour être système :

$$\bar{n} = \frac{\lambda}{(\mu - \lambda)} \Rightarrow \bar{n} = \frac{5}{12 - 5} = 0.714$$

e- Temps moyen passé par un client dans de l'agent :

$$\bar{T}_f = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)} \Rightarrow \bar{T}_f = \frac{5}{12(12 - 5)} = 0.059 \text{ min}$$

f- Temps moyen passé par un client dans de système :

$$\bar{T} = \frac{1}{\mu - \lambda} \Rightarrow \bar{T} = \frac{1}{12 - 5} = 0.142$$

g- Probabilité qu'il n'y ait aucun client dans le système :

$$P_0 = 1 - \left(\frac{\lambda}{\mu}\right) \Rightarrow P_0 = 1 - \left(\frac{5}{12}\right) = 0.584$$

h- Probabilité qu'il y ait n unités dans le système :

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

⇒

$$P_n = 0.584 \left(\frac{5}{12} \right)^n$$

IV.7. Qu'est ce que le C# [12]

IV.7.1. Un langage simple et performant pour .NET

C# est le langage par excellence de .Net, apparu en 2001. Ce langage est comme dit précédemment un langage de programmation orientée objet, étant un carrefour entre différent langage comme le Java, le C++ ou encore le Visual Basic, tout en restant un langage à part. C'est un langage à typage fort, c'est à dire que le type des variables est fixé à la compilation et que celle-ci peut vérifier les erreurs de typage (à la différence du langage PHP par exemple). Le C Sharp est très polyvalent, Il permet de coder de simples applications consoles jusqu'à de gros programmes avec une multitude de fenêtres, en passant par les jeux.

Souvent, le langage C# a été comparé au java, pour qui, tout comme le C#, tout est objet. Cependant, le langage de .NET, de part ses améliorations au fur et à mesure de son existence, a su se forger son propre profil. En effet depuis sa parution, on est passé de la version 2.0 à 2.5, de 2.5 à 3.0 et enfin de la version 3.0 à 3.5, ayant dans chaque évolution bien entendu son nombre de nouveautés. De nouveaux mots clés sont ajoutés, de nouvelles sortes de classes et certaines syntaxes simplifiées... C'est donc au fil des années que ce langage devint de plus en plus efficace et plus facile d'accès que beaucoup d'autres langages orientés objet, ce qui fait aujourd'hui sa popularité.

IV.7.2. Application par langage C#

Pour déterminer les paramètres des files d'attente, nous utilisons un langage de programmation c # qui donne les résultats de simulation.

Maintenant et après avoir écrit le programme nous avons mis les données pour simuler.

Les données :

- Nom de client : bouteille de lait
- Nombre max des clients : par exemple nombre pour simuler
- Nombre de service : serveur unique (remplisseuse).
- Type de simulation on fixe car le temps entre les arrivés et le temps de service ne change pas.

initialisation

Nombre Max des Clients ?

Nombre des Serveurs

Type de simulation

Aléatoire [0 , 5] second

Fix

Tableau

tools

le nom de client

Temp Entre les Arr

Temp de service

OK Annuler

Figure (IV.5) : La fenêtre pour écrire les données.

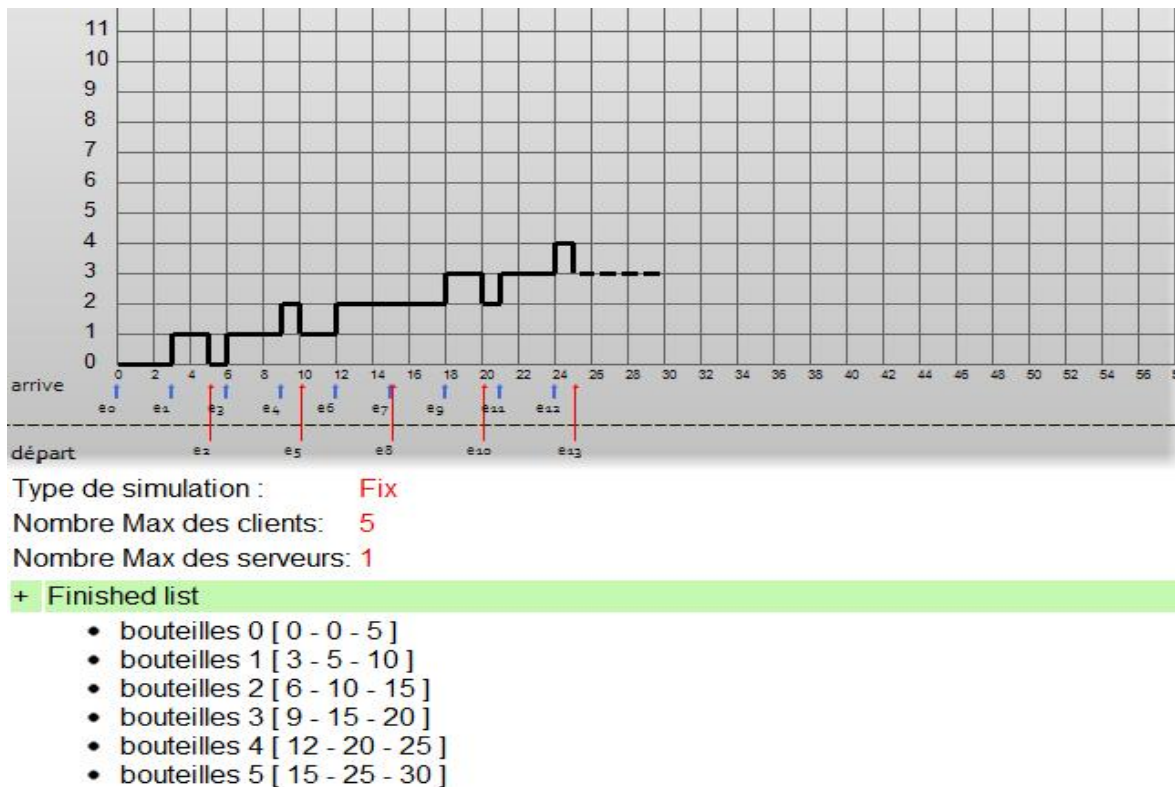


Figure (IV.6) : Le résultat de simulation.

IV.8. Interprétation et choix de la politique de maintenance

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 de paramètres influents sur la sûreté de fonctionnement, les performances de production.

Pour but de minimiser et le temps d'attente, et permet de prendre les décisions des travaux de maintenance dans les bonnes conditions.

Comme planning de maintenance nous proposons d'appliquer une maintenance préventive systématique aux (four, souffleuse, remplisseuse en générale) et maintenance préventive conditionnelle aux éléments: (tournette, les joints,.....).

IV.9. Conclusion

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

Conclusion

Générale

Conclusion générale

Bien que les méthodes d'évaluation des critères de sûreté de fonctionnement soient diverses, les réseaux des files d'attentes 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'attentes permettent de modéliser des processus parallèles ou séquentiels mettant en œuvre des opérations s'effectuant en même temps ou les unes après les autres. Répondu aux besoins de la modélisation des systèmes de production.

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

Ce travail ouvre l'étude de la sûreté de fonctionnement par l'utilisation des autres outils comme réseaux de Pétri, simulation de Monte-Carlo, amélioration de la disponibilité des réseaux de fils d'attente multi-serveurs,Etc.

Bibliographies

- [1] **A.Heurtel CNRS.** «La gestion des risques techniques (Sûreté de Fonctionnement)et des risques de management ». ; IN2P3/LAL , Version 2.4 11/12/03.
- [2] **A.FERHATI, S. KASMI.** « Maintenance des échangeurs de chaleur (mémoire de fin d'étude)». 2001.
- [3] **P.LYONNET** «La Maintenance: Mathématiques et Méthodes » édition Lavoisier, Tec et Doc. Paris 1992
- [4] **MONCHY F.** « Maintenance: Méthodes et organisation » éditions DUNOD, Paris, 2000
- [5] **G.ZWINGELSTEIN** « Sûreté de fonctionnement des systèmes industriels complexes », DocS 8250, Techniques de l'Ingénieur, traité Informatique industrielle, 2000.
- [6] **Malika BABES** « Statistiques, files d'attente et simulation » collection le cour d'informatique.
- [7] **J.KEILSON.** « Markov chain modrls-rarity and exponentiality », springverlag, new-York, Heidelberg, Berlin, 1979.
- [8] **M.BENYAKLET.** « probabilité et statistiques mathématiques appliquées », T2, les éditions maghrébines.
- [9] Site de l'entreprise mondiale SIDE www.sidel.com
- [10] 1- **Documentation Technique Manuel de l'utilisateur Soutireuse FMm** (SRFG0007). (document de l'entreprise).
2- **Catalogue des fiches SBO 6 & SBO 8 Universal - N° 10100 SIDEL.** (Document de l'entreprise)
- [11] **F.LOGHRAB - O. Y. SIDI MOHAMED – T. BEN ABDERRAHMAN**
« Contribution à l'amélioration des performances de la maintenance par l'utilisation des files d'attentes ». Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en génie électrotechnique. 2010/2011.
- [12] Site pour la définition la langage de programmation C#
[http://en.wikipedia.org/wiki/C_Sharp_\(programming_language\)](http://en.wikipedia.org/wiki/C_Sharp_(programming_language))

Bibliographies

- [13] **Mme BONNES MANIÈRES.** « ATTENDRE... UN PASSE-TEMPS POPULAIRE » : « Judith Martin, adaptation de Hocine Bourenane » Source: U.S.News et world report, 30/1/1989,p.81.
- [14] **Stephan ropert,HEIG-Vd** « mobilization stohastique,Files d'attente »
30 novembre 2009
- [15] **B. Baynat.** « Théorie des files d'attente. » Hermes Sciences Publications, Paris, 2000.
- [16] **NICOLAS TERRIER** « la maintenance », 2001/2002.
- [17] **Michel Roussignol et Daniel Flipo** « file d'attente et fiabilité » D.E.S.S. Ingénierie statistique et Numérique
- [18] **Stephan ropert,HEIG-Vd** « mobilization stohastique,Files d'attente ». 2009.

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DE DIPÔLME
MASTER EN GENIE ELECTRIQUE
SPECIALITE : AUTOMATIQUE**

PROPOSE ET DIRIGE PAR : Mr. Mabrouk DEFDAF

PRESENTE PAR : SAHRAOUI Yasser

Thème :

**EVALUATION DE PERFORMANCE DE LA SURETE
DE FONCTIONNEMENT PAR L'UTILISATION DES
RESEAUX DE FILES D'ATTENTE**

Résumé :

L'ordonnancement et la gestion des files d'attente des pannes dans un réseau sont les deux mécanismes fondamentaux pour fournir la qualité de service temps réel, qualité sur laquelle repose la sûreté de fonctionnement des applications temps réel distribuées. L'idée de base consiste à spécifier plus précisément les contraintes des applications en définissant des niveaux de dégradation de performance acceptable jusqu'à la limite du tolérable ; et à développer des algorithmes d'ordonnancement permettant la garantie déterministe du niveau le plus faible la surcharge du système. Ainsi, le système résultant est adaptatif et robuste car capable de fonctionner correctement entre le mode nominale et les modes dégradés. Pour optimiser encore plus lors de dimensionnement de ressources (analyse de temps de réponse), cette approche peut être combinée avec l'étude de la distribution probabiliste de la qualité de service tout en maintenant un fort taux d'utilisation des ressources réseaux, tel est le défi que l'on fixe dans le cadre de ce mémoire. Le domaine d'application ciblé est les reseaux de capteurs et actionneurs sans fil dans les quels coexistent les trafics temps réel et non temps réel qui peuvent tout les deux être périodique ou événementiel.

Mots clés :

Sûreté de fonctionnement, réseaux de file d'attente, fiabilité

N° d'ordre : 20