

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**  
**UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA**

**FACULTE TECHNOLOGIE**  
**DEPARTEMENT GENIE ELECTRIQUE**  
**N° : ISE 240**



**DOMAINE : SCIENCES ET TECHNOLOGIES**  
**FILIERE : ELECTROMECHANIQUE**  
**OPTION : INGENIERIE DES SYSTEMES**  
**ELECTOMECHANIQUE**

**Mémoire présenté pour l'obtention**  
**Du diplôme de Master Académique**

**Par: BOUBAKRI MOHAMED LAMINE**  
**: DJAIDJA OMAR ANAS**

**Intitulé**

**Une approche d'amélioration du service**  
**maintenance basée sur les réseaux des files**  
**d'attente**

**Soutenu devant le jury composé de:**

<b>GEHEMARI Zine</b>	<b>UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA</b>	<b>Président</b>
<b>DEFDAF Mabrouk</b>	<b>UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA</b>	<b>Encadreur</b>
<b>MABRAK Samir</b>	<b>UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA</b>	<b>Examineur</b>

**Année universitaire : 2016 /2017**

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## **Remerciements**

*Nous tenons tout D'abord à remercier dieu le tout puissant et miséricordieux qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce travail.*

*En second lieu nous tenons à remercier notre encadreur Mr : DEFDAF MABROUK pour ses appréciations compétentes, ses précieux conseils et son aide durant toute la période du travail.*

*Nous tenons également à exprimer notre gratitude envers tous les Enseignants et le personnel administratif de LAFARGE –GOLCIM qui ont contribué à notre formation et à l'élaboration de ce présent travail.*

*Nos vifs ont porté à notre travail, En de l'enrichir par leurs propositions.*

*Enfin, nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.*

# DEDICACE

*A travers ce modeste travail*

*Je dédie mes meilleurs vœux à mes très chers parents, à qui je  
n'arriverai jamais à exprimer ma gratitude et ma reconnaissance,  
pour ses amours ses soutiens tout au long de mes études.*

*A mes chers frères et sœurs*

*A toute la famille Boubakri*

*A tous ceux qui me connaissent de près ou de loin.*

*A tous ce qu'ils ont aimé me voir ce jour-là.*

*M. Boubakri.*

## DEDICACES

*Je dédie ce modeste travail :*

*A ceux qui sont les plus chers du monde, Mes parents*

*A mes chers frères et sœurs*

*A toute la famille*  
*DJAIDJA*

*A tous mes amis sans exception*

*D. Anas Omar.*



## Sommaire

Liste des figures.....	.....
Liste des tableaux.....	.....
La table des symboles.....	.....
Introduction generale.....	1

### CHAPITRE I: généralité sur la sureté de fonctionnement

I.1. Introduction.....	2
I.2. Les concepts de base de la sureté de fonctionnement (SDF).....	2
I.3. Qu'est-ce que la maintenance .....	2
I.3.1. Histoire.....	2
I.3.2. Cout de la sûreté de fonctionnement.....	3
I.4. Définition de la maintenance .....	3
I.5. Les objectifs de la maintenance .....	4
I.5.1. Garantie la production prévue.....	4
I.5.2. Amélioration de la qualité du produit .....	4
I.5.3. Contribuer au respect des délais.....	4
I.5.4. Recherche des coûts optimaux .....	4
I.5.5. Assurance de la sécurité des travailleurs et la qualité du milieu de travail.....	4
I.5.6. Respecter l'environnement .....	4
I.6. Les différents types de Maintenance.....	4
I.6.1. La maintenance corrective .....	5
I.6.1.2. Les opérations de maintenance corrective .....	5
I.6.2. La maintenance préventive.....	6
I.6.2.2. Les types de maintenance préventive.....	6
I.6.2.3. Les opérations de maintenance préventive .....	7
I.7. La sûreté de fonctionnement.....	7
I.7.1. Fiabilité .....	8
I.7.1.1. Les différents types de fiabilité.....	8
I.7.1.2. Analyse de la fiabilité .....	8
I.7.2. La Maintenabilité .....	10
I.7.2.1. Définition de la maintenabilité.....	10
I.7.2.2. La fonction maintenabilité .....	11
I.7.3. La disponibilité.....	11
I.7.3.1. Les sortes de la disponibilité.....	12
I.7.4. La sécurité .....	12
I.8. Méthodes d'analyse de sûreté de fonctionnement.....	13
I.8.1.Réseaux de pétri (RDP).....	13
I.8.2.Analyse des Modes de Défaillances de leur Effets et de leur Criticité (AMDEC).....	14
I.8.3.Méthode des arbres de défaillances (ADD) .....	14
I.9. Conclusion .....	15

---

 CHAPITRE:II. Généralités sur Les réseaux des files d'attente

II.1. Introduction .....	17
II.2. Origine de la théorie des files d'attente .....	17
II.3. Pourquoi y a-t-il de l'attente .....	18
II.4. L'objectif de l'analyse des files d'attentes .....	18
II.5. les caractéristiques du système des files d'attentes .....	19
II.5.1. La population .....	20
II.5.2. Le nombre de serveur .....	20
II.5.3. Les tendances quant à l'arrive et au service.....	20
II.5.4. Les clients .....	21
II.5.5. Les instants d'arrives .....	21
II.5.6. La station.....	21
II.5.7. La file d'attente .....	21
II.5.8. Le service .....	21
II.5.9. Le temps de service.....	21
II.5.10. Le temps d'attente.....	21
II.6. File d'attente simple .....	22
II.6.1. Processus d'arrive .....	22
II.6.2. Temps de service.....	22
II.6.3. Structure et discipline de la file .....	23
II.6.3.1.Nombre de serveur.....	23
II.6.3.2.Capacité de la file .....	23
II.6.3.3.Discipline de service.....	23
II.6.4. Notations de Kendall .....	24
II.6.5. Notion de classes de clients .....	24
II.7. Les réseaux de file d'attente .....	24
II.7.1. Les réseaux ouverts.....	25
II.7.2. Les réseaux fermés.....	26
II.7.3. Les réseaux multiclassés .....	26
II.7.4. Les réseaux de file d'attente à capacité limite .....	27
II.7.5. Les réseaux de files d'attente ouverts à contrainte de population .....	25
II.8. Files d'attente markoviennes .....	28
II.8.1. La file M/M/1.....	28
II.8.2. La file M/M/1/K.....	29
II.8.3. Les relations de base .....	31
II.9. Conclusion.....	31

III.1.Introduction .....	32
III.2.Rappelle des notion de base en fiabilité.....	32
III.2.1.Système non réposables.....	32
III.2.2. Système réparables.....	33
III.3.Outils de modélisation.....	33
III.4 .Objectif du modèle .....	33
III. 5.Hypothèse de travail .....	33
III.6.Méthodologie dynamique pour l'étude de la fiabilité un système .....	34
III.6.1.Chaine de MARKOV.....	35
III.7. Réseaux de protection.....	36
III.7.1.La préparation de cru.....	36
III.7.2.Le broyage du cru.....	36
III.7.2.1 L'homogénéisation.....	36
III.7.2.2.La cuisson des matières premières.....	36
III.8.Etude d'un système de protection sériel compose de deux four.....	37
III.9. Etudes statistiques sur les Four01 ET Four01 .....	38
III.9.1.Utilisation de la théorie des files d'attente et la théorie de MARKOV pour la modélisation de la disponibilité et la fiabilité .....	40
III.9.1.1.Définition d'une channes de MARKOV homogène dans le temps .....	40
III.9.1.2.Evolution dans le temps du vecteur stochastique .....	40
III.9.1.3.distrubition stationnaire .....	40
III.9.2.Represontation graphique d'un chaine de MARKOV .....	41
III.9.3.Calcule paramètre de le four 01.....	42
III.9.3.1.Etapes d'analyse des réseaux ouverts de files d'attente de four 01.....	42
III.9.3.2.Calcule la disponibilité et la fiabilité d'un système four 01.....	44
III.9.3.2.1.Calcule la disponibilité four 01 .....	44
III.9.3.2.2. Calcule la fiabilité four 01 .....	45
III.9.4.Calcule paramètre de le four 02.....	48
III.9.4.1.Etapes d'analyse des réseaux ouverts de files d'attente de four 02.....	48
III.9.4.2.Calcule la disponibilité et la fiabilité d'un système four 02.....	49
III.9.4.2.1.Calcule la disponibilité four 02 .....	49
III.9.4.2.2. Calcule la fiabilité four 02.....	50
III. 9.6.Résultats de simulation des paramètres de maintenance.....	53
III. 9.6.1 Résultats des paramètres de la maintenance ( Four01) .....	53
III. 9.6.1 Résultats des paramètres de la maintenance ( Four02) .....	54
III. 9.7.Les propositions pour améliorer la disponibilité et la fiabilité .....	55
III.10.Conclusion.....	55
Conclusion générale.....	57
Annex01.....	
Annex02.....	
Bibliographie.....	

## Liste des figures

Figure I.1- Cout de la maintenance . . . . .	03
Figure I.2- Organigramme types de maintenance. . . . .	05
Figure I.3- Concept de la FMDS. . . . .	07
Figure I.4- Performance et défaillance d'un dispositif . . . . .	09
Figure I.5- Les trois périodes de la courbe en baignoire avec différentes valeurs de $\beta$ . . . . .	09
Figure I.6- Allure d'un taux de défaillance « en baignoire » . . . . .	09
Figure I.7- Chronologie des temps des activités de maintenance . . . . .	10
Figure I.8- La disponibilité . . . . .	11
Figure I.9- Les trois types de disponibilité . . . . .	12
Figure I.10- Le niveau de risque est fonction du couple : gravité, probabilité d'occurrence . . . . .	13
Figure II.1- Système à un seul serveur . . . . .	16
Figure II.2- Système multiserveurs (S serveur en parallèles) . . . . .	16
Figure II.3- Système de file d'attente simple . . . . .	18
Figure II.4- Illustration des deux distributions . . . . .	19
Figure II.5- Système d'attente. . . . .	20
Figure II.6- Ensembles de M stations inter connectées . . . . .	23
Figure II.7- Réseau ouvert des files d'attente . . . . .	23
Figure I.8- La disponibilité . . . . .	24
Figure II.9- Réseau mixte des files d'attente . . . . .	25
Figure II.10- La file M/M/1 . . . . .	26
Figure II.11- La file M/M/1/K . . . . .	27
Figure III.1 Graphe d'état pour système non réparable. . . . .	31
Figure III.2 Graphe d'état pour système réparable . . . . .	32
Figure III.3. Un modèle Markovien . . . . .	34
Figure III.4. Broyage cru . . . . .	35
Figure III.5. Cuisson . . . . .	35
Figure III.6. La file M/M/1/K . . . . .	36
Figure III.7 Graphe G des états de la disponibilité . . . . .	36
Figure III.8 Graphe G des états de la fiabilité . . . . .	43
Figure III.9. Histogramme de Nombre de clients dans le système la disponibilité . . . . .	45
Figure III.10. Histogramme de Nombre de clients dans le système la fiabilité . . . . .	48
Figure III.11. Histogramme Nombre de clients dans le système la disponibilité . . . . .	48
Figure III.12. Histogramme Nombre de clients dans le système la fiabilité . . . . .	50
Figure III.13. Graphe de la fonction Fiabilité . . . . .	54
Figure III.14. Graphe de la fonction De Répartition . . . . .	54
Figure III.15. Graphe de la fonction Taux de défaillance . . . . .	54
Figure III.16. Graphe de la fonction Maintenabilité . . . . .	54
Figure III.24. Graphe des fonctions R(t), F(t), Lambda(t) et f(t) . . . . .	54
Figure III.17. Graphe de la fonction Densité de Probabilité . . . . .	54
Figure III.18. Graphe du fonction Fiabilité . . . . .	55
	55

Figure III.19. Graphe de la fonction De Répartition . . . . .	
.	
Figure III.20. Graphe du fonction Taux de défaillance . . . . .	55
Figure III.21. Graphe du fonction Maintenabilité . . . . .	55
Figure III.22. Graphe du fonction Densité de Probabilité . . . . .	55
Figure III.24. Graphe des fonctions $R(t)$ , $F(t)$ , $\Lambda(t)$ et $f(t)$ . . . . .	55

## Liste des tableaux

---

Tableau. II.1-symboles (modèle avec population infinie) . . . . .	29
Tableau III. 1 Heures d'exploitation . . . . .	37
Tableau III. 2. Heures d'exploitation. . . . .	38
Tableau III .3. Résultat de la disponibilité configuration. . . . .	44
Tableau III .4. Résultat de la fiabilité configuration. . . . .	46
Tableau III .5. Résultat de la disponibilité configuration. . . . .	49
Tableau III .6. Résultat de la fiabilité configuration. . . . .	51

---

## La table des symboles

<b>R(t)</b> : la fiabilité	<b>f(t)</b> : Densité de probabilité
<b><math>\lambda(t)</math></b> : Le taux de défaillance	<b>MTBF</b> : Le moyen de temps de bon fonctionnement
<b>M(t)</b> : La maintenabilité	<b><math>\mu</math></b> : taux de réparation.
<b><math>\beta</math></b> : Paramètre de forme	<b><math>\gamma</math></b> : Paramètre de position
<b><math>\eta</math></b> : Paramètre d'échelle	<b>MTBP</b> : moyenne des temps entre panne.
<b>MUT</b> : moyenne de temps de bon fonctionnement.	<b>MTTF</b> : durée moyenne de fonctionnement avant défaillance
<b>MC</b> : maintenance corrective	<b>MP</b> : maintenance préventive
<b>MPS</b> : maintenance préventive systématique	<b>MPC</b> : maintenance préventive conditionnelle
<b><math>1/\mu</math></b> : la durée moyenne de service.	<b><math>\lambda</math></b> : taux d'arrivée
<b><math>\mu</math></b> : taux de service	<b>U</b> : Taux d'utilisation du serveur
<b>L</b> : Nombre moyen des clients	<b>W</b> : Temps moyen de séjour
<b>Wq</b> : Le temps moyen passé dans la file d'attente	<b>Lq</b> : Nombre moyen de clients dans la file d'attente
<b>U(K)</b> : Taux d'utilisation du serveur	<b><math>\rho</math></b> : Le nombre moyen de clients en train d'être servis
<b><math>\bar{n}_f</math></b> : Nombre moyen de cliente en file	<b><math>\bar{n}</math></b> : Le nombre des clients dans le système
<b><math>\bar{T}_f</math></b> : Temps moyen d'attente en ligne	<b><math>\bar{T}</math></b> : Temps moyen d'attente dans le système
<b>P<sub>0</sub></b> : Probabilité qu'il y ait zéro unité (client) dans le système	<b>P<sub>n</sub></b> : Probabilité qu'il y ait n unités (clients) dans le système
<b>P<sub>&lt;n</sub></b> : Probabilité qu'il y ait moins de n unités (client) dans le système	
<b>FMDS</b> : Fiabilité, Maintenabilité, disponibilité, sécurité [	

# **INTRODUCTION GENERALE**

## *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 [1].

La sûreté de fonctionnement est donc un champ d'action privilégié de la recherche d'amélioration des performances des équipements dans l'entreprise. Cependant, les méthodes et les techniques de maintenance ne possèdent pas un caractère unique et universel. En fonction du type des processus industriels à maintenir et de la nature des systèmes et sous-systèmes ou équipements,

Le rôle de service sûreté de fonctionnement est de choisir une politique de maintenance adéquate en prenant en considération l'aspect technique, économique et financier, des différentes méthodes en vue d'optimiser la disponibilité des matériels. Pour cela l'ingénieur utilise des méthodes et des outils mathématiques afin de calculer et d'évaluer les critères de la sûreté de fonctionnement (fiabilité, maintenabilité, disponibilité) qui permet de prendre des décisions.

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

Il s'agit d'un outil mathématique applicable sur les équipements et les machines travaillent en chaîne. Les réseaux des files d'attente, permettent de planifier l'exécution des autres tâches de maintenance, en altérant le moins possible le plan de production, et tout en respectant au mieux la périodicité de maintenance des équipements. [6]

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

Ce travail est organisé comme suit:

- Chapitre I : Généralités sur la sûreté de fonctionnement.
- Chapitre II: Généralités sur les réseaux des files d'attente.
- Chapitre III : Evaluation de la fiabilité et de la disponibilité par les files 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'études, elle représente 70% environ de l'activité totale. Les 30% restant représentent la partie dite quantitative qui est consacrée à la maîtrise des risques avant la fabrication à partir des architectures déjà élaborées. C'est donc la phase d'optimisation des architectures des systèmes et de leur mise en œuvre de façon à maximiser, à moindre coût, leur robustesse aux aléas.

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

Cette démarche est une partie de la démarche générale qui, depuis quelques années, est mise en œuvre pour contrôler la fabrication d'un produit ou d'un instrument donné, que l'on désigne sous le nom d'assurance produit.[1]

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

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.[2]

## I.3 Qu'est-ce que la maintenance

### I.3.1 Histoire

Le terme « maintenance » forgé sur les racines latines, Manus et Tenere est apparu dans la langue française au 12<sup>ème</sup> 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. [2]

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

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

## **I.4 Définition de la maintenance**

La maintenance est << l'ensemble des activités destinées à maintenir ou à rétablir un bien dans un état ou dans des conditions données de sûreté de fonctionnement, pour accomplir une fonction requise. Ces activités sont une combinaison d'activités techniques, administratives et de management>>.[3]

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

- **Bien** : Tout équipements «mécanique, électrique,.....etc.» pouvant remplir une tâche bien définie dans la production de l'entreprise.
- **La fonction requise** : C'est la fonction ou ensemble de fonction d'un bien, considéré comme nécessaires pour un service donné
  - **Selon l'AFNOR** : La maintenance est l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié, ou dans un état où il est en mesure d'assurer un service déterminé.
  - **Selon LAROUSSE** : La maintenance est l'ensemble de tous ce qui permet de maintenir ou de rétablir un système en état de fonctionnement.[3]

## **I.5 Les objectifs de la maintenance**

### **I.5.1 Garantie la production prévue**

La planification de la production doit être étudiée conjointement par l'entretien et la production en conciliant les arrêts nécessaires à l'entretien préventif et les recommandations du manufacturier tout en s'ajustant aux programmes de fabrication.[5]

### **I.5.2 Amélioration de la qualité du produit**

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

### **I.5.3 Contribuer au respect des délais**

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

### **I.5.4 Recherche des coûts optimaux**

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

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

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

### **I.5.6. Respecter l'environnement**

Au service de maintenance incombe souvent le contrôle des polluants et le rejet des contaminants dans l'environnement. Il n'est pas rare que le matériel non productif mais nécessaire soit négligé (exemple: système de recyclage, dépoussiéreur, filtre, etc.). [5]

## **I.6. Les différents types de Maintenance**

La maintenance est divisée en deux types illetrés comme suit

**I.6.1.**La maintenance corrective

**I.6.2.**La maintenance préventive

L'Organigramme suivant montrée les différents types de la maintenance.

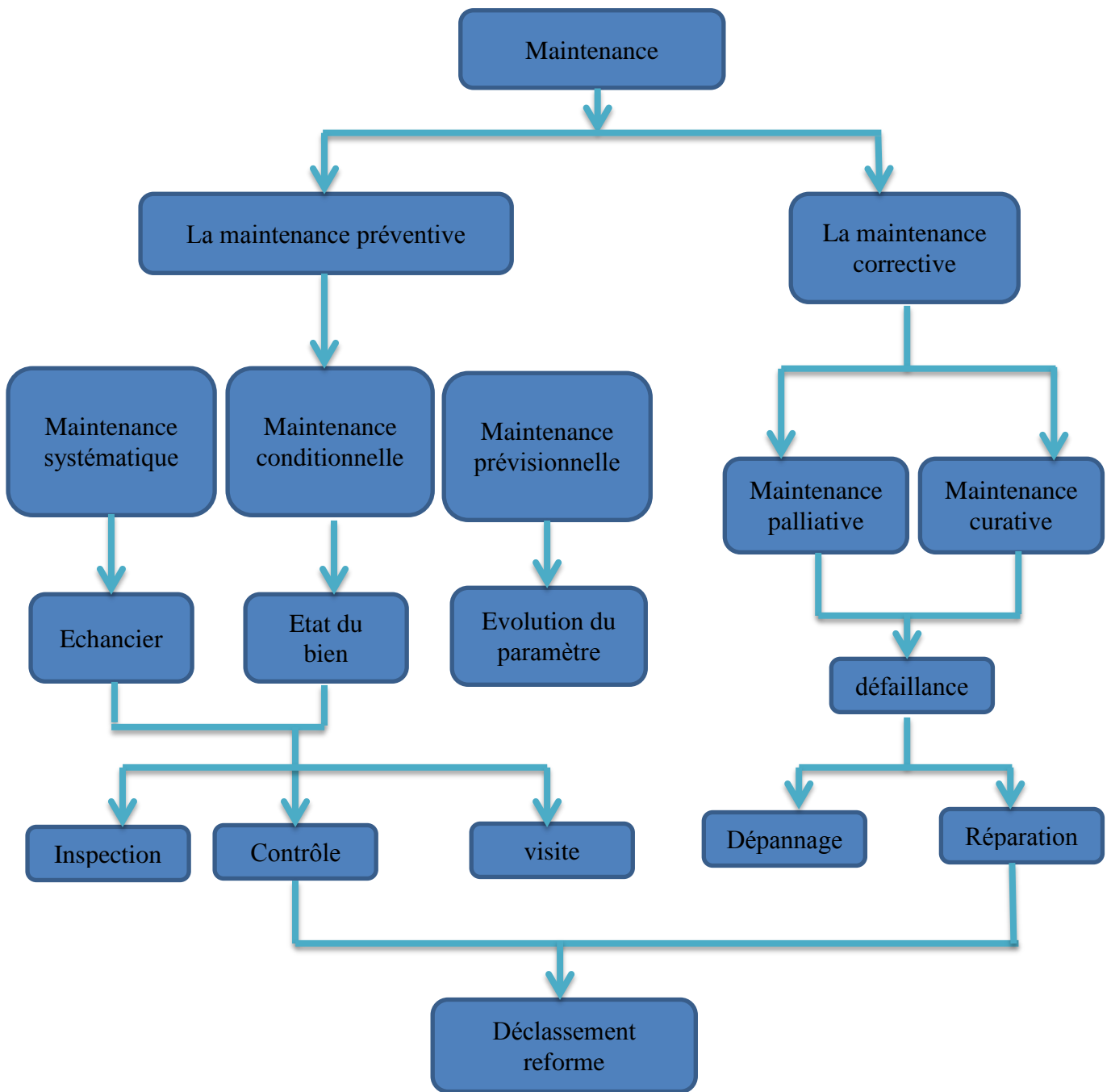


Figure I.2 : Organigramme de types de maintenance [2]

## **I.6.1. La maintenance corrective**

### **I.6.1.1. 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.[6]

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. [6]

### **I.6.1.2. Les opérations de maintenance corrective**

#### **Le dépannage**

Actions physiques exécutées pour permettre à un bien en panne d'accomplir sa fonction requise pendant une durée limitée jusqu'à ce que la réparation soit exécutée.

Le dépannage n'a pas de conditions d'applications particulières. La connaissance du comportement du matériel et des modes de dégradation n'est pas indispensable même si cette connaissance permet souvent de gagner du temps.

Ainsi, le dépannage peut être appliqué par exemple sur des équipements fonctionnent en continu dont les impératifs de production interdisent toute visites ou intervention à l'arrêt.[7]

#### **La réparation**

Actions physiques exécutées pour rétablir la fonction requise d'un bien en panne.

L'application de la réparation peut être décidée soit immédiatement à la suite d'un incident ou d'une défaillance, soit après un dépannage, soit après une visite de maintenance préventive conditionnelle ou Systématique. [7]

#### **Les révisions**

Ensemble des actions et examens de contrôle et d'intervention effectuée en vue d'assurer le bien contre toute défaillance majeure ou critique, pendant un temps ou pour nombre d'unités d'usage donnée.[5]

## I.6.2. La maintenance préventive

### I.6.2.1. Définition

**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. [8]

**I.6.2.2. Les types de maintenance préventive :** La maintenance préventive est divisée en deux types illetrés comme suit

- ✓ La maintenance préventive systématique.
- ✓ La maintenance préventive conditionnelle.

#### 1) La maintenance préventive systématique

##### a) Définition

**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.

##### b) Avantage

C'est une maintenance facile à gérer car les périodes d'interventions sont fixes, elle permet :

- d'éviter les détériorations importantes.
- de diminuer les risques d'avaries imprévues.

##### c) Inconvénient

Reposer sur la notion de MTBF et ne prends pas en compte les phénomènes d'usure. [8]

#### 2) La maintenance préventive conditionnelle

##### a) Définition

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

##### b) avantages

- elle sécurise : détection de l'arrivée des défauts.
- elle améliore la disponibilité par la planification des opérations.
- elle favorise les facteurs humains (appel aux compétences des opérateurs).

##### c) inconvénients

- Pour être efficace elle doit être pensée dès la phase de conception.

#### I.6.2.3. Les opérations de maintenance préventive

##### ❖ Inspection

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

##### ❖ Le contrôle

Vérifications de conformité par rapport à des données préétablies suivies d'un jugement. Le contrôle peut :

- Comporter une activité d'information ;

- Inclure une décision : acception, rejet, ajournement ;
- Déboucher comme les visites sur des opérations de maintenance corrective.

Les opérations de surveillance (contrôles, visites, inspections) sont nécessaires pour maîtriser l'évolution de l'état réel du bien. Elles sont effectuées de manière continue ou à des intervalles prédéterminés ou non, calculés sur le temps ou le nombre d'unités d'usage

#### ❖ La visite

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

## I.7. La sûreté de fonctionnement

La sûreté de fonctionnement c'est la propriété qui permet aux utilisateurs du système de placer une confiance justifiée dans le service qu'il leur délivre.[11]



**Figure I.3 :** Concept de la FMDS(Fiabilité, Maintenabilité ,disponibilité ,sécurité)[17]

### I.7.1. 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.7.1.1. Les différents types de fiabilité

- **La fiabilité opérationnelle:** (observée ou estimée) déduite de l'analyse d'entités identiques dans les mêmes conditions opérationnelles à partir de l'exploitation d'un retour d'expérience.
- **La fiabilité prévisionnelle :** (prédite) correspondant à la fiabilité future d'un système et établie par son analyse, connaissant les fiabilités de ses composants.
- **La fiabilité extrapolée :** déduite de la fiabilité opérationnelle par extrapolation ou interpolation pour des conditions ou des durées différentes.
- **La fiabilité intrinsèque ou inhérente :** qui découle directement des paramètres de conception. Sans modification de conception des entités, il n'est pas possible d'obtenir un niveau de fiabilité au plus égal à la fiabilité intrinsèque. [12]

### I.7.1.2. Analyse de la fiabilité

Selon la **loi de Weibull** qui est une loi continue à être utilisée le long du cycle de vie d'un matériel, les fonctions de la fiabilité dépendent de trois paramètres:  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\eta$  Caractérisent ce modèle.

#### ➤ Densité de probabilité

Elle caractérise la probabilité de panne juste à temps.

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

#### ➤ La fonction de répartition

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

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

#### ➤ 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.

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

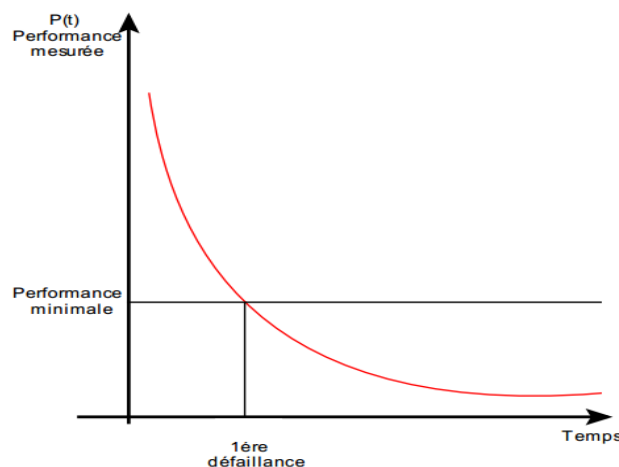


Figure I.4 : Performance et défaillance d'un dispositif[17]

➤ **Le moyen de temps de bon fonctionnement MTBF**

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

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

**Signification des différents paramètres**

**Paramètre de forme  $\beta$**

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

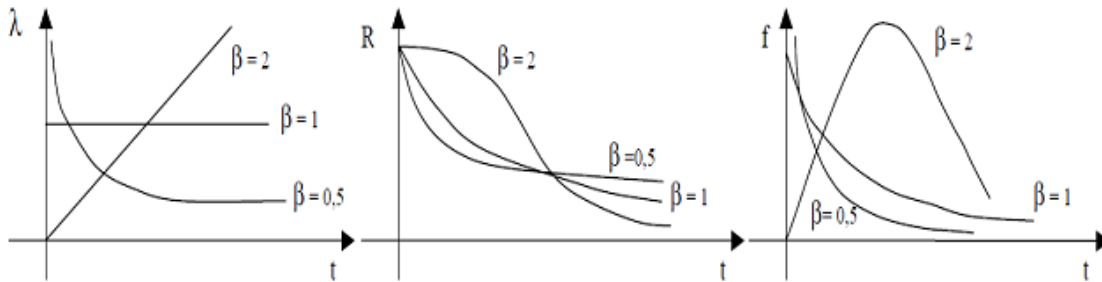


Figure I.5 : Les trois périodes de la courbe en baignoire avec différentes valeurs de  $\beta$ [12]

**Courbe de défaillance**

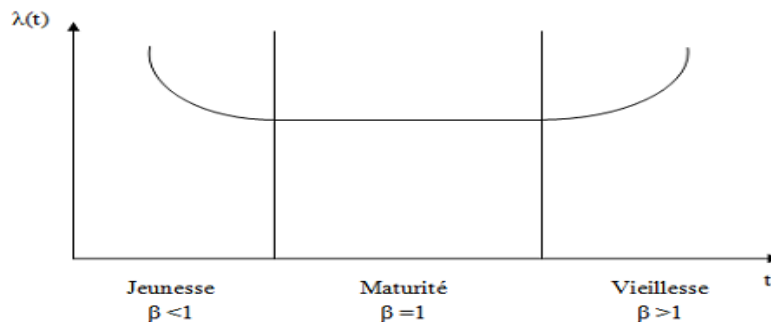


Figure I.6 : Allure d'un taux de défaillance « en baignoire » [12]

**$\beta < 1$  :**

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

**$\beta = 1$  :**

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

**$\beta > 1$  :**

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

**Paramètre de position  $\gamma$**

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

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

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

### Paramètre d'échelle $\eta$

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 :  $\ln(\ln(\frac{1}{1-F(1)}))$

### I.7.2. La Maintenabilité

La compréhension des termes utilisés en maintenabilité rend nécessaire l'établissement d'un diagramme chronologique des temps entre l'instant de l'apparition de la défaillance et l'instant de la remise en service de l'installation. Le diagramme de la (figure I.5) résume tous les instants importants de cette chronologie.[13]

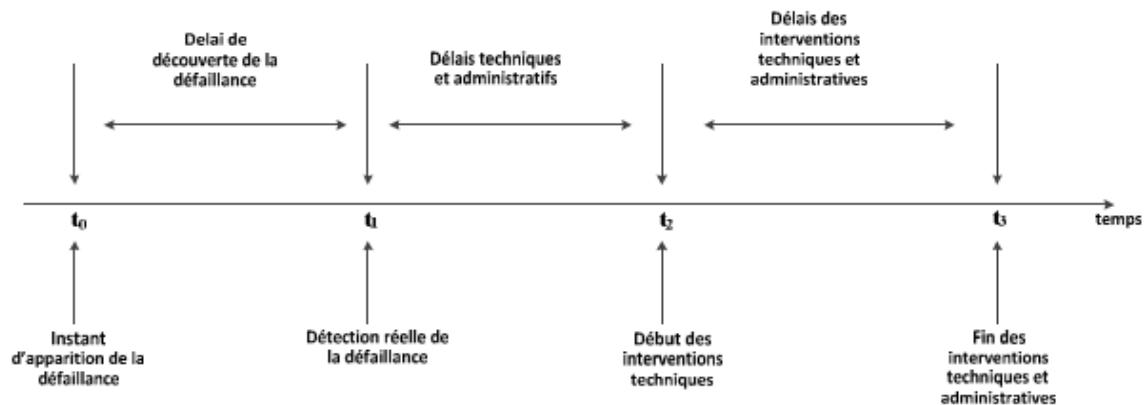


Figure I.7 : Chronologie des temps des activités de maintenance [13]

#### I.7.2.1. Définition de la maintenabilité

(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 leur interchangeabilité.[12]

»Maintenabilité intrinsèque.

»Maintenabilité extrinsèque

### I.7.2.2. La fonction maintenabilité

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

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

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

### I.7.3. La disponibilité

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 ». [12]

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

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

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

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

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.[12]

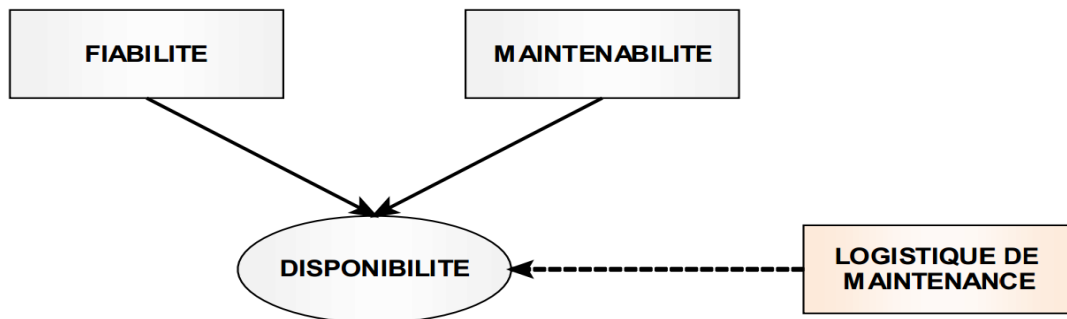


Figure I.8 : La disponibilité[17]

#### I.7.3.1. Les sortes de la disponibilité

##### ❖ Disponibilité intrinsèque

Cette disponibilité est évaluée en prenant en compte les moyennes des temps de bon fonctionnement et les moyennes des temps de réparation. [12]

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

##### ❖ Disponibilité instantanée

C'est la probabilité pour qu'un dispositif puisse accomplir une fonction requise dans des conditions données et une instante donnée .[12]

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

Avec :

$\mu$  : Taux de réparation.  $\lambda$  : Taux de défaillance.

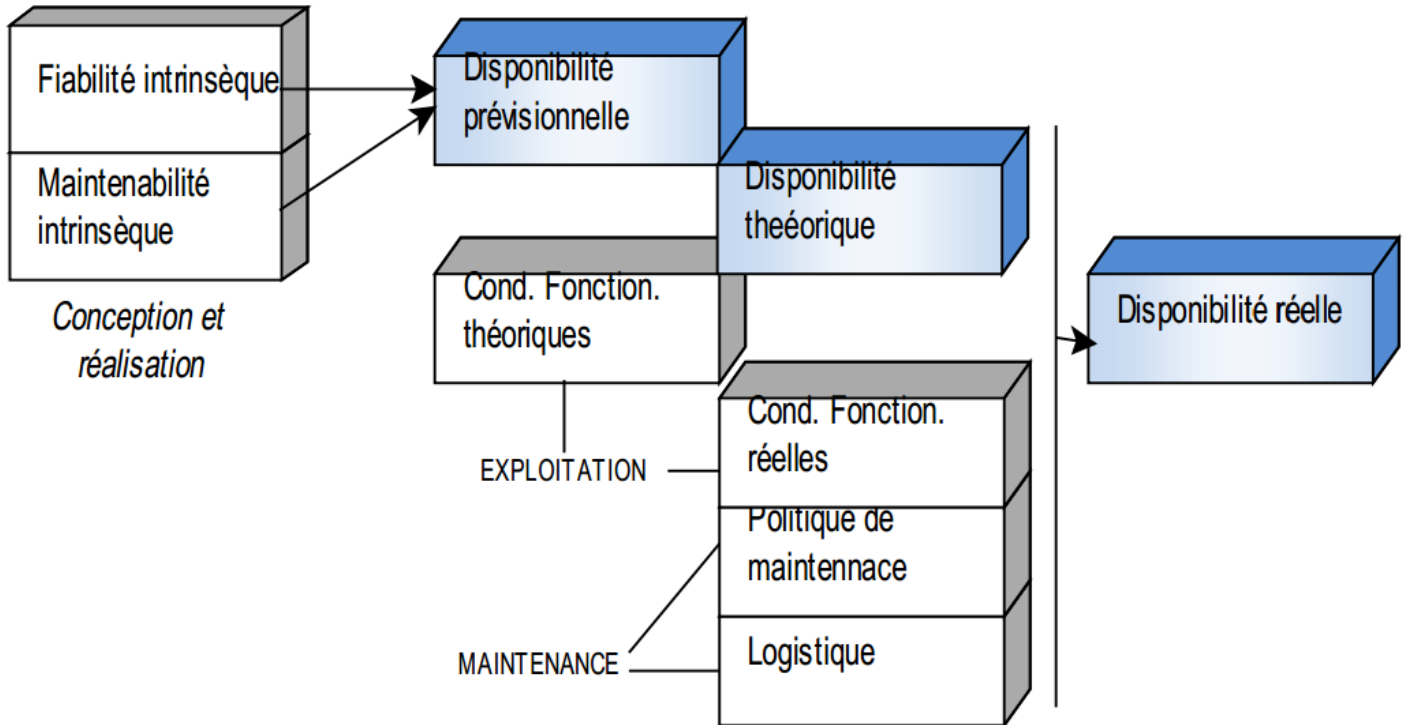


Figure I.9 : Les trois types de disponibilité[17]

### I.7.4. La sécurité

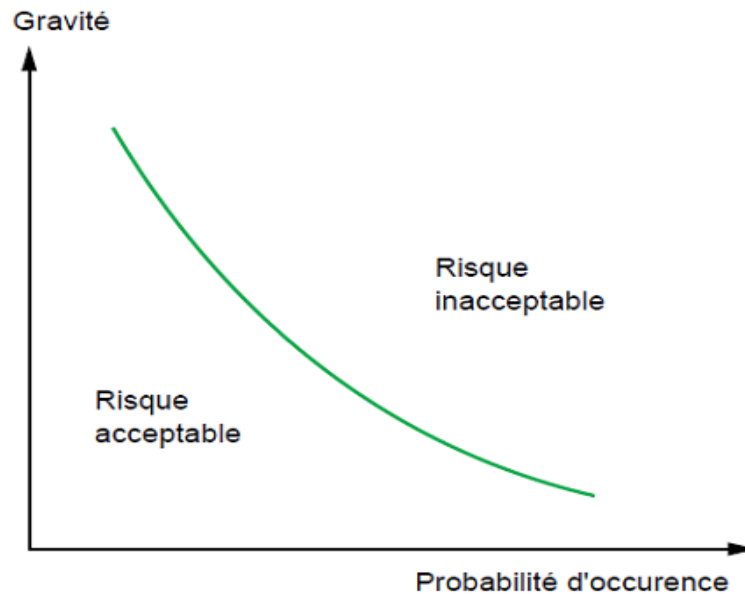
Bien que la norme [CEI 50 (191), 1990] n'intègre pas la sécurité comme composant de la sûreté de fonctionnement, nous considérons qu'il est important de la prendre en compte car l'occurrence d'un événement catastrophique met en péril la vie humaine.

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

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

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

[14]



**Figure I.10 :** Le niveau de risque est fonction du couple : gravité, probabilité d'occurrence[15]

## I.8.Méthodes d'analyse de sûreté de fonctionnement

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

- ✓ des défaillances et des pannes des composants du système,
- ✓ des événements liés à l'environnement,
- ✓ des erreurs humaines en phase d'exploitation.

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

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

### I.8.1.Réseaux de Pétri (RDP)

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

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

Le pouvoir de modélisation de cette méthode est très riche, mais demande en contrepartie une grande maîtrise du processus de modélisation de la part de l'analyste qui doit en être expert.[8]

### **I.8.2. Analyse des Modes de Défaillances de leur Effets et de leur Criticité (AMDEC)**

L'AMDEC est une analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité. C'est une technique d'analyse qui part de l'examen des causes possibles de défaillance des éléments d'un système pour aboutir aux effets de ce système. Cette méthode peut s'appliquer à un produit, mais aussi à un procédé ou à un moyen de production. [16]

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

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

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

### **I.8.3. Méthode des arbres de défaillances (ADD)**

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

L'analyse peut être uniquement qualitative, par recherche systématique des combinaisons minimales de défaillances entraînant l'apparition de l'événement redouté (coupes minimales) afin d'identifier les chemins les plus critiques, et donc d'identifier les points faibles du système, ou quantitative ; dans ce cas, on assigne à chaque événement de base une indisponibilité pour effectuer le calcul de la valeur d'indisponibilité de l'événement redouté. [16]

## **I.9. 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. les réseaux des files d'attentes sont le sujet du prochaine chapitre.

## ***CHAPITRE II***

### ***Généralité sur les réseaux des files d'attente***

## II.1.Introduction

Le problème des files d'attente est constaté couramment dans notre vie quotidienne : en bus, en supermarché, chez un médecin, ....., etc. Ce phénomène a lieu dans les étapes suivantes :

- Un ensemble d'individus, qu'on appelle clients, viennent suivant un processus quelconque (le plus souvent aléatoire) acquérir un service auprès d'un notre individu dit serveur.
- Le processus d'attente, ou la constitution de la file commence à se manifester dès que le taux des arrivées excède le taux de service (par taux, on entend le nombre moyen des clients arrivants ou servis par unité de temps).
- La file d'attente peut ne pas se manifester de façons : on peut parler d'une file des machines en panne dans un atelier qui attendent la préparation, ou d'une file des bateaux qui attendent le déchargement devant un quai, ou aussi d'un ensemble des programmes qui attendent l'acquisition d'une composante de la machine,.....etc.

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

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

- La théorie des files d'attente fut développée pour fournir des modèles permettant de prévoir le comportement des systèmes répondant à des demandes aléatoires.
- Les premiers problèmes étudiés concernaient la congestion du trafic téléphonique (Erlang, « the théorie of probabilités and téléphone conversations », 1909) , Erlang constata qu'un système téléphonique peut être modélisé par des arrivées des clients poissonniennes et des temps de service exponentiels. [10]

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

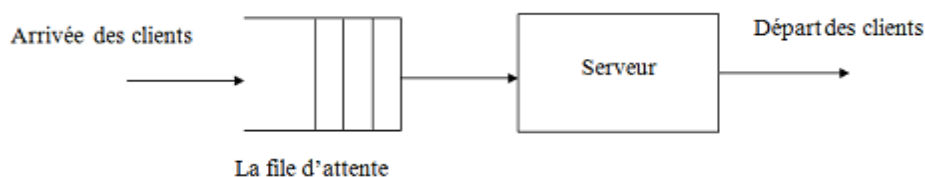


Figure II.1. Système à un seul serveur [6]

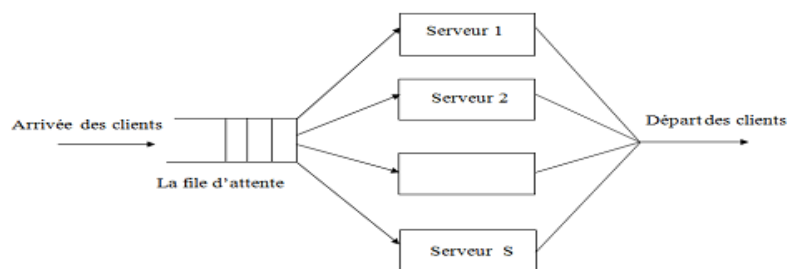


Figure II.2. Système multiserveurs (S serveur en parallèles) [6]

**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 limité de clients est autorisé à séjourner dans la file.

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

Il est surprenant d'apprendre que des files d'attente se forment même dans les systèmes non congestionnés. L'expression clé est « en moyenne ». Le problème vient du fait que les arrivées des clients ont lieu à intervalles aléatoire plutôt qu'à intervalles fixe. De plus, certaines commandes requièrent un temps de traitement plus long. En d'autres termes, les processus d'arrivée et de service ont un degré de variabilité élevé. Par conséquent, le système est soit temporairement congestionné, ce qui crée des files d'attente, soit vide, parce qu'aucun client ne se présente. [18]

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

L'objectif de l'analyse des files d'attente est de minimiser le coût total, qui équivaut à la somme de deux coûts : le coût associé à la capacité de service mise en place (coût de service) et le coût associé à l'attente des clients (coût d'attente). Le coût de service est le coût résultant du maintien d'un certain niveau de service, par exemple le coût associé au nombre de caisses dans un supermarché, au nombre de réparateurs dans un centre de maintenance, au nombre de guichets dans une banque, au nombre de voies d'une autoroute, etc. En cas de ressources inoccupées, la capacité est une valeur perdue, car elle est non stockable. Les coûts d'attente sont constitués des salaires payés aux employés qui attendent pour effectuer leur travail (mécanicien qui attend un outil, chauffeur qui attend le déchargement du camion, etc.), du coût de l'espace disponible pour l'attente (grandeur de la salle d'attente dans une clinique, longueur d'un portique de lave-auto, kérosène consommé par les avions qui attendent pour atterrir) et, bien sûr, du coût associé à la perte de clients 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 II.4 illustre bien ce concept. Notez que lorsque la capacité de service augmente, le coût de service augmente. Par souci de simplicité, nous avons illustré un coût de service linéaire. Cela n'affecte en rien la démonstration. Lorsque la capacité de service augmente, le nombre de clients en attente et le temps d'attente tendent à diminuer, donc les coûts d'attente diminuent. Le coût total (la somme des coûts de service et d'attente) est représenté sur le graphique par une courbe en forme de U. Graphiquement, il suffit de déterminer le niveau de service se traduisant par le coût total minimum. (Contrairement au modèle de la quantité économique utilisé dans la gestion des stocks, le minimum n'est pas nécessairement atteint au point d'intersection de la droite et de la courbe.)

Dans le cas d'une clientèle externe à l'entreprise, les files d'attente donnent une image négative de la qualité du service offert. Dans cette situation, les entreprises auront tendance à augmenter la rapidité du service plutôt que d'augmenter le nombre d'employés. Le fait d'abaisser le coût d'attente aura pour effet de déplacer vers le bas la courbe en U, qui représente le coût total. [18]

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

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

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

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

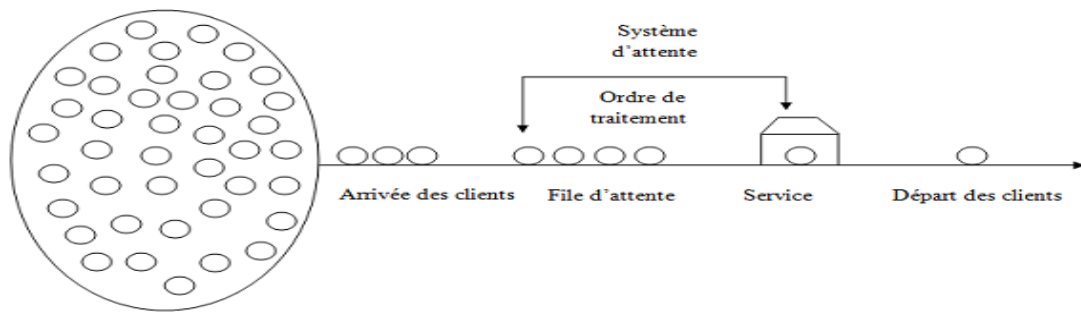


Figure. II.3. système de file d'attente simple [18]

### II.5.1. La population

La population c'est la source des clients potentiels : il y a deux situations possibles. Dans le premier cas, la population est infinie, c'est-à-dire que le nombre potentiel des clients est infiniment grand en tout temps. C'est le cas des clients des supermarchés, des banques, etc. De plus, les clients proviennent de toutes les régions possibles. Dans la deuxième situation, la population est finie, ce qui signifie que le nombre des clients potentiels est limité. [18]

### II.5.2. Le nombre de serveur

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

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

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

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

Les files d'attente résultent de la variabilité des tendances d'arrivée et de service. Elles se forment parce que le degré élevé de variation dans les intervalles entre les arrivées et dans les temps de service cause des congestions temporaires. Dans plusieurs cas, on peut représenter ces variations par des distributions théoriques des probabilités. Dans les principaux modèles utilisés. [19]

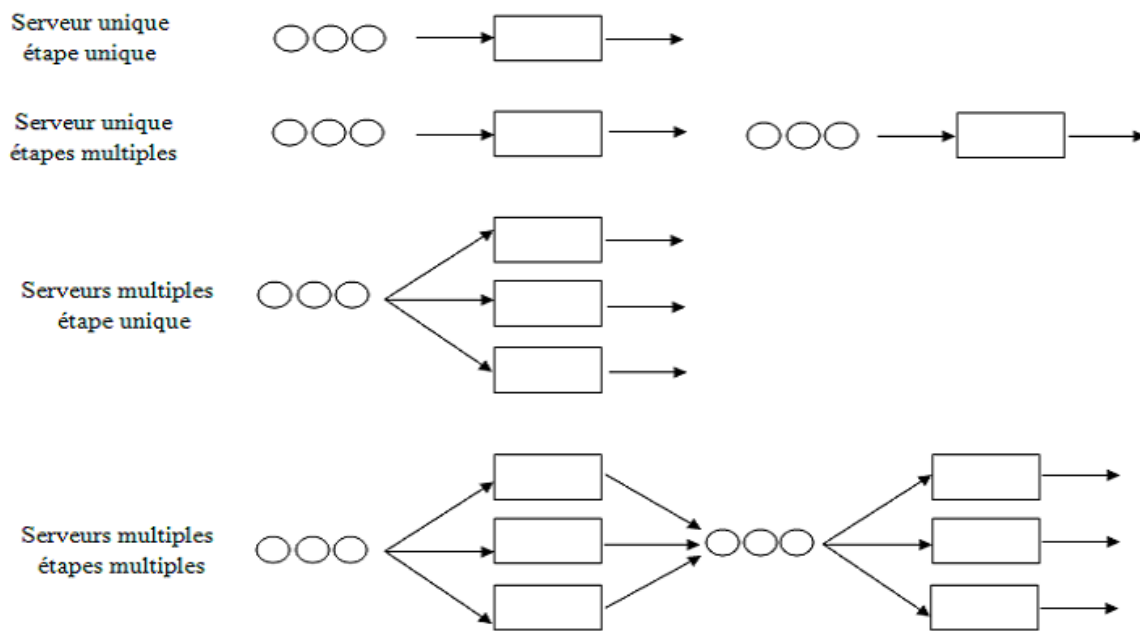


Figure .II.4. Illustration des deux distributions [19]

#### II.5.4. Les clients

C'est l'ensemble des objets ou personnes qui arrivent dans le processus, attendent s'il y a lieu, sont traités et repartent. [20]

#### II.5.5. Les instants d'arrives

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

#### II.5.6. La station

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

#### II.5.7. La file d'attente

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

#### II.5.8. Le service

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

#### II.5.9. Le temps de service

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

#### II.5.10. Le temps d'attente

Le temps pendant lequel un client est obligé d'attendre dans la file avant de se faire servir. [20]

## II.6. File d'attente simple

Une file simple (ou station) est un système constitué d'un ou plusieurs serveurs et d'un espace d'attente. Les clients arrivent de l'extérieur, patientent éventuellement dans la file d'attente, reçoivent un service, puis quittent la station. Afin de spécifier complètement une file simple, on doit caractériser le processus d'arrivée des clients, le temps de service ainsi que la structure et la discipline de service de la file d'attente. [21]

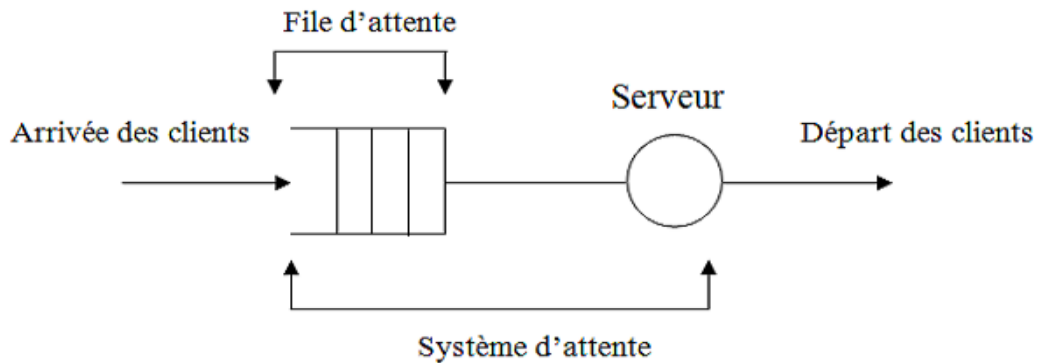


Figure. II.5.Système d'attente [21]

### II.6.1. Processus d'arrive

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

Le modèle le plus simple et le plus courant plus celui des arrivées complètement aléatoire, ce qui est caractérisé par le processus de poisson. [6]

### II.6.2. Temps de service

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

du  $n^{\text{ième}}$  client (temps séparant le début et la fin du service).

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

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

On note  $\mu$  le taux de service.

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

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

Cependant, la propriété « sans mémoire » de la loi exponentielle fait que celle-ci n'est généralement pas très réaliste pour modéliser les phénomènes réels. On est donc souvent obligé de recourir à d'autres distributions de service. [21]

### **II.6.3. Structure et discipline de la file**

#### **II.6.3.1. Nombre de serveur**

Le nombre de serveurs indique le nombre maximal d'exécutions en parallèle du même service. Dans un système de file d'attente multiserveur, les clients qui arrivent se placent dans une seule file d'attente. Chaque fois qu'un serveur est libéré, un client en attente dans la file entre en service. Les temps de service des serveurs sont généralement indépendants et identiquement distribués. [22]

#### **II.6.3.2. Capacité de la file**

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

#### **II.6.3.3. Discipline de service**

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

- FIFO (first in, first out) ou FCFS (first come first served) ou PAPS (premier arrivé, premier servi) : c'est la file standard dans laquelle les clients sont servis dans leur ordre d'arrivée. Notons que les disciplines FIFO et FCFS ne sont pas équivalentes lorsque la file contient plusieurs serveurs. Dans la première, le premier client arrivé sera le premier à quitter la file alors que dans la deuxième, il sera le premier à commencer son service. Rien n'empêche alors qu'un client qui commence son service après lui, dans un autre serveur, termine avant lui. En français, le terme PAPS comporte une ambiguïté, puisqu'il ne peut différencier une file "premier arrivé, premier servi" d'une file "premier arrivé, premier sorti".
- LIFO (last in, first out) ou LCFS (last come, first served) ou DAPS (dernier arrivé, premier servi). Cela correspond à une pile, dans laquelle le dernier client arrivé (donc pose sur la pile) sera la première traite (retiré de la pile). A nouveau, les disciplines LIFO et LCFS ne sont équivalentes que pour une file mono-serveur
- RANDOM (aléatoire) Le prochain client qui sera servi est choisi aléatoirement dans la file d'attente :
- Round-Robin (cyclique). Tous les clients de la file d'attente entrent en service à tour de rôle, effectuant un quantum  $Q$  de leur temps de service et sont replacés dans la file, jusqu'à ce que leur service soit totalement accompli. Cette discipline de service a été introduite afin de modéliser des systèmes informatiques ;
- PS (Processor Sharing). C'est le cas limite de la distribution Round-Robin lorsque le quantum de temps  $Q$  tend vers 0. Tous les clients sont servis en même temps, mais avec

une vitesse inversement proportionnelle au nombre de clients simultanément présents. Si le taux du serveur est égal à  $\mu$  et qu'à un instant donné il y a  $n$  clients à la station, tous les clients sont donc servis simultanément avec un taux  $\mu/n$  (Attention, dire que les  $n$  clients sont servis simultanément ne signifie absolument pas qu'ils seront libérés simultanément). [21]

#### II.6.4. Notations de Kendall

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

T : distribution d'inter arrivée

Y : distribution de service

C : nombre de serveurs

K : capacité de la file

m : population des usagers

Z : discipline de service.

Lorsque les trois derniers éléments de la notation de Kendall ne sont pas précisés, il est sous-entendu que  $K = +\infty$ ,  $m = +\infty$ , et  $Z = \text{FIFO}$ . Le paramètre  $m$  précise le nombre maximum d'usagers susceptibles d'arriver dans la file, cette dernière étant "plongée" dans un monde fermé contenant  $m$  clients. [6]

#### II.6.5. Notion de classes de clients

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

- des processus d'arrivée différents ;
- des temps de service différents ;

### II.7. Les réseaux de file d'attente

Un réseau des files d'attente est constitué de systèmes de file d'attente interconnectés. Les clients circulent entre les différents systèmes des files. Les réseaux des files d'attente sont bien adaptés pour la modélisation des interactions entre les différentes ressources d'un système de production, de stockage, de communication ou d'information. Soit  $M$  le nombre de stations du réseau. [22]

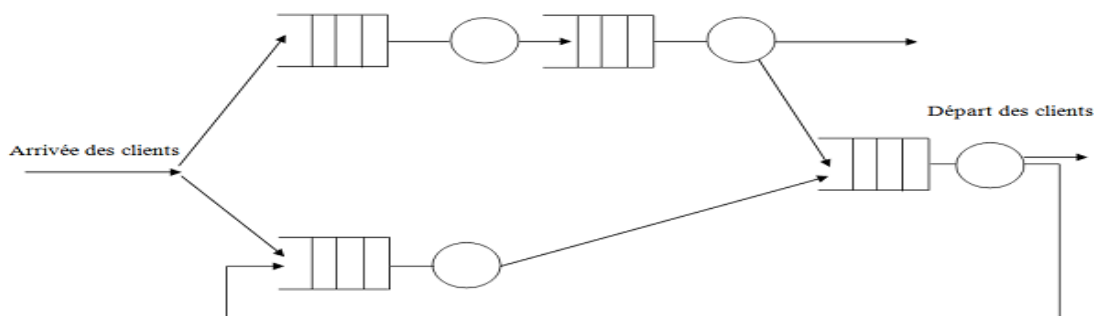


Figure. II.6.Ensembles de M stations inter connectées [23]

### II.7.1. Les réseaux ouverts

Dans un réseau de file d'attente ouvert, les clients arrivent de l'extérieur, circulent dans le réseau à travers les différentes stations, puis quittent le réseau. Le nombre de clients pouvant se trouver à un instant donné dans un réseau ouvert n'est donc pas limité. Afin de spécifier complètement un réseau ouvert, il faut bien sûr caractériser chaque station, mais également le processus d'arrivée des clients et le routage (cheminement) des clients dans le réseau. [19]

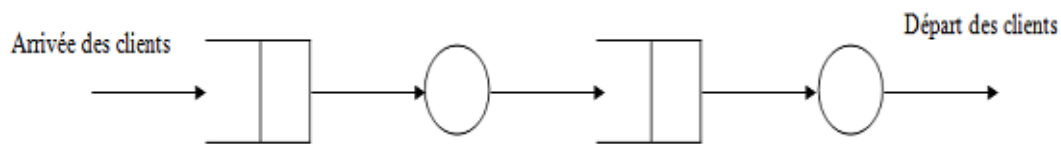


Figure. II.7. Réseau ouvert des files d'attente [19]

#### II.7.1.1. Processus d'arrive

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

#### II.7.1.2. Routage des clients

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

Il existe cependant d'autres types de routages :

- le routage vers la file la plus courte (routage dynamique) : un client quittant une station choisira, parmi toutes les destinations possibles, la station qui comporte le moins de clients ;
- le routage cyclique (routage déterministe) : les clients quittant une station choisiront à tour de rôle chacune des stations parmi toutes les destinations possibles. [19]

### II.7.2. Les réseaux fermés

Dans un réseau de files d'attente fermé, les clients sont en nombre constant. Soit  $N$  le nombre total de clients du système. Il n'y a donc pas d'arrivée ni de départ de clients. La spécification d'un réseau fermé se réduit donc à celle des différentes stations et à celle du routage des clients.[19]

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

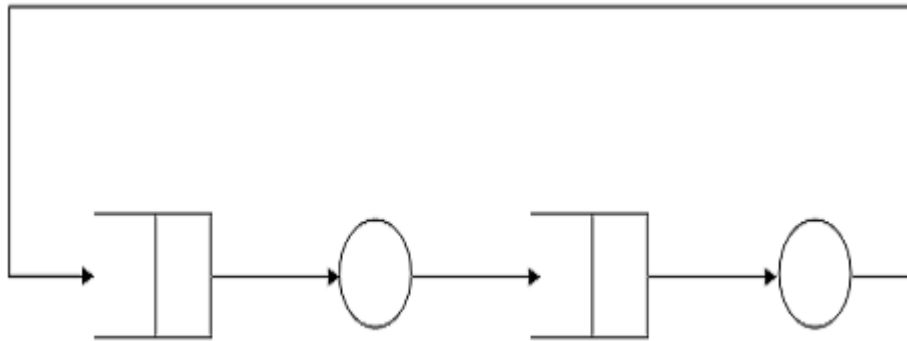


Figure. II.8 .Réseau fermé des files d'attente [22]

### II.7.3. Les réseaux multi classes

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

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

On est alors amené à caractériser pour chaque classe  $r$  :

- pour un réseau ouvert, le processus d'arrivée (pour un processus d'arrivée poissonnier, il suffit alors de donner le taux d'arrivée  $\lambda_r$  des clients de classe  $r$ ) ;
- pour un réseau fermé, le nombre total  $N_r$  de clients de classe  $r$  ;
- le routage de clients. Si on se limite aux routages probabilistes, on définit  $P_{rij}$  la probabilité pour qu'un client de classe  $r$  qui quitte la station  $i$  se rende à la station  $j$ . (Si  $i$  ou  $j$  est égal à 0, cela fait la différence à l' "extérieur" d'un réseau ouvert.). [19]

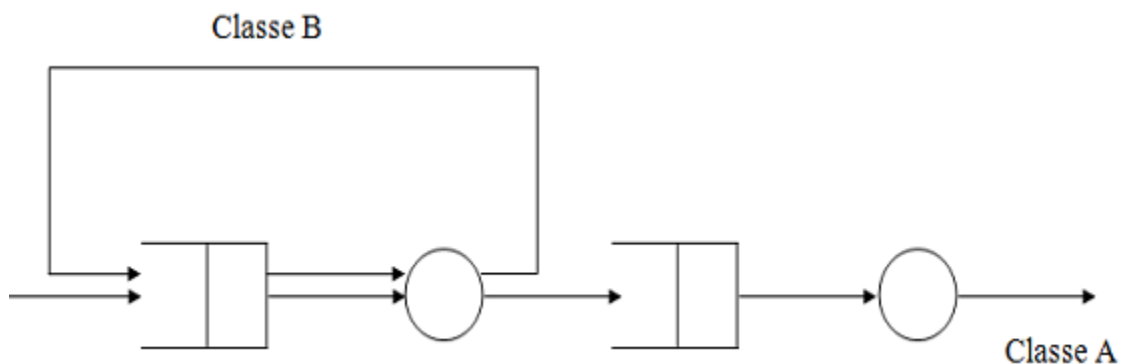


Figure. II.9.Réseau mixte des files d'attente [22]

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

Les différentes stations du réseau peuvent avoir des capacités limitées. Lorsqu'une file est pleine, plus aucun client ne peut y entrer. Cela introduit des blocages dans les autres stations amont et éventuellement des pertes de clients à l'entrée du système (si celui-ci est ouvert). [10]

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

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

Dans un mécanisme de blocage après service (ou blocage de type système de production), un client commence sans attendre son service dès l'instant où le serveur est disponible. Ce n'est qu'à la fin de son service qu'un blocage peut survenir. Si la station de destination est pleine, le client reste au niveau du serveur qui se trouve alors bloqué, jusqu'à ce qu'une place se libère en aval. [19]

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

Certains réseaux de files d'attente, bien qu'étant des modèles ouverts, peuvent être soumis à une limite supérieure sur le nombre total de clients pouvant s'y trouver simultanément. Cette "contrainte de population" implique que le réseau n'est ni réellement un modèle ouvert, puisque le nombre de clients qui peuvent s'y trouver est limité, ni réellement un réseau fermé, puisque le nombre total de clients dans le système n'est pas constant. On parlera de "modèle ouvert à contrainte de population". Lorsqu'un client arrive dans le réseau alors que celui-ci est plein (la contrainte de population est atteinte), deux cas peuvent être envisagés. Soit le client est "rejeté", ce qui rejoint le modèle de la section précédente, soit le client est "mémorisé" et se place en attente dans une file externe (généralement FIFO). Par la suite, on ne s'intéressera qu'au cas où le client est mémorisé.[10]

Un système ouvert à contrainte de population est souvent modélisé à l'aide d'un formalisme de type "sémaphore". Une file de "jetons" contenant initialement  $N$  jetons est alors associée à la file externe des clients. Lorsqu'un client arrive alors qu'il reste un jeton de libre, il prend le jeton et entre instantanément dans le système. Il conserve alors le jeton pendant tout son séjour dans le système et le libère dès qu'il quitte le système. Le jeton revient alors instantanément dans la file des jetons et devient à nouveau disponible pour un autre client. Lorsqu'un client arrive alors qu'il n'y a aucun jeton de libre, il se place dans la file externe (des clients) en attente de libération d'un jeton. Le nombre initial  $N$  de jetons impose donc une limite supérieure sur le nombre total de clients pouvant se trouver simultanément dans le système. [10]

## II.8. Files d'attente markoviennes

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

### II.8.1. La file M/M/1

Cette file est caractérisée par une arrivée poissonnienne de taux  $\lambda$  et une durée de service exponentielle de taux  $\mu$ . [19]

On pose  $\rho = \lambda/\mu$ .

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

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

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

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

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

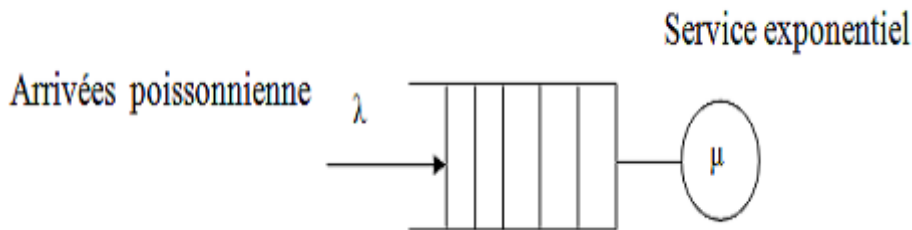


Figure. II .10. La file M/M/1[24]

#### ♣ Débit d[19]

Ici  $d = \lambda$  car  $\lambda_n = \lambda$  pour tout  $n \geq 0$ . Une autre façon de voir les choses est de remarquer que le Service s'effectue avec un taux  $\mu$  dans chaque état où le système contient au moins un client :

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

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

#### ♣ Taux d'utilisation du serveur U

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

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

#### ♣ Nombre moyen de clients L

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

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

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

♣ Temps moyen de se jour W

Ce paramètre est obtenu en utilisant la loi de Little :

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

Qui peut se décomposer en :

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

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

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

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

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

II.8.2. La file M/M/1/K

On considère un système à serveur simple identique à la file M/M/1 excepté que la capacité de la file d'attente est finie. On a donc toujours les hypothèses suivantes : le processus d'arrivée des clients dans la file est un processus de Poisson de taux  $\lambda$  et le temps de service d'un client est une variable aléatoire exponentielle de taux  $\mu$ . Soit K la capacité de la file d'attente : c'est le nombre maximal des clients qui peuvent être présents dans le système, soit en attente, soit en service. Quand un client arrive alors qu'il y a déjà K clients présents dans le système, il est perdu. [19]

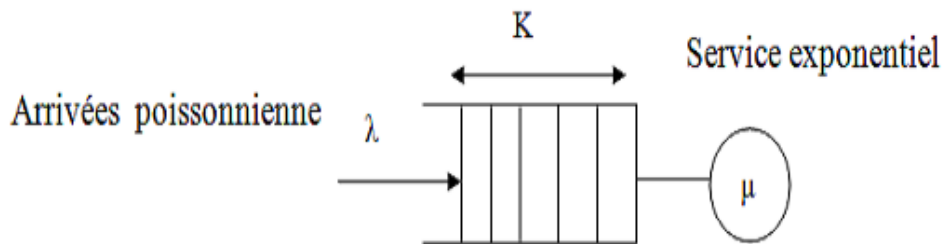


Figure. II .11. La file M/M/1/K [24]

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

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

L'intégration de l'équation récurrente permettant de calculer  $\pi_n$  se fait alors comme suit :

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

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

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

♣ **Débit d**

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

Soit en mesurant le taux de départ des clients en sortie du serveur,  $d_s$ , soit en mesurant le taux d'arrivée effectif des clients acceptés dans le système  $d_e$ . On s'attend bien sûr à obtenir l'égalité de ces deux débits. [10]

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

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

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

$$d_e = \text{Proba}(\text{ [ file non pleine aux instants d'arrivée ] }) \lambda = \sum_{n=0}^{K-1} \pi_n \lambda = [1 - \pi_K] \lambda = \frac{1 - \rho^K}{1 - \rho^{K+1}} \lambda \text{ (II.15)}$$

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

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

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

♣ **Taux d'utilisation du serveur U(K)**

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

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

Remarquons que, lorsque  $K \rightarrow +\infty$   $U(K)$  tend vers  $\rho$  si  $\rho < 1$  et vers 1 si  $\rho > 1$ . [5]

Symbole	Signification
<b>P</b>	Taux d'utilisation du système
$\bar{n}_f$	Nombre moyen de clients qui attendent d'être servis
$\bar{n}$	Nombre moyen de clients dans le système (clients qui attendent et clients qui sont en train d'être servis)
$\bar{T}_n$	Temps moyen d'attente en file
$\bar{T}$	Temps moyen d'attente dans le système
<b>P<sub>0</sub></b>	Probabilité qu'il y ait zéro unité (client) dans le système
<b>P<sub>n</sub></b>	Probabilité qu'il y ait n unités (clients) dans le système

Tableau. II.1. symboles (modèle avec population infinie) [6]

### II.8.3. Les relations de base [19]

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).

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

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

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

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

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

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

## II.9. Conclusion

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

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

L'utilisation des théories des réseaux de files d'attente dans les systèmes de production permet de déterminer les différentes chronologies de la production qui ouvre la possibilité de planifier les travaux d'entretien. qui sera présenté dans le troisième chapitre.

### ***CHAPITRE III***

## ***Evaluation de la fiabilité et de la disponibilité par les files d'attente***

### III.1.Introduction:

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

### III.2.Rappelle des notion de base en fiabilité:

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

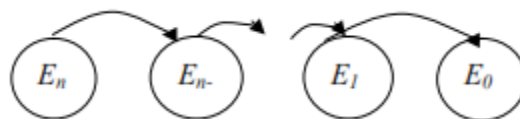
- ♣ Systèmes non réparables.
- ♣ Systèmes réparables

#### III.2.1.Système non réposables

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

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

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



. Figure III.1 Graphe d'état pour système non réposable[27]

### III.2.2. Système réparables

Pour ce genre de systèmes, l'occurrence d'un bris est généralement suivie d'une série d'activités d'entretien. A titre d'exemples, on cite: le diagnostic, l'affectation des ressources pour effectuer les réparations, la commande des pièces de rechange, les tâches de-réparation, les tests fonctionnels et la remise en service. Cette liste n'est pas exhaustive. Dans certaines conditions, d'autres activités peuvent se rajouter comme les délais administratifs. Non seulement les défaillances qui nécessitent des efforts d'entretien, mais aussi les activités de maintenance préventive et les réfections. Pour les systèmes réparables, on convient d'utiliser la disponibilité comme indicateur de performance par rapport au temps. Dans certaines configurations où les machines opèrent selon des structures parallèles, l'utilisation de la fiabilité pour mesurer la performance du système est aussi indiquée[27].

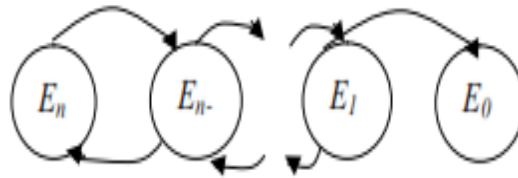


Figure III.2 Graphe d'état pour système réparable[27]

### III. 3. Outils de modélisation :

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

- Chaînes de Markov.
- Files d'attente.

D'autres techniques sont aussi utiles mais moins populaires. On cite notamment la programmation linéaire [64]. Un modèle hybride utilisant l'approche par programmation linéaire est présente au niveau[27]

### III.4 .Objectif du modèle:

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

### III.5.Hypothèses de travail :

- 5.1. discipline de service, premier arrive, premier servi, (PAPS)
- 5.2. arrivées selon un processus de Poisson

#### 5. 2.1 Processus de Poisson

Supposons que le processus des arrivées obéisse aux règles suivantes: La probabilité d'une arrivée dans un intervalle  $[t, t + \Delta t]$  ne dépend pas de ce qui s'est passé avant l'instant  $t$ . C'est la propriété dite "sans mémoire" [26].

La probabilité d'apparition d'une demande est proportionnelle à  $\Delta t$ , la probabilité de plus d'un événement étant "négligeable" (infiniment petit d'ordre supérieur). Le coefficient de proportionnalité est noté  $\lambda$  (intensité du processus).

La probabilité d'observer «  $k$  » arrivées dans un intervalle de longueur «  $t$  » vaut [26]:

### 5.2.2 Processus des Services

Le processus de service pourra être d'une complexité extrême, mais on se borne le plus souvent à supposer que chaque durée de service est indépendante des autres, et qu'elles obéissent toutes à une même loi de distribution: on parle de variables indépendantes et identiquement distribuées. On décrira cette loi par sa distribution de probabilité [26] :

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

### 5.3. temps de service suit une distribution exponentielle

#### 3.1 La loi exponentielle

La loi de service la plus populaire est la loi exponentielle, qu'il est traditionnel d'écrire en utilisant comme "taux de service" la lettre  $\mu$  [26]:

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

La densité correspondante est

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

### 5.4. capacité de stockage illimitée

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

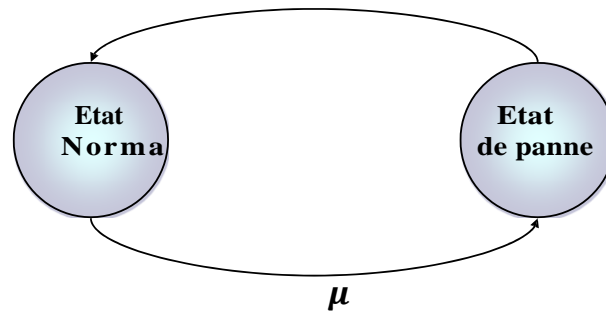
## III.6. Méthodologies dynamiques pour l'étude de la fiabilité

### III.6.1 chaîne de Markov

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

Cette méthode consiste à représenter le fonctionnement d'un système par un ensemble de composants pouvant se trouver dans un nombre fini d'états de fonctionnement et de panne. Un support graphique (le graphe des états) permet de visualiser les différents états

D'un système qui sont représentés par des cercles et reliés entre eux par des arcs orientés qui correspondent aux transitions (pannes et réparation) entre états. Pour un système à  $n$  composants, si chaque composant a deux états (fonctionnement et panne)



**Figure III.3** – Un modèle Markovien [28]

Pour réaliser cette analyse, il faut tout d'abord recenser tous les états du système, les classer en états de fonctionnement ou en états de panne. Ensuite, il est nécessaire de chercher comment passer d'un état à un autre lors d'un dysfonctionnement ou d'une réparation. A chaque transition de l'état  $E_i$  vers l'état  $E_j$ , un taux de transition  $L_{ij}$  est associé qui est défini de telle façon que  $L_{ij}.dt$  est égal à la probabilité de passer de  $E_i$  vers  $E_j$  entre deux instants très proches  $t$  et  $t + dt$  sachant que l'on est à l'instant  $t$  en  $E_i$ . Enfin, la dernière étape consiste à calculer la probabilité de se trouver dans les différents états au cours d'une période de vie du système ainsi que de calculer les caractéristiques de sûreté de fonctionnement (MTTF, MTBF, MTTR, etc.) [Vill88].

A l'aide de la modélisation par les graphes de Markov, les dépendances temporelles et stochastiques sont plus largement prises en compte qu'avec les méthodes classiques. De plus, ils sont simples d'utilisation. Cependant, les graphes de Markov souffrent de l'explosion du nombre d'états car tous les états possibles et de toutes les transitions entre les états doivent être pris en compte dans le processus de modélisation. Cette limite peut se poser dans le cas de la modélisation de l'aspect dysfonctionnel uniquement, mais il devient un énorme handicap dans le cas où l'on souhaite ajouter la description de l'aspect fonctionnel à celui de l'aspect dysfonctionnel possible de s'orienter vers les réseaux Bayésiens ou les réseaux de Pétri. [30]

### III.7. Réseau de production:

Dans cette section, les réseaux de files d'attente sont exploités comme étant un outil de modélisation d'un système de production composé de plus d'un poste de travail. Jackson (1957) a été le premier à s'intéresser à ce problème. Un réseau de files d'attente est constitué d'un ensemble de files d'attente qui s'alimentent mutuellement. Nous pouvons distinguer deux types de réseaux, les réseaux ouverts et ceux dits fermes. [29].

#### III.7.1. La préparation du cru:

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

des matières premières

### III. 7.2. Le broyage du cru :

Un broyage très fin permet d'obtenir une farine crue. Une fois concassés, les matériaux subissent un pré-mélange dans des halls de pré-homogénéisation ce qui permet d'obtenir une plus grande régularité de composition, les matières premières doivent être finement broyées pour faciliter les réactions chimiques au cours de la cuisson dans le four. Ils sont ensuite séchés et broyés dans un broyeur (à boulets ou à galets) afin de réduire leur taille à quelques dizaines de microns. Le passage des gaz du four dans le broyeur permet le séchage de la matière et une captation partielle du soufre - SO<sub>2</sub> de ces gaz par la matière broyée. La poudre fine alors obtenue est appelée farine crue, d'où l'expression de broyeur à cru. (Figure III.4)[30].

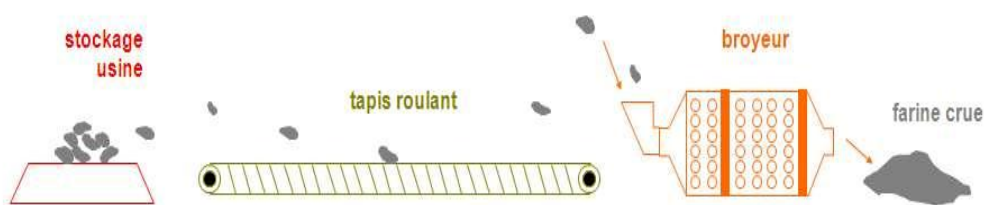


Figure III.4. Broyage cru [30].

### III.7. 1L'homogénéisation:

A la suite du broyage et après séparation, les matières premières sont transformées en une poudre de grande finesse appelée dans le jargon cimentier « Farine ». Cette farine doit présenter une composition chimique aussi constante que possible. Ces matières premières sont acheminées vers des silos dans lesquelles elles sont homogénéisées.

L'opération d'homogénéisation complète le processus de pré-homogénéisation préalable, elle permet d'obtenir un produit de caractéristiques chimiques uniformes qui permettent la fabrication d'un clinker de qualité constante. La préparation de matière première est maintenant achevée. [30].

#### III.7.2.2La cuisson des matières premières :

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

La farine est introduite sous forme de poudre dans une tour de préchauffage où la farine est préalablement chauffée par les gaz produits dans le four rotatif (phase de pré

calcination). Elle subit au cours de cette cuisson des réactions chimiques complexes : tout d'abord, le calcaire se décarbonate sous l'action de la chaleur à une température avoisinant les 900°C et se transforme en chaux, tandis que les argiles se décomposent en silicates et aluminates. L'ensemble se recombine ensuite à une température d'environ 1 450°C en silicates et aluminates de chaux. (Figure III.5) [30].

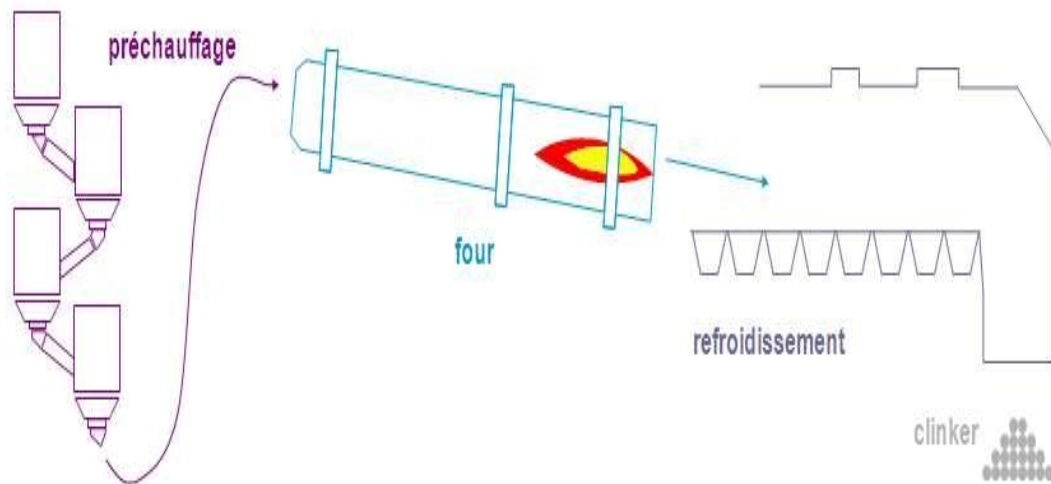


Figure III.5.Cuisson [30].

### III.8. Etude d'un système de production série composé de deux :

Soit un réseau de production (voir Figure II.10) ayant des arrivées poissonniennes, des temps de service exponentiels et une discipline de service premier arrive premier servi (PAPS).

$\lambda$  = Taux d'arrivée ( Taux de défaillance)

$\mu$  = représentent respectivement le taux de service ( Taux de réparation

### III.9. Etudes statistiques sur les Four01 ET Four01 :

#### ❖ Etudes statistiques sur les Four01

Tableau des heures de fonctionnement entre des pannes Tableau de four1 premier

line :

	2014		2015	
Les paramètre les moins	TBF	TR	TBF	TR
Janv.	567.12	176.88	667.22	76.78
févr.	668.38	3.61	126.50	18.75
Mars	214.00	5	738.3	190.63
Avril	640.25	8.75	699.65	18.48
Mai	706.35	29.56	663.69	176.50
juin	687.57	4.6	692.65	9.50
juillet	686.42	57.58	609.55	134.45
août	689.87	54.13	702.97	41.03
Septembre	560.23	22.26	658.45	61.55
Octobre	733.13	6.86	585.10	158.90
Nov.	646.27	60.16	688.02	31.98
Déc.	649.7	129.66	692.12	41.42
Totale	7570.55	559.1	7681.22	959.98

Tableau III. 1 Heures d'exploitation .[30]

### ❖ Etudes statistiques sur les Four02

Tableau des heures de fonctionnement entre des pannes Tableau de four2 premier line .

Les paramètre les moins	2014		2015	
	TBF	TR	TBF	TR
Janv.	720,83	12.97	-	-
févr.	643,05	3.08	661.10	7.18
Mars	720,82	14.97	720,72	7.62
Avril	409,45	10.55	628,43	89.15
Mai	742,52	1.48	425,77	54.23
juin	682,68	5.32	674,00	33.72
juillet	720,93	23.07	636,15	100.08
août	669,17	74.83	512,35	231.65
Septembre	246,92	-	665,12	54.88
Octobre	722,03	21.97	743,08	0.92
Nov.	713,00	7.00	281,75	4.22
Déc.	663,87	80.13	696,25	35.02
totale	7655.27	255.37	6644.72	618.67

Tableau III. 2. Heures d'exploitation.[30]

### III. 9. 1Utilisation de la théorie des files d'attente et la théorie de Markov pour la modélisation de la disponibilité et la fiabilité :

#### III. 9.1.1 Définition d'une chaîne de Markov homogène dans le temps :

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

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

$$\begin{aligned}
 & (\pi_0(t+1), \pi_1(t+1) \dots \pi_n(t+1)) \\
 = & (\pi_0(t), \pi_1(t), \dots \pi_n(t)) \begin{pmatrix} 1-\lambda & P_0\lambda & \lambda(1-P_0) \\ P_1\mu & 1-(\lambda+\mu) & P_1\lambda \\ \mu(1-P_2) & \mu P_2 & 1-\mu \end{pmatrix} \quad (III.2)
 \end{aligned}$$

que l'on écrit sous forme plus compacte :

$$\pi_n(t+1) = \pi_n(t)p \quad (III.3)$$

**III. 9.1.2. Evolution dans le temps du vecteur stochastique :**

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

$$\begin{aligned}
 \pi(1) &= \pi(0)p \\
 \pi(2) &= \pi(1)p^2 \\
 \pi(3) &= \pi(2)p^3
 \end{aligned}$$

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

$$\pi(t) = \pi(0)p^t \quad (III.4)$$

**III. 9.1.3. Distribution stationnaire :**

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

Suite  $(P)^n$  converge vers une matrice strictement positive  $p^\infty$  de la forme [31]:

$$p^\infty = \begin{pmatrix} p_1 & p_2 \dots & p_n \\ p_1 & p_2 \dots & p_n \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ p_1 & p_2 \dots & p_n \end{pmatrix} \quad (III.5)$$

$$p_1 + p_2 + \dots + p_n = 1 \quad (III.6)$$

De cette première étape, on déduit que la suite  $(\pi_n)$  converge vers une unique distribution de probabilités  $\pi$  indépendante de  $\pi_0$  et telle que  ${}^t\pi$  soit associée à la valeur propre 1 de la matrice  ${}^t p$  ( ${}^t p \times {}^t \pi$ ) la matrice  ${}^t p$  admet les mêmes valeurs propres avec les mêmes ordres de multiplicité que la matrice  $P$ . La valeur propre 1 étant simple, le sous-espace propre associé est de dimension 1 et est engendré par  ${}^t\pi$ . Comme  ${}^t p \times {}^t \pi = {}^t \pi$ , on a, pour tout entier naturel  $n$  (récurrence immédiate) :  $({}^t p)^n \times {}^t \pi = {}^t \pi$ , soit  ${}^t(p^n) \times {}^t \pi = {}^t \pi$  et enfin :  $\pi \times P^n$ . En passant à la limite, il vient :  $\pi \times P^\infty = \pi$  puis :  ${}^t(p^\infty) \times {}^t \pi = {}^t \pi$  [32].

**III. 9.2. Représentation graphique des chaînes de Markov :**

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

- ✓ ses sommets sont les états de E,
- ✓ il y a un arc du sommet i vers le sommet j si  $p_{i,j} > 0$
- ✓ l'évaluation de l'arc  $i \rightarrow j$  est la probabilité de transition  $p_{i,j}$

Une chaîne de Markov peut alors être vue comme une marche aléatoire sur le Graphe G : on tire aléatoirement x réalisation de X selon la loi, on puis de x tire x (réalisation de X) selon les probabilités de transition des arcs issus de x, etc.[33]

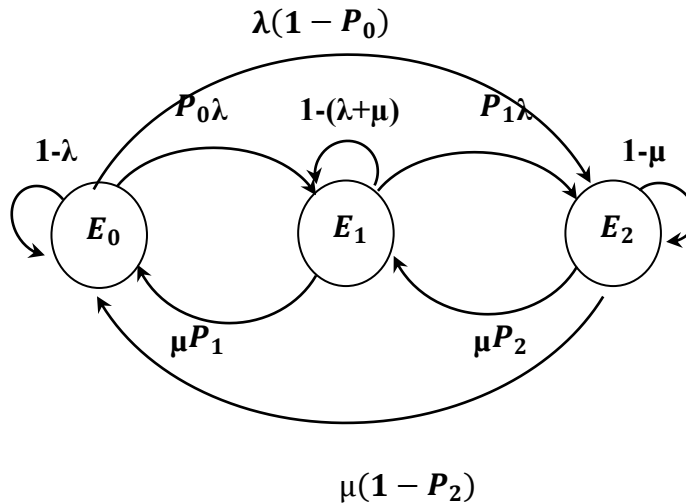


Figure III.7 Graphe G des états de la disponibilité

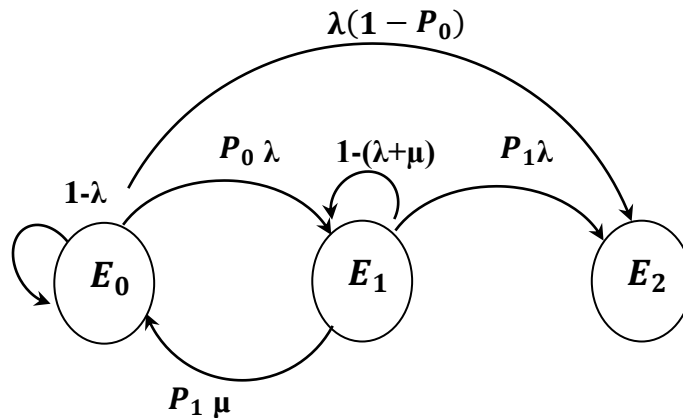


Figure III.8 Graphe G des états de la fiabilité

- Le premier état (**p0**) représente une absence de panne.
- Le trozi état (**p2**) représente une défaillance totale de système.

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

### III. 9.3. Calcul Paramètres de la FOUR 01 :

Le traitement des données recueillies sur Usine Che Lafarge Ciment M'sila ( voir 2annexe) a permis de calculer les indices suivants de fiabilité des FOUR 01 installées :

Taux de défaillance  $\lambda$

$$MTBF = \frac{\sum TBF}{N} = 609.34 \text{ h} \quad \lambda = \frac{1}{MTBF} = 0.0016h^{-1} \quad (\text{III.7})$$

Taux de réparation

$$MTTR = \frac{\sum TR}{N} = 63.30h \quad \mu = \frac{1}{MTTR} = 0.0157h^{-1} \quad (\text{III.8})$$

### III. 9.3. 1. Etapes d'analyse des réseaux ouverts de files d'attente de FOUR01 :

La file M/M/1 :

#### ♣ Taux d'utilisation du serveur U :

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

$$\mu = \sum_{n=1}^{+\infty} \pi_n = 1 - \pi_0 = \rho = \frac{\lambda}{\mu} = 0.1066 \quad (\text{III.9})$$

#### ♣ Nombre moyen de clients L :

$$L = \frac{\rho}{1-\rho} = 0.1157 \quad (\text{III.10})$$

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

$$L_q = \lambda W_q = \frac{\rho^2}{1-\rho} = 0.0101 \quad (\text{III.11})$$

#### ♣ Temps moyen de sejour W :

Ce paramètre est obtenu en utilisant la loi de Little :

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

Qui peut se décomposer en :

$$W = \frac{1}{\mu} + \frac{\rho}{\mu(1-\rho)} = 73.0924 \quad (\text{III.12})$$

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

$$W_q = \frac{\rho}{\mu(1-\rho)} = 6.4257 \quad (\text{III.13})$$

#### ♣ Equation d'état du système :

Régime stationnaire

$$\lambda P_0 = \mu P_1 \quad (\text{III.13})$$

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

$$\begin{aligned}
 \lambda p_0 &= \mu P_1 + \lambda P_1 \\
 \lambda p_0 + 2\mu P_2 &= P_1 (\mu + \lambda) \\
 \lambda p_0 + 2\mu P_2 &= \frac{\lambda}{\mu} P_0 (\mu + \lambda) \\
 \mu P_2 &= \frac{\lambda}{\mu} P_0 (\mu + \lambda) - \lambda p_0 \\
 \mu P_2 &= P_0 \left[ \frac{\lambda}{\mu} (\mu + \lambda) - \lambda \right] \\
 P_2 &= \rho^2 P_0 \\
 &\vdots \\
 P_n &= \rho^n P_0
 \end{aligned}
 \tag{III.14}$$

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

$$\sum_{i=0}^{\infty} P_i = 1 \tag{III.15}$$

$$P_n = \rho^n P_0 \tag{III.16}$$

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

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

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

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

$$P_0 = 1 \Rightarrow P_0 = (1 - \rho) \tag{III.17}$$

♣ Application numérique

$$P_0 = (1 - \rho) = 0.8944 \tag{III.18}$$

$$P_1 = \rho P_0 = 0.0954 \tag{III.19}$$

$$P_2 = \rho^2 P_0 = 0.0101 \tag{III.20}$$

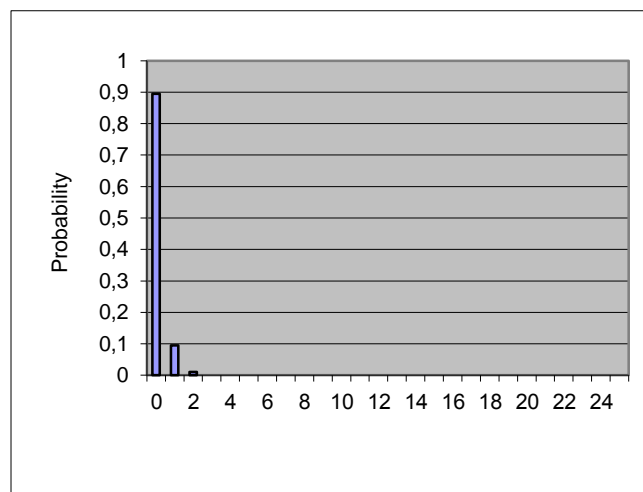


Figure III.9. Histogramme de Nombre de clients dans le système la disponibilité

III. 9.3. 2.Calcul la disponibilité et la fiabilité d'un système Four01 :

III. 9.3.2.1.Calcul de la disponibilité Four01 :

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

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

Conditions initiales :

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

Probabilité des pannes Après 2 année

$$(\pi_0, \pi_1, \pi_2)^2 = (1, 0, 0) \begin{pmatrix} 0.9984 & 0.0014 & 0.0001 \\ 0.0014 & 0.9827 & 0.0001 \\ 0.0155 & 0.0001 & 0.9843 \end{pmatrix}$$

$$(\pi_0, \pi_1, \pi_2)^2 = (0.9880 \quad 0.00140 \quad 0.0001)^1$$

Probabilité d'avoir n élément en panne		
$\pi_0$	$\pi_1$	$\pi_2$
0.9880	0.0014	0.0001

Tableau III .3. Probabilité de la disponibilité Après( 2) année

Conditions initiales :

$$(a_0, a_1, a_2) = (0.9880 \quad 0.00140 \quad 0.0001)$$

Probabilité des pannes Après 4 année

$$\pi_2 = \pi_1 \times P^2 \tag{III.21}$$

$$(\pi_0, \pi_1, \pi_2)^1 = (0.9880 \quad 0.0014 \quad 0.0001) \begin{pmatrix} 0.9984 & 0.0014 & 0.0001 \\ 0.0014 & 0.9827 & 0.0001 \\ 0.0155 & 0.0001 & 0.9843 \end{pmatrix}^2$$

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

probabilité des pannes Après N (5) Année ( n=10)

Dans le cas de régime stationnaire les équations de système l'équation sous forme matricielle de systèmes s'écrit:

$$\pi_n = \pi_{1-n} \times P^n \Rightarrow (\pi_n = \pi_{1-n})$$

Donc systèmes s'écrit:

$$\pi = \pi \times P^n \tag{III.22}$$

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

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

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

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

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

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

Probabilité d'avoir n élément en panne		
$\pi_0$	$\pi_1$	$\pi_2$
5.42%	0.88%	93.69%

**Tableau III .4.** Probabilité de la disponibilité Après( 10) année

**III. . 9.3.2.2..Calcul de la fiabilité Four01 :**

**♣ Equation d'état du système :**

Régime stationnaire

$$\lambda P_0 = \mu P_1$$

$$P_1 = \frac{\lambda}{\mu} P_0 \Rightarrow P_1 = \rho P_0 \tag{III.23}$$

$$P_2 = P_0 \lambda \tag{III.24}$$

$$P_0 = 1 - P_1 - P_2 \tag{III.25}$$

**♣ Application numérique**

$$\left. \begin{matrix} P_0 = 1 - P_1 - P_2 \\ P_1 = \rho P_0 \\ P_2 = \lambda P_1 \end{matrix} \right\} \Rightarrow P_0 = \frac{1}{1 + \rho(1 + \lambda)} \tag{III.26}$$

$$P_0 = \frac{1}{1 + \rho(1 + \lambda)} = 0.9035 \tag{III.27}$$

$$P_1 = \rho P_0 = 0.0963 \tag{III.28}$$

$$P_2 = \lambda P_1 = 0.0001 \tag{III.29}$$

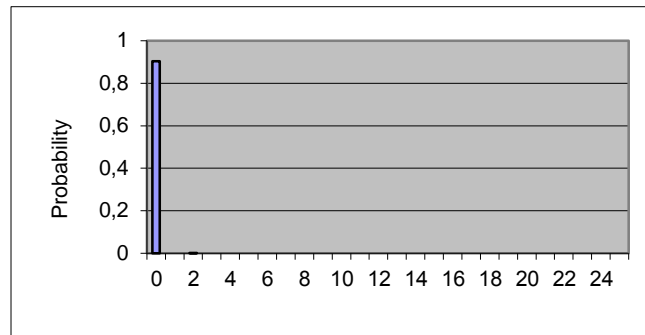


Figure III.10. Histogramme de Nombre de clients dans le système la fiabilité

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

$$P = \begin{pmatrix} 1 - \lambda & P_0 \lambda & \lambda(1 - P_0) \\ P_1 \mu & 1 - (\lambda + \mu) & P_1 \lambda \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.9984 & 0.0014 & 0.0001 \\ 0.0015 & 0.9827 & 0.0001 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

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

Probabilité des pannes Après 2 année

$$(\pi_0, \pi_1, \pi_2)^1 = (1, 0, 0) \begin{pmatrix} 0.9984 & 0.0014 & 0.0001 \\ 0.0015 & 0.9827 & 0.0001 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$(\pi_0, \pi_1, \pi_2)^1 = (0.9984, 0.0014, 0.0001)$$

Probabilité d'avoir n élément en panne		
$\pi_0$	$\pi_1$	$\pi_2$
0.9984	0.0014	0.0001

Tableau (III .5). Probabilité de la fiabilité Après 2 année

Conditions initiales : (0.9984 0.0014 0.0001)

$$(a_0, a_1, a_2) = (0.9984 \ 0.0014 \ 0.0001) \begin{pmatrix} 0.9984 & 0.0014 & 0.0001 \\ 0.0015 & 0.9827 & 0.0001 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}^2$$

Probabilité des pannes Après 4 année

$$\pi_2 = \pi_1 \times P^2 \tag{III.30}$$

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

probabilité des pannes Après N (5) Année ( n=10)

Dans le cas de régime stationnaire les équations de système l'équation sous forme matricielle de Systèmes s'écrit:

$$\pi_n = \pi_{1-n} \times P^n \Rightarrow (\pi_n = \pi_{1-n})$$

Donc Systèmes s'écrit:

$$\pi = \pi \times P^n \tag{III.31}$$

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

$$(\pi_0, \pi_1, \pi_2) = (\pi_0, \pi_1, \pi_2) \begin{pmatrix} 0.9984 & 0.0014 & 0.0001 \\ 0.0015 & 0.9827 & 0.0001 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}^5$$

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

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

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

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

Probabilité d'avoir n élément en panne		
$\pi_0$	$\pi_1$	$\pi_2$
1.29%	0.21%	98.49%

**Tableau III .6.** Probabilité de la fiabilité Après (10) Année

### III. 9.4. Calcul Paramètres la FOUR 02 :

Le traitement des données recueillies sur Usine Che Lafarge Ciment M'sila ( voir 2annexe) a permis de calculer les indices suivants de fiabilité des FOUR 02 installées :

Taux de défaillance  $\lambda$

$$MTBF = \frac{\sum TBF}{N} = 652.51h \qquad \lambda = \frac{1}{MTBF} = 0.0015h^{-1} \tag{III.32}$$

Taux de réparation

$$MTR = \frac{\sum TR}{N} = 38.00 \text{ h} \qquad \mu = \frac{1}{MTR} = 0,0263 h^{-1} \tag{III.33}$$

**III.9.4.1 Etapes d'analyse des réseaux ouverts de files d'attente. FOUR 02****La file M/M/1****♣ Taux d'utilisation du serveur U**

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

$$\mu = \sum_{n=1}^{+\infty} \pi_n = 1 - \pi_0 = \rho = \frac{\lambda}{\mu} = 0.05769 \quad (\text{III.34})$$

**♣ Nombre moyen de clients L**

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

$$L = \frac{\rho}{1-\rho} = 0.06065 \quad (\text{III.35})$$

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

$$L_q = \lambda W_q = \frac{\rho^2}{1-\rho} = 0.00314 \quad (\text{III.36})$$

**♣ Temps moyen de se jour W**

Ce paramètre est obtenu en utilisant la loi de Littré :

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

Qui peut se décomposer en :

$$W = \frac{1}{\mu} + \frac{\rho}{\mu(1-\rho)} = 40.5594 \quad (\text{III.37})$$

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

$$W_q = \frac{\rho}{\mu(1-\rho)} = 2.0979 \quad (\text{III.38})$$

**♣ Application numérique**

$$P_0 = (1 - \rho) = 0.9424 \quad (\text{III.39})$$

$$P_1 = \rho P_0 = 0.0543 \quad (\text{III.40})$$

$$P_2 = \rho^2 P_0 = 0.0031 \quad (\text{III.50})$$

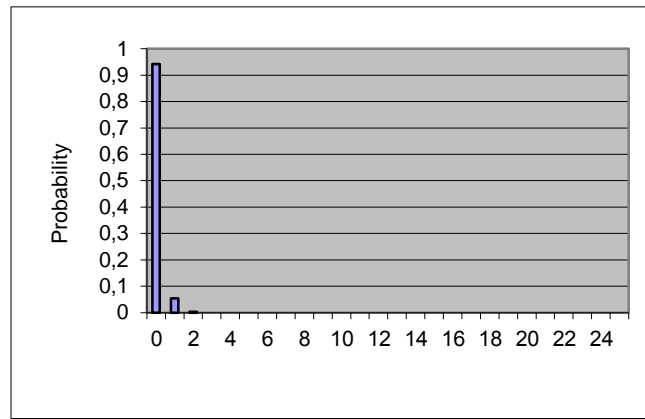


Figure III.11. Histogramme Nombre de clients dans le système la disponibilité.

**III.9.4.2. Calcul la disponibilité et la fiabilité d'un système Four02 :**

**III. 9.4.2.1 .Calcul de la disponibilité Four02 :**

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

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

Conditions initiales :

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

Probabilité des pannes Après 2 année

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

Probabilité d'avoir n élément en panne		
$\pi_0$	$\pi_1$	$\pi_2$
0.9983	0.0014	0.00008

Tableau .III .7. Probabilité de la disponibilité Après 2 année

Conditions initiales : (0.9983 0.0014 0.00008 )

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

Probabilité des pannes Après 4 année

$$\pi_2 = \pi_1 \times P^2 \tag{III.51}$$

$$(a_0, a_1, a_2) = (0.9949 \ 0.0040 \ 0.0002)$$

probabilité des pannes Après N (5) Année ( n=10)

Dans le cas de régime stationnaire les équations de système l'équation sous forme matricielle de systèmes s'écrit:

$$\pi_n = \pi_{1-n} \times P^n \Rightarrow (\pi_n = \pi_{1-n} \times)$$

Donc Systèmes s'écrit:

$$\pi = \pi \times P^n \tag{III.52}$$

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

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

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

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

$$\pi_j=(\pi_0, \pi_1, \pi_2)^1=(0.0369 \quad 0.0040 \quad 0.9590)$$

Probabilité d'avoir n élément en panne		
$\pi_0$	$\pi_1$	$\pi_2$
3.69%	0.40%	95.89%

**Tableau. III .8.**Probabilité de disponibilité (10) Après Année

**III.9.4.2.2 Calcul de la fiabilité FOUR 02 :**

♣ **Equation d'état du système**

Régime stationnaire

$$\lambda P_0 = \mu P_1 \tag{III.53}$$

$$P_1 = \frac{\lambda}{\mu} P_0 \Rightarrow P_1 = \rho P_0 \tag{III.54}$$

$$P_2 = \lambda P_0 \tag{III.55}$$

D'où la matrice de transition P

♣ **Application numérique**

$$\left. \begin{aligned} P_0 &= 1 - P_1 - P_2 \\ P_1 &= \rho P_0 \\ P_2 &= \lambda P_0 \end{aligned} \right\} \Rightarrow P_0 = \frac{1}{1 + \rho(1 + \lambda)} \quad (III.56)$$

$$P_0 = \frac{1}{1 + \rho(1 + \lambda)} = 0.9453 \quad (III.57)$$

$$P_1 = \rho P_0 = 0.0545 \quad (III.58)$$

$$P_2 = \lambda P_1 = 0.00008 \quad (III.59)$$

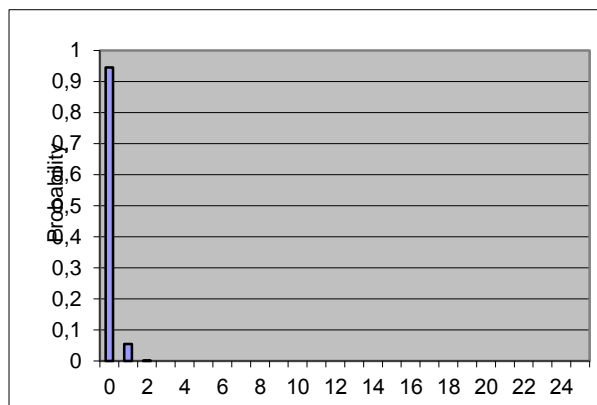


Figure III.12. Histogramme Nombre de clients dans le système la fiabilité

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

$$P = \begin{pmatrix} 1 - \lambda & P_0 \lambda & \lambda(1 - P_0) \\ P_1 \mu & 1 - (\lambda + \mu) & P_1 \lambda \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.9985 & 0.0014 & 0.00008 \\ 0.0014 & 0.9722 & 0.00008 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

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

Probabilité des pannes Après 2 année

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

Probabilité d'avoir n élément en panne		
$\pi_0$	$\pi_1$	$\pi_2$
0.9985	0.0014	0.00008

Tableau III .9. Probabilité de la fiabilité (2) Après Année

Conditions initiales :

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

Probabilité des pannes Après 4 année

$$\pi_2 = \pi_1 \times P^2 \tag{III.60}$$

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

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

probabilité des pannes Après N (5) Année ( n=10)

Dans le cas de régime stationnaire les équations de système l'équation sous forme matricielle de systèmes s'écrit:

$$\pi_n = \pi_{1-n} \times P^n \Rightarrow (\pi_n = \pi_{1-n})$$

Donc systèmes s'écrit:

$$\pi = \pi \times P^n \tag{III.61}$$

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

$$\begin{pmatrix} 0.9925 & 0.0018 & 0 \\ 0.0181 & 0.9585 & 0.000005 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}^5 = \begin{pmatrix} -0.0075 & 0.0066 & 0.00007 \\ 0.0066 & -0.1315 & 0.00007 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \Rightarrow$$

$$\begin{cases} -0.0075\pi_0 + 0.0066\pi_1 + 0.00007\pi_2 = \pi_0 \\ 0.0066\pi_0 - 0.1315\pi_1 + 0.00007\pi_2 = \pi_1 \\ \pi_0 + \pi_1 + \pi_2 = 1 \end{cases}$$

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

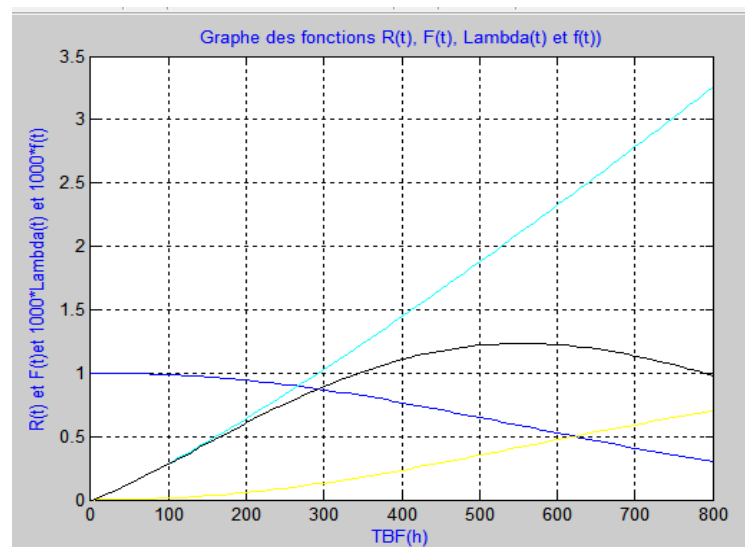
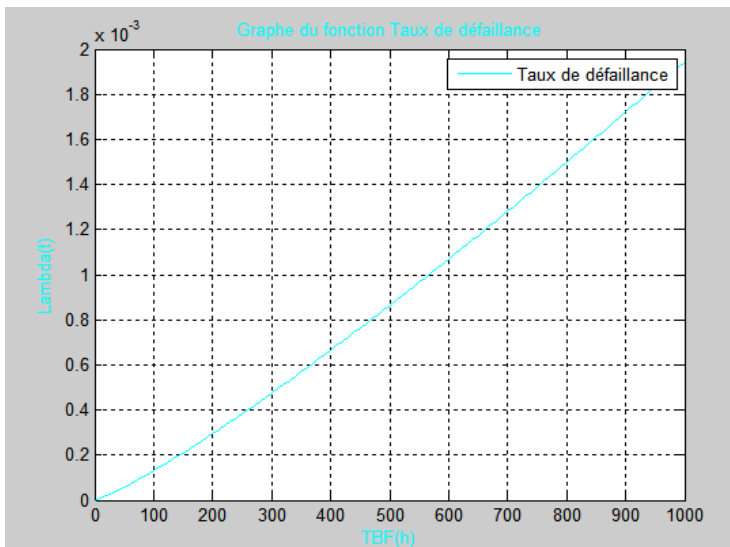
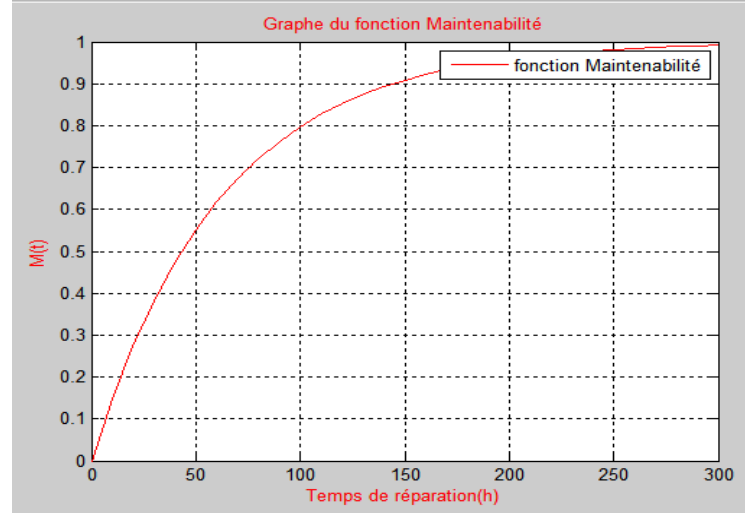
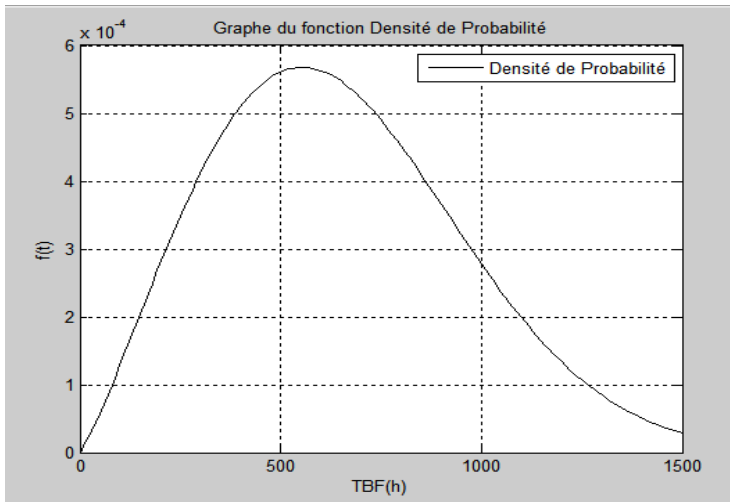
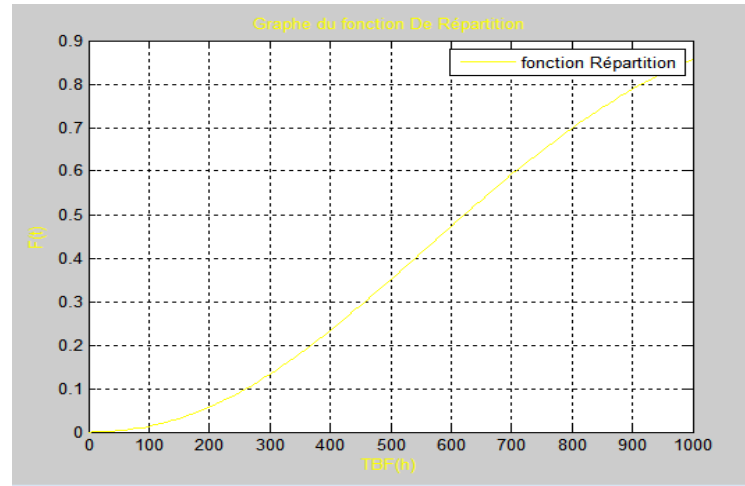
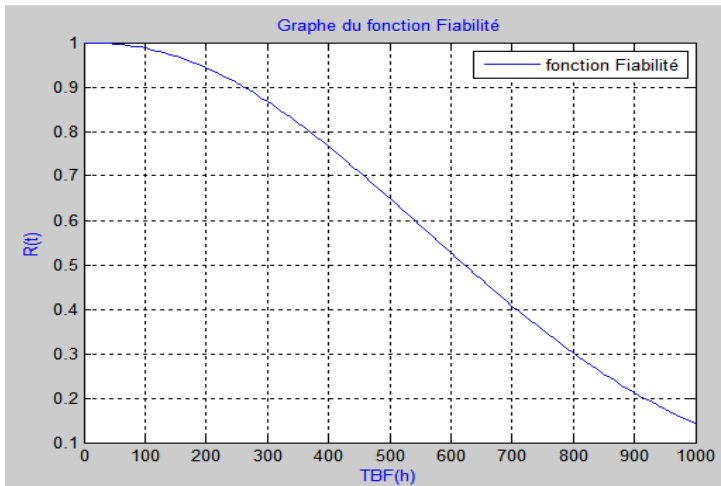
$$\pi_j = (\pi_0, \pi_1, \pi_2) = (0.0101 \ 0.09888)$$

Probabilité d'avoir n élément en panne		
P <sub>0</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>
1.010%	0.100%	98.87%

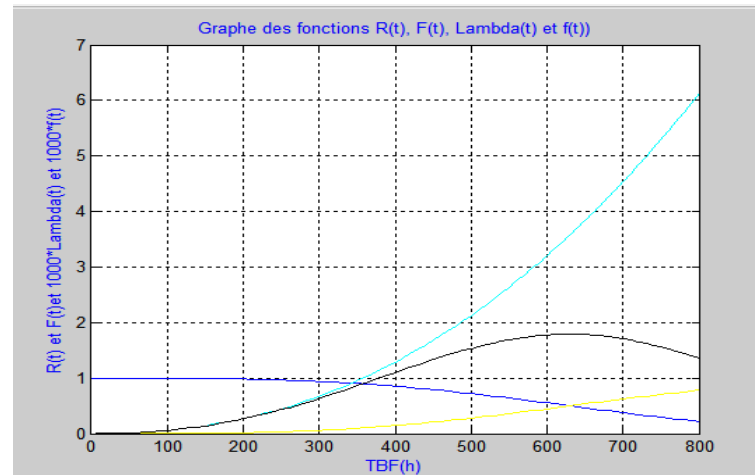
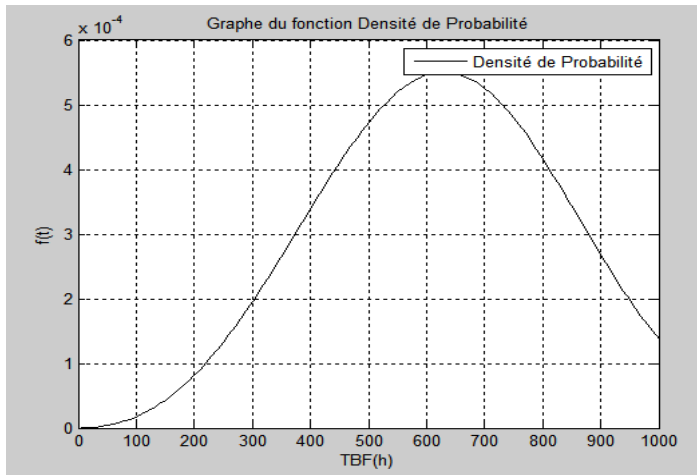
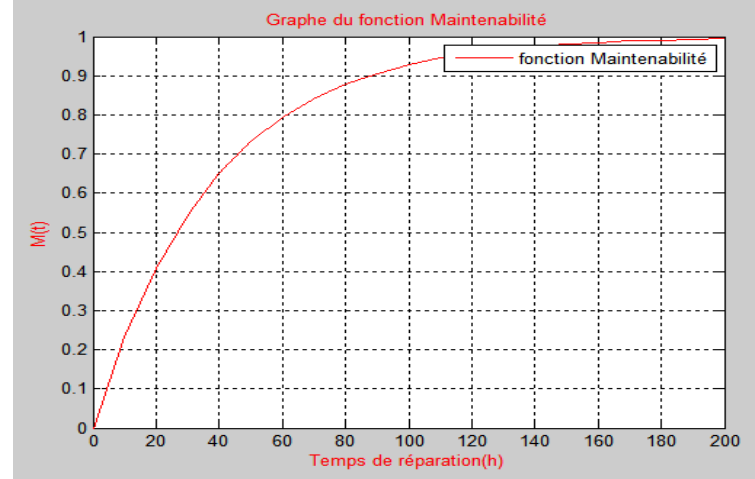
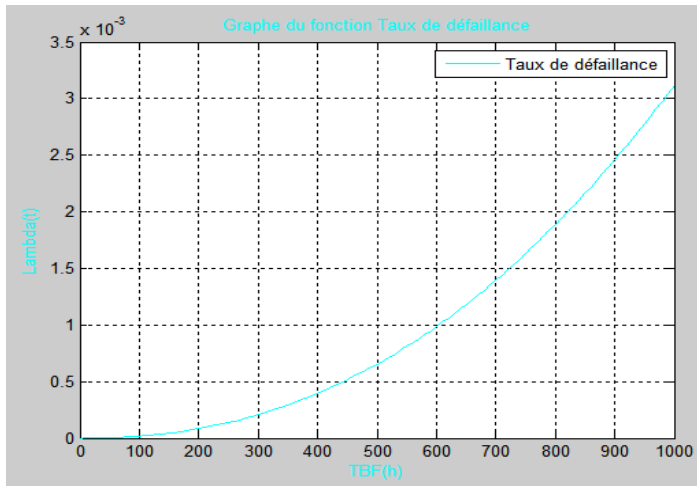
**Tableau. III .10.**Probabilité de la fiabilité (10) Après Année

### III. 9.6.Résultats de simulation des paramètres de maintenance

III. 9.6.1 Résultats des paramètres de la maintenance ( Four01)



III. 9.6.2 Résultats des paramètres de la maintenance ( Four02)



### **III. 9.7. Les propositions pour améliorer la disponibilité et la fiabilité :**

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

- ✓ Constituer un groupe de cadres et de techniciens spécialisé dans le domaine d'exploitation des four01 et four02.
- ✓ Elaborer un programme de maintenance préventive correspondant aux besoins de la ligne.
- ✓ Constituer le support d'information pour l'historique.
- ✓ Travailler en étroite collaboration avec tous les autres services de l'entreprise.
- ✓ Assurer un contrôle rigoureux des opérations de maintenance.

### **III. 10. Conclusion**

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

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

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

## **CONCLUSION GENERALE**

## *Chapitre 01 Conclusion générale*

La production du ciment est un système complexe, où la disponibilité de cette matière est obligatoire. Les activités de la sûreté de fonctionnement prennent une place de plus en plus essentielle ; tout incident nécessite de prendre les mesures permettant d'assurer le maintien du système considéré à un niveau de fonctionnement satisfaisant et les mesures en question définissent ainsi la stratégie de la politique de maintenance.

Bien que les méthodes d'évaluation des critères de sûreté de fonctionnement soient diverses, spécifiant l'analyse FMD, AMDEC, ADD, et RDP... , les files d'attente nous apportent un avantage qui prend en compte des dépendances fonctionnelles, ce qui permet une optimisation chiffrée de la maintenance.

Les 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. Répondre aux besoins de la modélisation des systèmes de production.

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.

L'utilisation des algorithmes d'ordonnancement existants pour garantir de façon déterministe les contraintes temporelles sur la transmission d'une panne pose un problème de surdimensionnement de ressources dans l'établissement de conditions d'ordonnancement.

Dans ce travail nous avons abordé la modélisation et l'analyse de la conception des systèmes de production opérant selon différentes architectures. Les processeurs constituant ces systèmes sont assujettis à des défaillances aléatoires, dans le but d'améliorer les performances du système. Deux indicateurs de performance sont évalués à l'aide des méthodes développées dans cette thèse, à savoir : Taux de défaillance et le taux de réparation. Ces deux indicateurs deviennent identiques lorsque la distribution est stationnaire. Deux contributions sont à retenir de ce travail de recherche. Ces contributions sont présentées dans :

Le chapitre 1 nous avons abordé 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 deuxième approche est la théorie des files d'attente où nous avons montré comment tirer profit des connaissances sur la théorie des chaînes de Markov pour nous aider dans l'analyse des phénomènes d'attente. Nous avons présenté une application sur le système de maintenance des

fours dans la cimenterais (LAVARGE.de m'sila) où le processus d'arrivée est poissonnier Cette approche nous a permis de montrer l'influence de la disponibilité de la pièce de rechange sur la fiabilité d'un atelier de réparation. Sur la base des résultats obtenus plusieurs propositions

Seront faites à savoir :

- ✓ Constituer un groupe de cadres et de techniciens spécialisé dans le domaine d'exploitation des four01 et four02.
- ✓ Elaborer un programme de maintenance préventive correspondant aux besoins de la ligne.
- ✓ Constituer le support d'information pour l'historique.
- ✓ Travailler en étroite collaboration avec tous les autres services de l'entreprise.
- ✓ Assurer un contrôle rigoureux des opérations de maintenance.

# **Références Bibliographique**

### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] GEORJON A. DEBORDE R. « Maintenance Des Systèmes Industriels » éditions Hachette Technique 1994-43, Quai de Grenelle ,75905 Paris Cedex 15, I.S.B.N.201.020188.4
- [2] A.FERHATI, S. KASMI. « Maintenance des échangeurs de chaleur (mémoire de fin d'étude)».2001.
- [3] NICOLAS TERRIER. « La maintenance » (2001/2002)
- [4] Claire Pagetti « Module de sûreté de fonctionnement» 3<sup>ème</sup> TR - option SE 10 décembre 2012 Paris 3<sup>ème</sup> Edition AFNOR 1988 X60-010 Maintenance Vocabulaire et gestion des biens durables.
- [5] BEN DJAAFER AHMED, « Réalisation d'un plan de maintenance préventive systématique pour l'amélioration de la sûreté de fonctionnement d'un système électromécanique », mémoire de fin d'étude (2012 / 2013).
- [6] SAHRAOUI Yasser. «Evaluation de performance de la sûreté de fonctionnement par l'utilisation des réseaux de files d'attente », mémoire de fin d'étude (2011/2012).
- [7] Valeriezille. « Modélisation et évaluation des stratégies de maintenance complexes sur des systèmes multi composants » (thés de Doctorat « université de Technologie de Troyes, institut Charles Delaunay » 2009.
- [8] A.Heurtel CNRS. «La gestion des risques techniques (Sûreté de Fonctionnement) et Des risques de management ». ; IN2P3/LAL, Version 2.4 11/12/03.
- [9] DJAGHAME AHLAM, SAIDANE CHOUMAYSSA, « Etude sur les travaux de restauration en Cours sur des pièces mécaniques au niveau de M.E.I. », mémoire de fin d'étude (2010/2011).
- [10] XIAOLAN XIE, « Evaluation des Performances des systèmes de production »
- [11] BRUNO SERICOLA, « Processus de Markov pour la sûreté de fonctionnement et la qualité de service», Université de Rennes 1, octobre 1998.
- [12] MONCHY F. « Maintenance : Méthodes et organisation » édition DUNOD, Paris, 2000.
- [13] P.LYONNET, « La maintenance : mathématiques et Méthodes», édition Lavoisier, Tec et Doc, Paris 1992.
- [14] GABRIEL ANTONIO PEREZ CASTANEDA, « Évaluation par simulation de la sûreté de fonctionnement de système en contact dynamique hybride», thèse de Doctorat, « université Nancy, institut national polytechnique de lorraine », version1, 12/05/2009.
- [15] E.Cbau, «introduction à la conception de la sûreté», Schneider Electric, n°144,1999.
- [16] Sirris, David Beckers, Animateur AMDEC (FMEA), 5 S 6 sigma, méthodologie AMDEC Université de Nancy, module méthode AMDEC
- [17] Houhou Mourad, «Evaluation de la fiabilité et de la disponibilité des systèmes mécanique par la méthodologie Arde Bayes», Université M'hamedBougaraBoumerdes, 2011/2012
- [18] MME BONNES MANIERES, « ATTENDRE UN PASSE TEMPS POPULAIRE », (Judith Martin, adaptation de HOCINE BOURENANE), source .U.S News et world report, 30/01/1989, p81.
- [19] CHIKH AYACHE, « contribution à l'amélioration de la fiabilité par l'utilisation des réseaux des files d'attente », mémoire de fin d'étude (2012 / 2013).

- [20] ARISTIDE DOSSOU & MARCELLIN C.ASSE, thème « contribution à l'amélioration de la gestion des files d'attente à la SBEE.
- [21] MALIKA BABES, « statistiques, files d'attente et simulation »,11/1992, p86.
- [22] YASMIN ARDA, thèse « Politiques d'approvisionnement dans les systèmes à plusieurs fournisseurs et Optimisation des décisions dans les chaînes logistiques décentralisées » doctorat de l'université de Toulouse délivré par l'Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse 2008
- [23] MELLE ROSA ABBOU, « les réseaux de files d'attente pour l'évaluation des performances d'un atelier de maintenance».
- [24] PHAM CONG DUC, « Cours de Modélisation et d'Evaluation de Performance Files d'attente ».
- [25] MANUEL D'OPERATEUR, « TetraThermLacta », Doc. No. OM-1221809-0401 (document de l'entreprise, Edition 2008-06).
- [26] MEBARKIA Djalal, « Recherche d'une solution optimale d'exploitation et de maintenance des gazoducs algériens tenant compte de la fiabilité des équipements des Différentes lignes», Mémoire de Magister (2012/2013).
- [27] ·REDOUAN CHARDI EL OUAZZANI , «Modélisation et analyse des performances des systèmes de production utilisant des stocks tampons à capacités finies»(2007).
- [28] Remi LARONDE , «Fiabilité et durabilité d'un système complexe dédiée aux énergies renouvelables Application a un système photovoltaïque» these de doctorat(2011) .
- [29] WALID ABDUL-KADER , «MODELISATION DU DEPLOIEMENT DU STOCK-TAMPON DANS UNE LIGNE DE PRODUCTION» , Thèse présentée à la faculté des études supérieures de l'université Laval pour l'obtention du grade de Philosophie Doctor (Ph.D.) 1997.
- [30] Documents entreprise LAFARGE « le processus de fabrication du ciment ‘ carrière broyage cru et cuisson broyage, stockage, conditionnement, expédition » .
- [31] M. Petiot «Modélisation des systèmes complexes » maitrise d'informatique(2008) .
- [32] Marc Lichtenberg, «Introduction aux chaînes de Markov» (2014-2015)
- [33] «Programmation dynamique, chaînes de Markov, files d'attente » Cours de Tronc Commun Sciatique(2013/2014)

# Annexe

## Annexe I.1

---

I-1 : Lafarge ciment usine de M'sila :

I-1-1Présentation de l'usine ACC du M'sila

C'est une usine installée en Algérie, particulièrement à M'sila par le groupe Lafarge, depuis l'année 2003, après rachat des actions égyptiennes. Créée en 2003 sous le nom : ALGERIAN CEMENT COMPAGNY (ACC) groupe Lafarge.

I-1-2Situation :

Sis Hammam Dalaa, wilaya de M'sila.

I-1-3Investissement :

✓ 1<sup>ère</sup> ligne complète : 260 millions \$ US.

✓ 2<sup>ème</sup> ligne complète : 190 millions \$ US. Total : 450 millions \$ US.

I-1-4Création d'emplois :

✓ 1<sup>ère</sup> ligne complète : 800 Emplois

✓ 2<sup>ème</sup> ligne complète : 200 Emplois

Total : 1000 Emplois

I-1-5Capacité :

✓ 1<sup>ère</sup> ligne : 2 millions de tonnes\An.

✓ 2<sup>ème</sup> ligne : 2 millions de tonnes\An.

Soit : 4 millions de tonnes \An.

I-1-6Autres Caractéristiques:

ACC peut être classé parmi les plus modernes cimenteries sur le plan international par :

- Un contrôle moderne, systématique et permanent de la qualité.
- Une optimisation pour la consommation d'énergie.
- Un contrôle systématique de la pollution.
- Une sécurité industrielle performante.
- Centralisation de la commande et de la conduite de toute l'usine.

## Annexe I.1

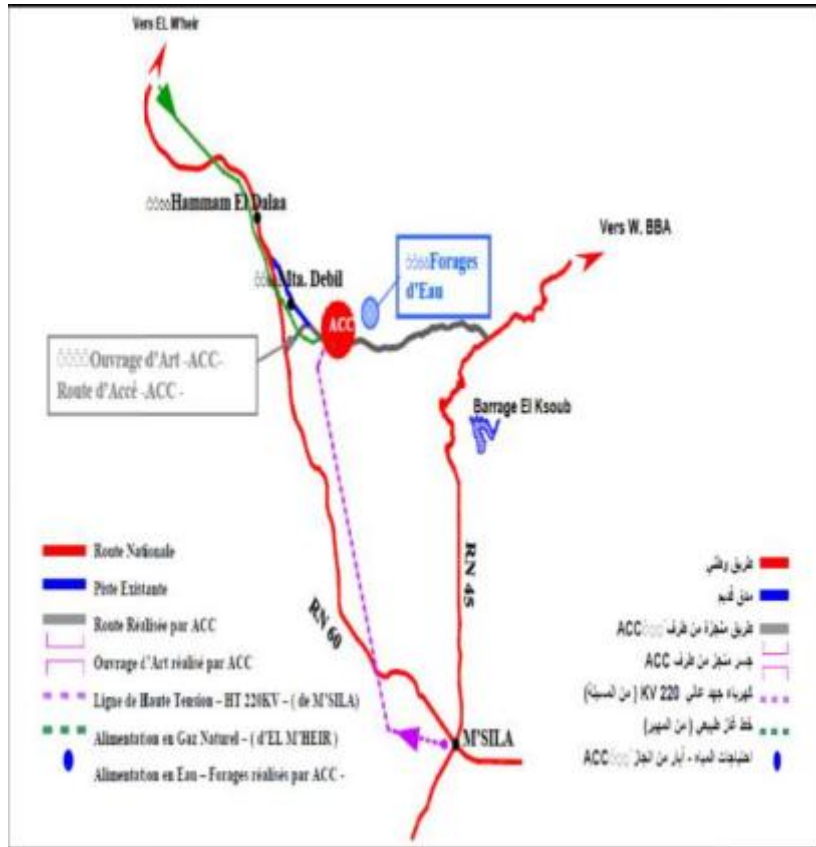
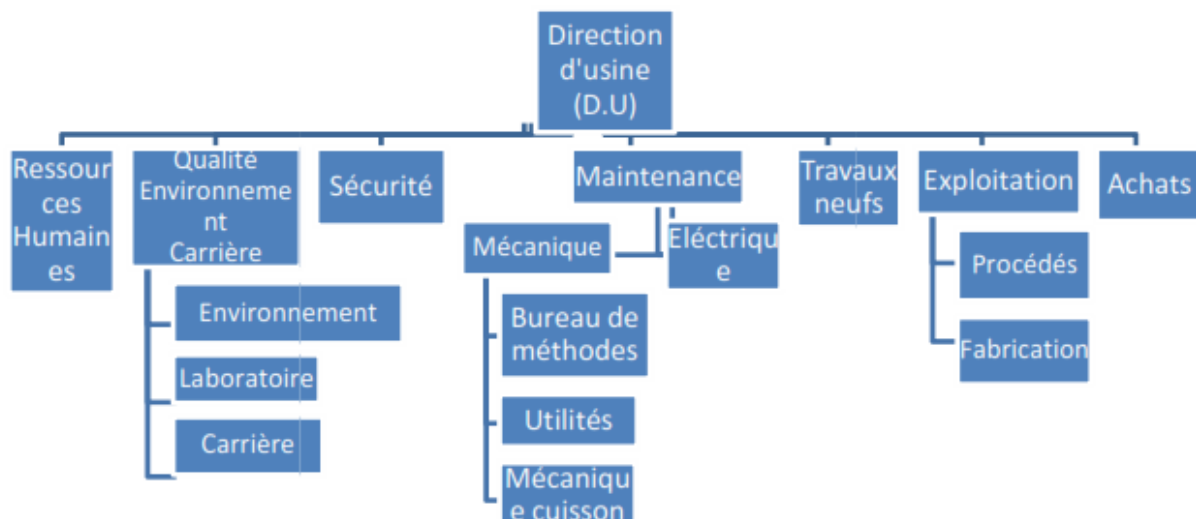


Figure : Situation géographique de LAFARGE M'sil M'sila.

### I-2 Organigramme :

La situation de l'usine suite l'organigramme suivant



# Annexe I.2

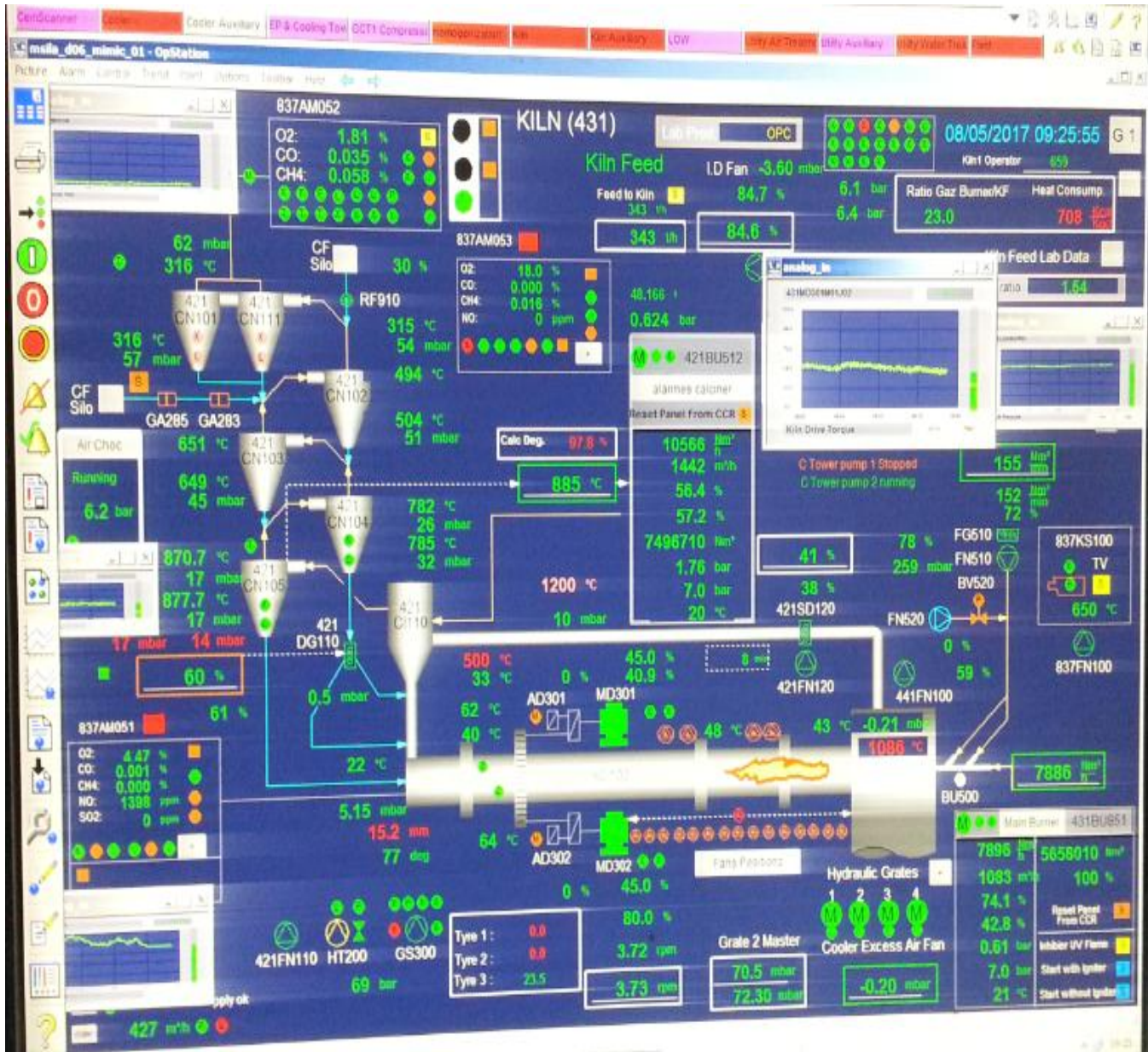


Figure : l'image est présent la command de la zone four

## Résumé

L'amélioration des performances de la sûreté de fonctionnement des systèmes de production passe Par la garantie temporelle et optimisation des ressources de gestion des pannes et temps de remise en service et dans ce travail, Nous présentons les caractéristiques des systèmes mécaniques ayant un effet Direct sur l'évaluation de leur fiabilité, et les principales méthodes d'évaluation de la fiabilité Mécanique.

Ensuite, nous présentons deux approches pour l'évaluation de la disponibilité, la première est le Processus de Markov et la deuxième c'est la théorie des files d'attente.

Ces deux domaines d'évaluation consistent en une évaluation probabiliste, et les modèles utilisés sont Basés principalement sur les processus de Markov. Nous envisageons ensuite la nécessité de les Améliorer dans le but d'augmenter la productivité des machines et mettre en œuvre des moyens Adéquats pour y arriver.

On fera ensuite une évaluation des capacités de réparations de la base de Lafarge ciment usine de M'sila

Enfin, nous proposons une méthode d'amélioration de la fiabilité et de la disponibilité des Installations. Cette méthode porte sur le renforcement par des éléments mis en redondance, qui, en Cas de besoin, peuvent remplacer ceux défectueux

**Mots clés :** F.M.D, Chaines de Markov, Files d'attentes, Redondance.

### ملخص

. ان تحسين اداء انظمة الانتاج يمر من خلال ادارة الموارد والوقت وتسير الاعطاب واعادة التشغيل و سنعرض في هذا العمل خصائص الأنظمة الميكانيكية التي لها تأثير مباشر على تقييم ناجعتها كم سنستعرض الطرق الأساسية لتقييم النجاعة الميكانيكية بعد ذلك سنتطرق إلى مقربتين حول تقييم الجاهزية تتحدث الأولى عن نظرية الطابور والثانية عن عملية ماركوف , ومجال تقييم هاتين الأخيرتين هو تقويم احتمالي وترتكز الطرق المستعملة أساسا على عملية ماركوف ومن أجل الحكم على مدى ضرورة

تحسينهما بهدف الرفع من إنتاجية الآلات واستخدام الوسائل المناسبة للوصول إلى ذلك وفي النهاية سنقترح إحدى طرق تحسين نجاعة وجاهزية المنشآت بتعزيزها بعناصر إضافية يمكنها أن تحل محل العناصر المعطوبة عند الحاجة..

### كلمات مفتاحية:

النجاعة,الجاهزية الصيانة نظريه الطابور الانتظار وعملية ماركوف