

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE DE M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME

DE MASTER EN GENIE ELECTRIQUE

SPECIALITE :

Ingénierie des Systèmes Electromécaniques

THEME

**CONTRIBUTION A L'AMELIORATION DE LA FIABILITE PAR
L'UTILISATION DES RESEAUX DES FILES D'ATTENTE**

Proposé et dirigé par :

Mr. DEFDAF Mabrouk

Présenté par :

CHIKH Ayache

Année Universitaire : 2012 / 2013

N⁰ d'ordre : 053

Remerciements

*On remercie tout d'abord le dieu, le tout puissant
qui nous facilite le chemin*

pour l'accomplissement de ce mémoire.

*A tous nos enseignants et le chef de département de
génie électrique*

*M. B.BENDJAIMA qui nous ont aidés de proche ou
de loin pour être les masters en électromécanique.*

Nos grands remerciements vont également

à Mr .M. DEFDAF

*de nous avoir et pour leurs disponibilité et leurs
précieux conseils.*

*Nos remerciements à tous les membres du jury qui
ont accepté de juger notre travail.*

Dédicaces

*Après de longues années d'études et de travail, sachant l'importance de
l'aide des*

*Êtres qui m'aiment, je voudrai humblement leurs, dédier ce modeste
travail tout en avant*

qu'ils méritent le meilleur qui soit.

Je dédie ce travail :

à ma très chère mère la personne la plus proche de moi

à mon cher père

qui m'encourageait et suait et a son travail pour pouvoir m'instruire.

à mes frères

*qui a fait tant de sacrifice pour m'élever et m'instruire et qui ma
encourage*

tout le long de mon parcours scolaire et académique.

à mes cher enseignants qui mont dirigé et aider et surtout soutenu.

à tout mes amis :

Aux étudiants de génie électrique et toute la promotion 2013.

Chikh Ayache

Table des matières

Introduction générale.....	1
Chapitre I : Généralité sur la sureté de fonctionnement	
Introduction.....	2
I.1.Qu'est ce que la maintenance.....	2
I.1.1.Un peu d'histoire.....	2
I.1.2.Définition.....	3
I.2.La maintenance comme politique.....	3
I.3.L'environnement de la maintenance.....	3
I.4.Les différents types de maintenance.....	4
I.4.1.La maintenance corrective.....	4
I.4.1.1.Définition.....	4
I.4.1.2.Les opérations de maintenance corrective.....	4
I.4.2.La maintenance préventive.....	5
I.4.2.1.Définition.....	5
I.4.2.2.Les types de maintenance préventive.....	5
I.4.2.3.Les opération de maintenance préventive.....	6
I.5.Les sureté de fonctionnement.....	6
I.5.1.Fiabilité.....	6
I.5.1.1.Les différents types de fiabilité.....	7
I.5.1.2.Analyse de fiabilité.....	7
I.5.2.La maintenabilité.....	10
I.5.2.1.Définition de la maintenabilité.....	10
I.5.2.2.La fonction maintenabilité.....	11
I.5.3.La disponibilité.....	11
I.5.3.1.Définition de la disponibilité.....	11
I.5.3.2.Les sortes de la disponibilité.....	12

I.6.Sécurité.....	12
I.7.Les temps caractéristiques pour la sureté de fonctionnement.....	12
Conclusion.....	15

Chapitre II : Généralités sur les files d'attente

Introduction.....	17
II.1.pourquoiy-a-t-il de l'attente.....	19
II.2.L'objectif de l'analyse des files d'attente.....	19
II.3.Les caractéristiques du système des files d'attentes.....	21
II.3.1.La population.....	21
II.3.2.Le nombre de serveurs.....	21
II.3.3.Les tendances quant à l'arriveé et au service.....	22
II.4.File d'attente simple.....	23
II.4.1.Processus d'arriveé.....	23
II.4.2.Temps de sevice.....	24
II.4.3.Structure et discipline de la file.....	24
II.4.3.1.Nombre de serveures.....	24
II.4.3.2.Capacité de la file.....	25
II.4.3.3.Discipline de servis.....	25
II.4.4.Notations de kendall.....	26
II.4.5.Notation de classes de clients.....	26
II.5.Les réseaux de files d'attente.....	26
II.5.1.Les réseaux ouverts.....	27
II.5.1.1.Processus d'arriveé.....	27
II.5.1.2.Routage des clients.....	27
II.5.2.Les réseaux fermés.....	27
II.5.3.Les réseaux multiclassés.....	28
II.5.4.Les réseaux de files d'attente à capacité limitée.....	28

Table des matières

II.5.5.Les réseaux de files d'attente ouverts à contrainte de population.....	29
II.6.Files d'attente markoviennes.....	29
II.6.1.La file M / M / 1.....	29
II.6.2.La files M / M / 1 / K.....	31
Conclusions.....	34

Chapitre III : Application FMD sur la presse

Introduction.....	36
III.1.Caracteristiques de la machine.....	36
III.1.1.Dimensions et poids.....	36
III.1.2.Puissance installée.....	36
III.2.Installation.....	36
III.2.1.Nivellement.....	36
III.2.2.Branchement au réseau d'aire comprime.....	37
III.2.3. Branchement au réseau hydrique.....	37
III.2.4.Alimentation en huile.....	37
III.2.5. Branchement au réseau électrique.....	37
III.3.Fonctionnement.....	38
III.3.1.Cycle de travail.....	38
III.3.1.1.La fermeture des moles pendant la vibration et le pressage.....	38
III.3.1.2.Dosage de la première couche.....	38
III.3.1.3.Vibration de la première couche.....	38
III.3.1.4.Répartition de la première couche à l'intérieur du moles.....	38
III.3.1.5.Chargement de la deuxième couche-trémie.....	39
III.3.1.6.Pressage du carreau.....	39
III.3.1.7.Démolage.....	40
III.3.2.Description du fonctionnement.....	40
III.3.2.1.Rotation de la table.....	40

Table des matières

III.3.2.2.Freinage du moteur de rotation de la table.....	41
III.3.2.3.Freinage de la table rotative.....	41
III.3.2.4.Lubrification de la croix de malte.....	41
III.3.2.5.Dosage de la première couche.....	41
III.3.2.6.Sonde de niveau du doseur.....	42
III.3.2.7.Vibreux plongeant.....	43
III.3.2.8.La vibration des moules.....	43
III.3.2.9.Chargement de la deuxième couche – trémie.....	43
III.3.2.10.Centrage de la table et pressage oledynamique.....	44
III.3.2.11.Chariot extracteur et démouleur pneumatique.....	44
III.4.Sécurité sur le lieu de travail.....	45
III.4.1.Risque d'écrasement.....	45
III.4.2.Risque de perforation.....	46
III.4.3.Risque de glissement , de trébuchement de chute.....	46
III.5.L'analyse FMD.....	46
III.5.1.Historique des pannes.....	46
III.5.2.Algorithme de l'étude de la loi Weibull.....	47
III.5.3.Paramètres de la loi de Weibull en logiciel Log-LAALA.....	50
III.5.4.Test de kolmogorov smirnov.....	50
III.5.5.Etude de modèle de Weibull.....	53
III.5.6.Interprétation des courbes.....	56
III.5.7.Maintenabilité intrinsèque.....	56
III.5.8.Interprétation de la courbe de maintenabilité.....	58
III.5.9.La disponibilité.....	58
III.5.9.1.Analyse numérique de disponibilité intrinsèque.....	58
III.5.9.2.Analyse numérique de disponibilité instantanée.....	59
III.5.10.Interprétation de la courbe de disponibilité.....	61

Conclusion.....	62
Chapitre IV : détermination des paramètres de file d'attente par Interface graphique	
Introduction.....	64
IV.1.L'interface environ Matlab.....	64
IV.1.1.Les fonction (SETAPPDATA , GETAPPDATA , FINDOBJ).....	64
IV.1.2.Le fichier GUI(GUI DATA , GUIHANDLES).....	64
IV.1.3.Les fonction inspector.....	65
IV.2.Configuration principale d'interface.....	66
IV.3.Blocs d'interface.....	67
IV.4.Messages d'interface.....	68
IV.4.1.Message erreur de donnée.....	68
IV.4.2.Message d'attention.....	69
IV.4.3.Message de confirmation.....	69
IV.5.Exemple de relation de base de la file d'attente dans l'interface.....	69
IV.5.1.Les données.....	69
IV.5.2.Déclaration de données.....	70
IV.5.3.Résultats obtenus d'après l'exécution par bouton (calcul).....	70
IV.6.Proposition à l'amélioration de fiabilité des file d'attente.....	70
Conclusion.....	71
Conclusion générale.....	73
Référence bibliographique.....	Réf /01

Table des figures

Figure I.1. L'assurance produit.....	3
Figure I.2. Les trois périodes de la courbe en baignoire avec différentes valeurs de β	8
Figure I.3. Graphique Allan Plait.....	9
Figure I.4. Allure d'un taux de défaillance « en baignoire ».....	9
Figure I.5. Chronologie des temps des activités de maintenance.....	10
Figure I.6. Représentation du MTTF, du MUT, du MDT et du MTBF.....	14
Figure II.1. Structure générale d'un système de files d'attente.....	17
Figure II. 2. Serveurs parallèles.....	18
Figure II.3. Serveurs en série.....	18
Figure II.4. l'objectif de l'analyse de la file d'attente.....	20
Figure II.5. système de file d'attente simple.....	21
Figure II.6. illustration des deux distributions.....	23
Figure II.7.système d'attente.....	23
Figure.III.1.Logiciel Log-LAALA.....	50
Figure.III.2.Courbe de densité de probabilité.....	54
Figure.III.3.Courbe de fonction de répartition.....	54
Figure.III.4.Courbe de taux de défaillance.....	55
Figure.III.5.Courbe de fonction de fiabilité.....	55
Figure.III.6.Courbe de maintenabilité.....	58
Figure.III.7.Courbe de disponibilité.....	61
Figure. IV.1.Menu Principale du Bloc Guide.....	65
Figure. IV.2.Fenêtre pour modifier les caractéristique des cases.....	66
Figure. IV.3.Menu Principale d'interface de file d'attente.....	67
Figure. IV.4.Bloc de données de cahier de charge.....	67
Figure. IV.5.Bloc d'affichage des Résultats Numérique.....	68

Figure. IV.6.Message d'erreur de valeur.....	68
Figure. IV.7.Message d'attention.....	69
Figure. IV.8.Message pour confirmation la fermeture de l'interface.....	69
Figure. IV.9.Parté de déclaration de donnée.....	70
Figure. IV.10.Les Résultats Numérique.....	70

Liste des Table

Table II.1.Formules de modèle de base.....	33
Table III.1.Les temps d'arrêt de presse.....	48
Table III.2.Application du modèle de weibull.....	49
Table III.3.Test de kolmogorov smirnov.....	51
Table III.4.Etude de modèle de weibulle.....	53
Table III.5.Tableau de maintenabilité.....	57
Table III.6.Tableau de disponibilité.....	60

Liste des symboles

MTBF : La durée moyenne entre deux défaillances consécutives.

MTTR : Le temps moyen mis pour réparer le système.

TBF : Temps de bon fonctionnement entre deux défaillances.

F (t) : La fonction de répartition.

R (t) : La fonction de fiabilité.

M(t) : Fonction maintenabilité.

D (t) : Fonction de disponibilité.

Di : Disponibilité intrinsèque.

B : paramètre de forme.

γ : Paramètre de position.

η : paramètre d'échelle

FMD : Fiabilité, Maintenabilité, Disponibilité.

Introduction générale

Introduction Générale :

Aujourd'hui, la sûreté de fonctionnement est un champ d'actions privilégié de la recherche d'améliorations 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 la nature des systèmes et des sous systèmes, ou équipements, il faudra mettre en œuvre des méthodes spécifiques tenant compte des technologies déployées selon les cas.

Dans cette évolution, les réseaux des files d'attentes permettent de commander, s'insérer, s'intégrer l'ensemble des actions de maintenance sur le système de production.

Afin d'obtenir des systèmes dans lesquels les utilisateurs placent une grande confiance, des études de sûreté de fonctionnement, et en particulier de fiabilité, doivent être menées tout au long du cycle de vie du système de production.

L'objectif de ce mémoire est de développer une méthodologie globale permettant d'évaluer et d'estimer la fiabilité des systèmes de production. Cette méthodologie propose un outil d'aide à la décision dans les différentes phases du cycle de vie du produit, pour une évaluation quantitative de la fiabilité prévisionnelle, expérimentale et opérationnelle. La méthodologie développée permet de :

- modéliser les comportements fonctionnels et dysfonctionnels des systèmes;
- estimer la fiabilité ;
- réaliser des études de sûreté afin de connaître la contribution de chaque composant à la fiabilité du système ;

Le mémoire comporte quatre chapitres.

Dans le premier chapitre nous montrons des généralités sur la sûreté de fonctionnement.

Le deuxième chapitre décrit les réseaux de files d'attentes.

Le troisième chapitre présente l'application FMD.

Le dernier chapitre détermination du paramètre de file d'attente par l'interface graphique.

Dans une dernière partie une conclusion générale précise les apports de la méthodologie globale développée et les perspectives de recherche proposée.

Chapitre I

Généralités sur la sûreté de fonctionnement

Introduction :

La Sûreté de Fonctionnement est une activité d'Ingénierie qualitative et quantitative. La part qualitative correspond à l'optimisation des études au Bureau d'Etudes; elle représente 70% environ de l'activité totale. Les 30% restants représentent la partie dite quantitative qui est consacrée à la maîtrise des risques avant fabrication à partir des architectures déjà élaborées. C'est donc la phase d'optimisation des architectures des systèmes et de leur mise en œuvre de façon à maximiser, à moindre coût, leur robustesse aux aléas [1].

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

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

I.1. Qu'est ce que la maintenance ?

I.1.1.Un peu d'histoire :

Le terme «maintenance » forgé sur les racines latines, Manus et Tenere est apparu dans la langue française au 12^{ème} siècle, l'étymologiste WACE a trouvé la forme maintenance comme celui qui soutient, utilisée en 1169, c'est une forme archaïque de maintenir [2].

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 » [2].

Avant 1900 : on parle de réparation.

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

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

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

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

- Coût.

I.1.2. Définition :

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

- Bien : Tout équipement «mécanique, électrique,.....etc.» pouvant remplir une tâche bien défini dans la production de l'entreprise.

- La fonction requise : C'est la fonction ou ensemble de fonction d'un bien, considéré comme nécessaires pour un service donné.

➤ **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 [2].

I.2. La Maintenance comme politique [3] :

La maintenance est une politique qui prend en compte :

- a) le choix des méthodes d'entretien (les différents modes de maintenances).
- b) les améliorations.
- c) la place des équipements dans le procédé de fabrication (hiérarchisation).
- d) la formation du personnel d'entretien et de production.

I.3. L'environnement de la maintenance :

La maintenance s'intègre dans le concept global de la Sûreté de fonctionnement, qui lui-même s'intègre dans l'Assurance Produit [3].

L'Assurance Produit :



Figure I.1. L'assurance produit [3].

I .4. Les différents types de Maintenance:

- La maintenance corrective.
- La maintenance préventive.

I .4.1. La maintenance corrective :

I .4.1.1. Définition :

C'est une opération effectuée après la détection d'une panne ou après défaillance ; on envisage deux types d'interventions différentes :

a) Palliative (dépannage) : c'est-à-dire une remise en état de fonctionnement «caractère provisoire».

b) Curative (réparation) : c'est la réparation complète, parfois après dépannage «caractère définitif».

✓ **Définition AFNOR :** Maintenance effectuée après défaillance.

✓ **Définition (d'Alain Villemeur) :** maintenance effectuée après la détection d'une panne et destiné à remettre une entité dans un état lui permettant d'accomplir une fonction requise.

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

I.4.1.2. 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 [4].

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 [4].

I .4.2. La maintenance préventive :

I .4.2.1. 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 [1].

I .4.2.2. Les types de maintenance préventive :

- 1) La maintenance préventive systématique.
- 2) 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 [1].

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.4.2.3. Les opérations de maintenance préventive :

Les inspections :

Ce sont des activités de surveillance qui consistent à relever périodiquement des anomalies et exécuter

Des règles simples ne nécessitant pas d'outillage spécifique ou d'arrêt de l'outil de production ou des équipements [4].

Les visites :

C'est une opération de surveillance, se situant dans le cadre d'action de Maintenance préventive, elle peut consister en un examen détaillé et approfondi d'une partie ou de l'ensemble du système suivi.

Les contrôles :

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 [4].

I.5. La sûreté de fonctionnements :

I.5.1. 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 [5].

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 de fiabilité, et est définie par :

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

On distingue plusieurs types de fiabilité (termes spécifiques) :

I.5.1.1. 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 [5].

I.5.1.2. Analyse de fiabilité :

Loi de Weibull :

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

Caractéristiques :

a) Densité de probabilité :

Elle caractérise la probabilité de panne juste à temps.

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

b) La fonction de répartition :

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

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

c) La fonction de fiabilité :

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

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

d) Le taux de défaillance :

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

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

e) Le moyen de temps de bon fonctionnement MTBF :

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

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

Signification des différents paramètres :

- Paramètre de forme

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

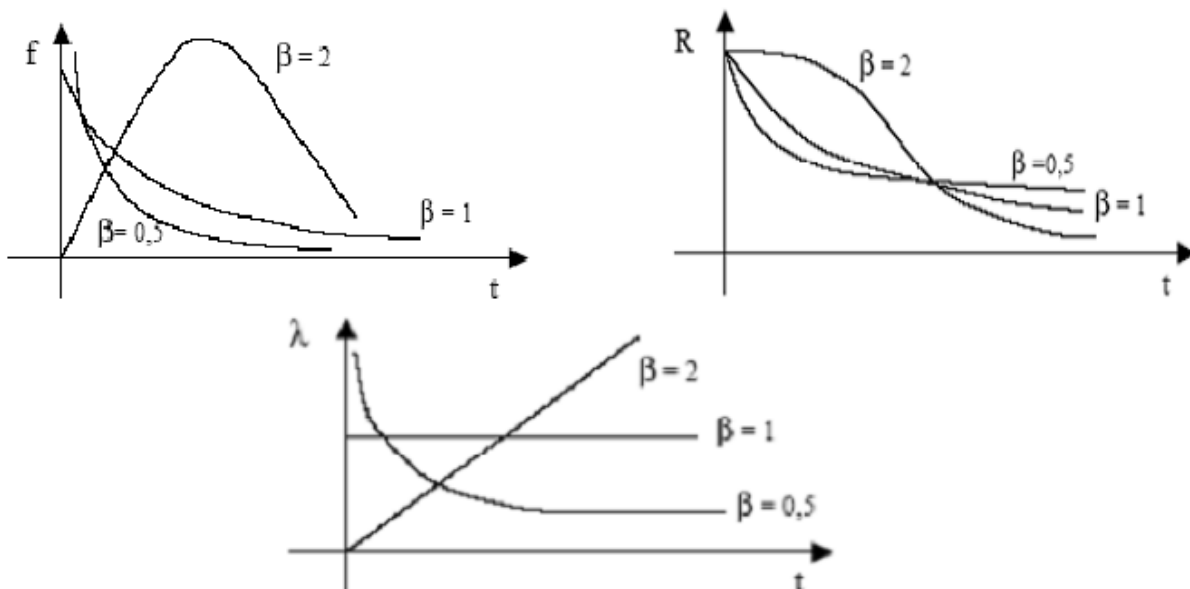


Figure I.2. Les trois périodes de la courbe en baignoire avec différentes valeurs de β [5].

- Paramètre de position γ

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

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

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

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

- Paramètre d'échelle η

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

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

- En abscisse: $\ln t$

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

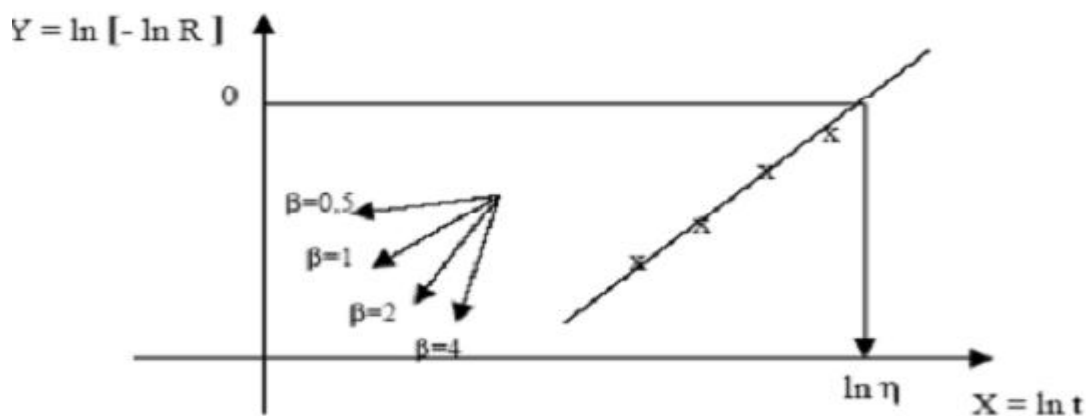


Figure I.3. Graphique Allan Platt [5].

Courbe de défaillance :

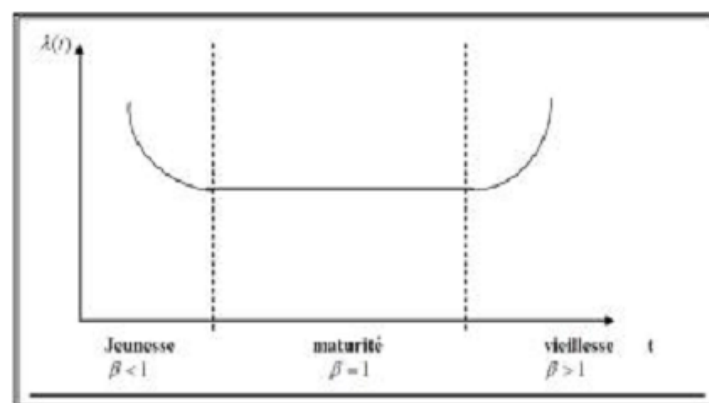


Figure I.4. Allure d'un taux de défaillance « en baignoire » [5].

$\beta < 1$: Correspond à la zone décroissante de la courbe, c'est la période de mise en place et de rodage de l'installation (période de jeunesse).

$\beta = 1$: Correspond à la zone où la taux de défaillance est pratiquement constant, c'est la période de défaillance aléatoire qui ne présente généralement aucun symptôme de dégradation préalable (vie-utile) c'est la période la plus longue.

$\beta > 1$: Correspond à la zone croissante rapide, c'est l'époque de vieillesse provoquée par l'usure mécanique.

- La MTBP moyenne des temps entre panne.
- La MUT moyenne de temps de bon fonctionnement.

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

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

I.5.2. La Maintenabilité (Maintainability) :

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 [7].

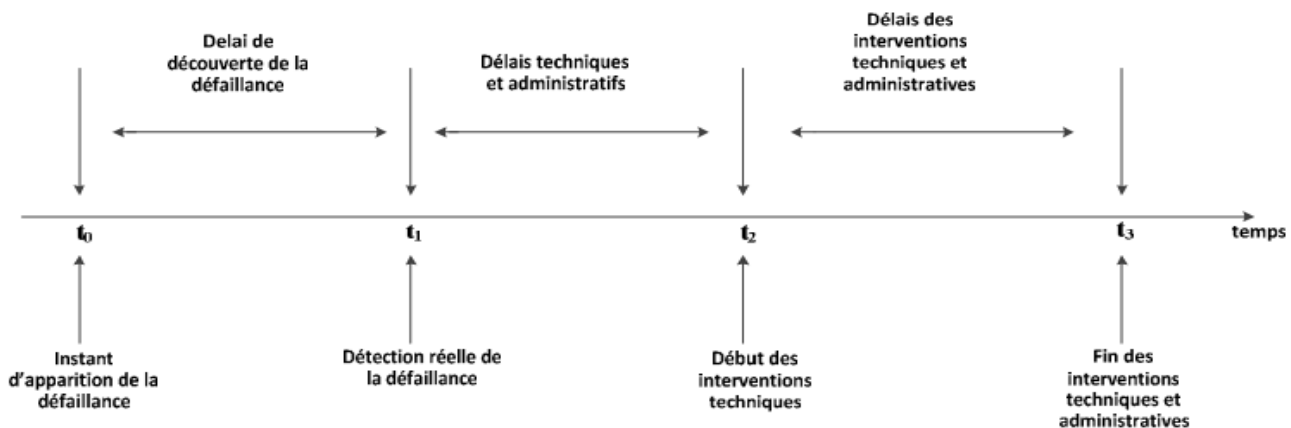


Figure I.5. Chronologie des temps des activités de maintenance [7].

I.5.2.1. 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 leurs interchangeabilité [5].

*Maintenabilité intrinsèque.

*Maintenabilité extrinsèque.

I.5.2.2. 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.

μ : taux de réparation.

I.5.3. La disponibilité:

I.5.3.1. Définition de 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 » [5].

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 [5].

I.5.3.2. Les sortes de la disponibilité :

a) Disponibilité intrinsèque :

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

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

b) Disponibilité instantanée :

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

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

μ : Taux de réparation.

λ : Taux de défaillance.

I.6. Sécurité :

Bien que la norme [CEI 50 (191), 1990] n'intègre pas la sécurité comme composant de la SdF, 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 : 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 Sdf, dans la mesure où une défaillance du système peut présenter un risque de dommage corporel à l'encontre des usagers [6].

I.7. Les temps caractéristiques pour la Sûreté de Fonctionnement :

Les différents temps caractérisant la Sdf se définissent en fonction de leur état de fonctionnement : avant défaillance, entre défaillance, entre défaillance et réparation, etc. Ces temps dépendent des

probabilités d'occurrences des divers événements comme les défaillances et les réparations des composants. Ce sont des variables aléatoires que l'on cherche à caractériser par leurs espérances mathématiques [6].

(Villemeur, 1988) et (Lannoy, 1996) présentent quelques temps caractérisant de la SdF. De même, ils présentent aussi, au moyen d'un graphique, la relation existant entre eux (figure 1.3). Cependant, la norme [CEI 50 (191), 1990] présentent les définitions d'une façon plus fines par rapport aux autres auteurs :

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

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

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

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

- MTTR (mean time to repair or restoration) durée moyenne de panne ou moyenne des temps pour la remise en état de fonctionnement, espérance mathématique de la durée de panne. MTTR_{Rep} est associé à la réparation du composant et MTTR_{Res} à sa restauration. La différence **entre les deux est** liée au fait que l'on considère ou non le temps mis pour remettre en service l'équipement, le MTTR_{Res} l'incluant.

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

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

Le MDT est décomposé en plusieurs phases lesquelles sont montrées par la figure I.6.

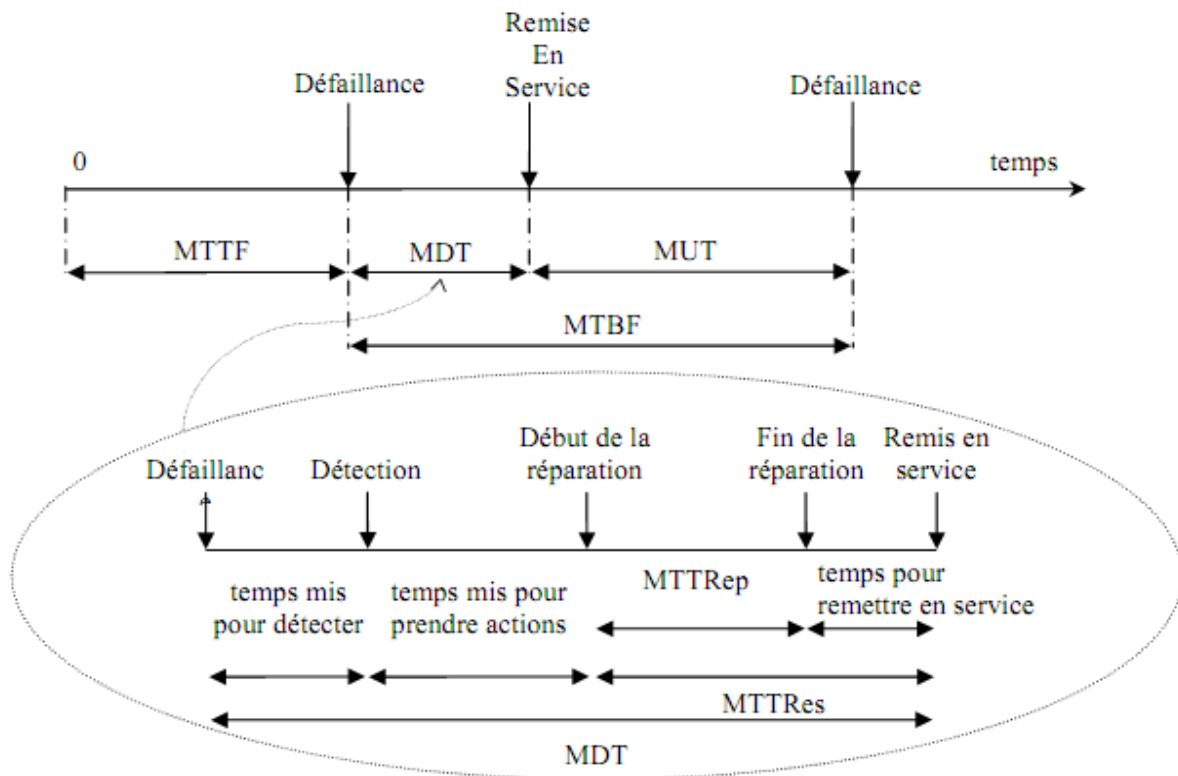


Figure 1.6. Représentation du MTTF, du MUT, du MDT et du MTBF [6].

Conclusion :

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

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

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

Chapitre II

Généralités sur les files d'attente

Introduction :

La théorie des files d'attente s'attache à modéliser et à analyser de nombreuses situations en apparence très diverses, mais qui relèvent néanmoins toutes du schéma descriptif général suivant. Des clients arrivent à intervalles aléatoires dans un système comportant plusieurs serveurs auxquels ils vont adresser une requête. La durée du service auprès de chaque serveur est elle-même aléatoire. Après avoir été servis (ce qui suppose un arrêt chez un ou plusieurs serveurs selon le cas), les clients quittent le système [8].

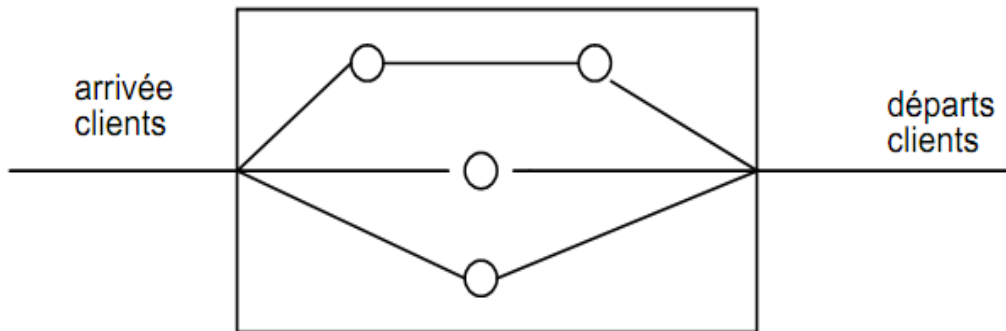


Figure .II.1. Structure générale d'un système de files d'attente [8].

Le but de l'analyse est de caractériser le degré de performance du système en répondant à des questions du type suivant:

- en moyenne, combien de temps attend un client avant d'être servi?
- quel est le nombre moyen de clients dans le système?
- quel est le taux d'utilisation moyen des serveurs?
- Illustrons cette description générale par quelques exemples spécifiques.

Agence bancaire

Ici, les serveurs sont les guichets de l'agence. Typiquement, tous les guichets offrent le même service, et chaque client ne devra donc visiter qu'un seul guichet.

Atelier de production

Les 'clients' sont les ordres de fabrication à exécuter, et les 'serveurs' sont les machines nécessaires à l'exécution de chaque ordre de fabrication.

Parking

Les 'clients' sont les véhicules qui cherchent à stationner (plutôt que les occupants, en nombre variable, de ces véhicules). Les 'serveurs' sont les emplacements de parking, et la 'durée de service' est la durée pendant laquelle chaque véhicule reste stationné.

On remarque que les situations considérées peuvent différer énormément les unes des autres. Pour mettre un peu d'ordre au milieu du chaos, les théoriciens ont été amenés à classifier les systèmes rencontrés en précisant certaines de leurs caractéristiques. En particulier, on distingue ainsi:

- Les systèmes à serveurs parallèles, où chaque client ne requiert le service que d'un seul serveur et tous les serveurs sont capables de fournir ce service.

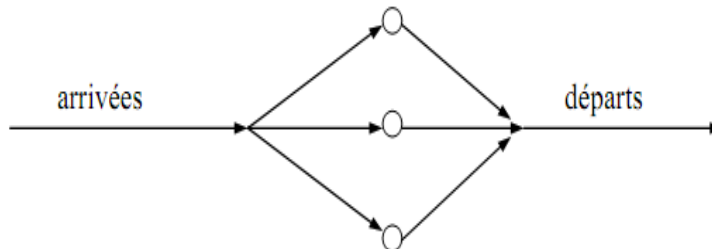


Figure. II. 2. Serveurs parallèles [8].

- Les systèmes à serveurs en série, où chaque client doit visiter plusieurs serveurs successifs dans un ordre fixe pour recevoir satisfaction.

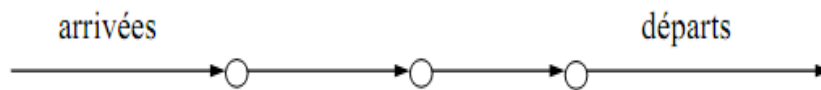


Figure .II.3. Serveurs en série [8].

L'agence bancaire, le supermarché et le parking fournissent des exemples de systèmes à serveurs parallèles, et la chaîne de montage automobile est un exemple de système en série.

Plus généralement, les ateliers de production peuvent présenter une structure parallèle, ou en série, ou une organisation plus générale encore (si les divers ordres de fabrication visitent les machines selon des séquences différentes) [8].

- Les arrivées de clients peuvent être groupées ou individuelles; de même pour le service par chaque serveur.
- Les clients forment une ou plusieurs files d'attente, éventuellement caractérisées par des priorités différentes (par exemple, dans un atelier, commandes urgentes ou non). Au sein de chaque file, le prochain client à servir est sélectionné sur base d'une règle prédéterminée, appelée discipline de service. Les disciplines de service les plus courantes sont: premier arrivé premier servi (First In First Out, First Come First Served) (surtout utilisée dans les services, par souci d'équité), temps de service le plus court d'abord (utilisé dans les ateliers de production), dernier arrivé premier servi, sélection aléatoire, etc.
- La capacité du système, c'est-à-dire le nombre de clients pouvant être simultanément présents dans le système, est limité ou non. Dans le premier cas, on suppose que les clients qui arrivent lorsque le système est déjà saturé le quittent immédiatement sans obtenir le service désiré. On dit que ces clients sont

perdus. Dans le cas d'un système à capacité illimitée, bien sûr, aucun client n'est perdu (mais la longueur des files d'attente peut grandir indéfiniment !) [8].

Dans ce bref exposé, nous nous limiterons à l'étude de systèmes

- à serveurs parallèles
- à arrivées et service individuels.

Nous supposerons également que tous les clients demandent le même service et que les serveurs sont identiques.

II.1. 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 aléatoires plutôt qu'à intervalles fixes. De plus, certaines commandes requièrent un temps de traitement plus long. En d'autres termes, les processus d'arrivée et de service ont un degré de variabilité élevé. Par conséquent, le système est soit temporairement congestionné, ce qui crée des files d'attente, soit vide, parce qu'aucun client ne se présente. Donc, si le système n'est pas congestionné d'un point de vue macro, il l'est d'un point de vue micro. Par ailleurs, en cas de variabilité minimale ou inexistante (arrivée selon les rendez-vous et temps de service constant), aucune file d'attente ne se former [8].

II.2. 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 attend, 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 [8].

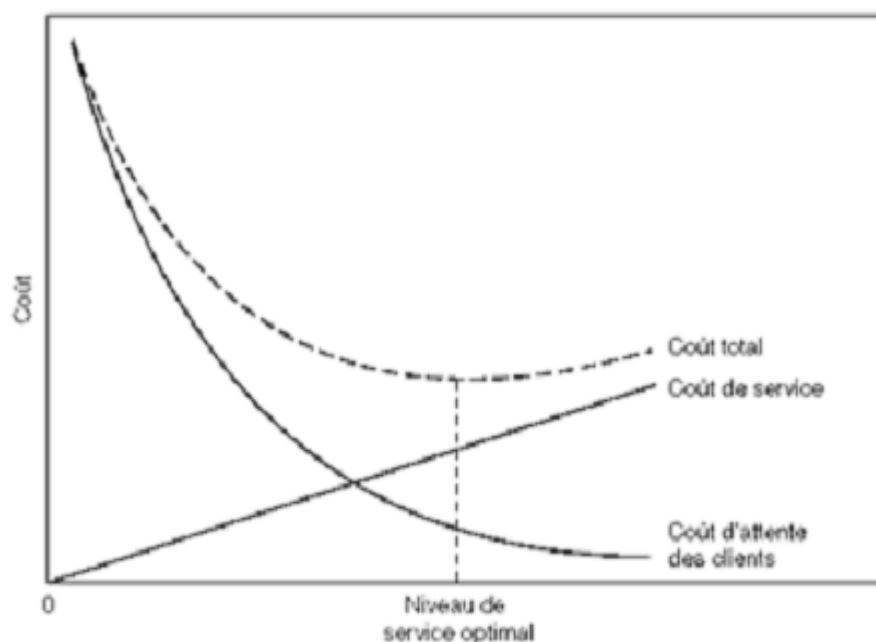


Figure. II.4. l'objectif de l'analyse de la file d'attente [8].

II.3. 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.

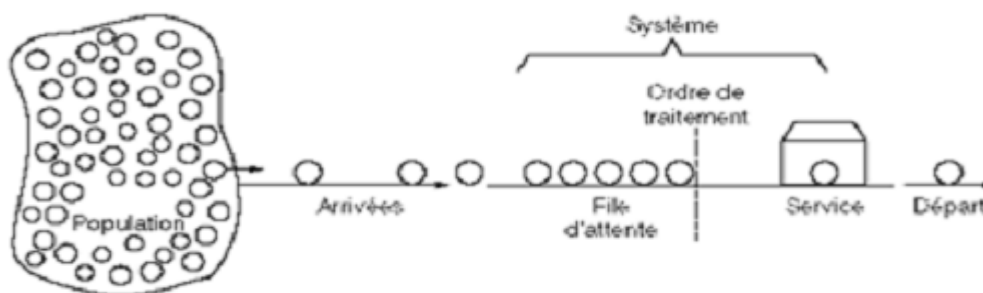


Figure. II.5. système de file d'attente simple [8].

II.3.1. La population :

Dans la théorie des files d'attente, on appelle « population » la source de clients potentiels : il y a deux situations possibles. Dans le premier cas, la population est infinie, c'est-à-dire que le nombre potentiel de clients est infiniment grand en tout temps. C'est le cas des clients des supermarchés, des banques, des restaurants, des cinémas, des centres d'appels, 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 de clients potentiels est limité.

Un bon exemple est le nombre de machines, d'avions, etc., en réparation dans le centre de maintenance d'une entreprise. L'entreprise en question possède un nombre fini des machines, d'avions, etc...

II.3.2. Le nombre de serveurs :

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'attentes 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 de files d'attentes 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. La figure IV.3 illustre les systèmes de files d'attente les plus courants. Pour des raisons pratiques, ceux qui sont étudiés dans le cadre de ce chapitre comprennent une seule étape.

II.3.3. Les tendances quant à l'arrivée et au service :

Les files d'attente résultent de la variabilité des tendances d'arrivée et de service. Elles se forment parce que le degré élevé de variation dans les intervalles entre les arrivées et dans les temps de service cause des congestions temporaires. Dans plusieurs cas, on peut représenter ces variations par des distributions théoriques de probabilités. Dans les principaux modèles utilisés, on suppose que le nombre d'arrivées dans un intervalle donné suit la loi de Poisson[11].

Dans ce graphe, les sommets correspondent aux états possibles du système, et chaque arc indique une transition possible d'un état vers un autre (remarquer que les arcs de la forme $(n, n+2)$, $(n, n-2)$, $(n, n+3)$, ... ne figurent pas dans ce graphe, puisque les arrivées et les départs d'un processus de Poisson sont toujours individuels).

Lorsque le système est dans l'état n , il passe à l'état $n+1$ au taux moyen λn . Cette valeur se retrouve sur l'arc $(n, n+1)$ du graphe de transition. Puisque p_n est, intuitivement, la proportion du temps pendant laquelle le système se trouve dans l'état n , on déduit:

$\lambda n p_n$ = taux espéré auquel le système passe de l'état n à l'état $n+1$. De même, lorsque le système est dans l'état $n+1$ (ce qui se produit durant une proportion p_{n+1} du temps), il passe dans l'état n au taux moyen μ_{n+1} . On obtient ainsi:

$$\mu_{n+1} p_{n+1} = \text{taux espéré auquel le système passe de l'état } n+1 \text{ à l'état } n.$$

Les équations d'équilibre traduisent donc simplement le fait que, en régime stationnaire, c'est-à-dire à l'équilibre, le système connaît autant de transitions (par unité de temps) de l'état n vers l'état $n+1$ que de l'état $n+1$ vers l'état n .

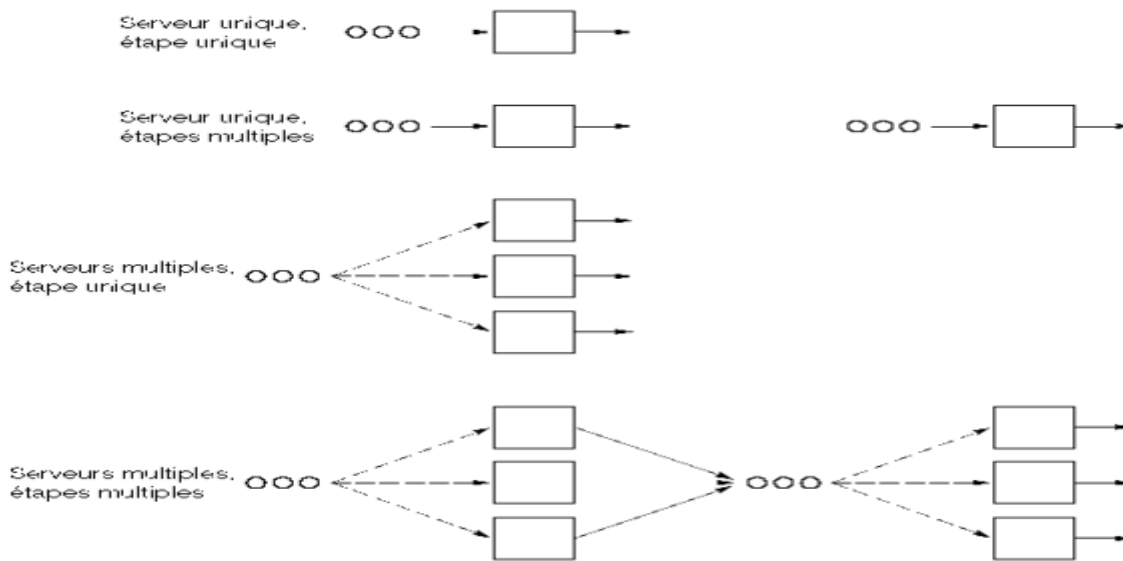
On trouve un autre système mais n'est pas important parce que même description que le système précédent, sauf que la file est limitée à N place.

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

- a $G \{M, G, \dots\}$ précise le processus d'arrivée: M (Markovien) pour un processus de Poisson, G (général) pour un processus quelconque non précisé.
- $G \{M, G, \dots\}$ précise la distribution des durées de service: M (Markovien) pour des durées indépendantes et distribuées exponentiellement avec moyenne identique pour chaque serveur, G pour des durées quelconques.
- $G \{1, 2, \dots, \infty\}$ indique le nombre de serveurs;
- $N \ G \{1, 2, \dots, \infty\}$ précise la capacité du système, c'est-à-dire le nombre de clients qui peuvent Simultanément trouver.

Le paramètre N est souvent omis lorsqu'il vaut $+\infty$. Ainsi, on parlera de systèmes M/M/1, M/M/5/8, M/G/1, etc. Par ailleurs, la notation a/b/c/N est parfois complétée par des champs

➤ alors que le temps de service suit une loi exponentielle. La figure I.4 illustre ces deux distributions [8].



re .II.6. illustration des deux distributions [8].

Fig

II.4. 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 [9].

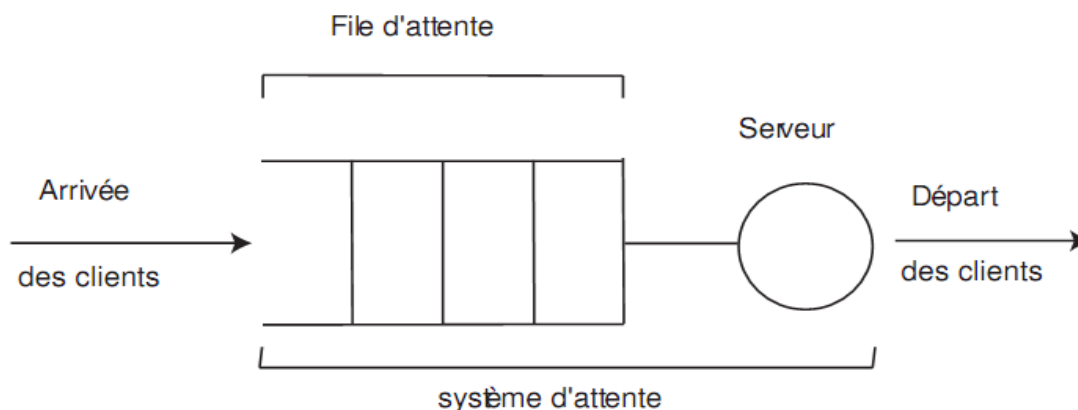


Figure. II .7. Système d'attente [9].

II.4.1. Processus d'arrivée :

L'arrivée des clients à la station sera décrite à l'aide d'un processus stochastique de comptage $(N_t)_{t \geq 0}$.

Si A_n désigne la variable aléatoire mesurant l'instant d'arrivée du $n^{\text{ième}}$ client dans le système, on aura ainsi : $A_0 = 0$ (par convention) et $A_n = \inf\{t ; N_t = n\}$.

Si T_n désigne la variable aléatoire mesurant le temps séparant l'arrivée du $(n-1)^{\text{ième}}$ client et du $n^{\text{ième}}$ client, on a alors : $T_n = A_n - A_{n-1}$.

La plupart du temps, l'arrivée des clients à une file simple est supposée décrite par un processus de renouvellement. Le processus d'arrivée le plus simple et le plus couramment employé est le processus de Poisson. C'est un processus de renouvellement qui est tel que les interarrivées sont distribuées selon une loi exponentielle [9].

On note :

λ : le taux des arrivées.

$1/\lambda$: est l'intervalle moyen entre deux arrivées consécutives.

II.4.2. Temps de service :

Considérons tout d'abord une file à serveur unique.

On note D_n la variable aléatoire mesurant l'instant de départ du $n^{\text{ième}}$ client du système et Y_n la variable aléatoire mesurant le temps de service du $n^{\text{ième}}$ client (temps séparant le début et la fin du service).

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

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

On note μ le taux de service :

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

La distribution du temps de service la plus simple à étudier est la distribution exponentielle. Cependant, la propriété "sans mémoire" de la loi exponentielle fait que celle-ci n'est généralement pas très réaliste pour modéliser les phénomènes réels. On est donc souvent obligé de recourir à d'autres distributions de service [9].

II.4.3. Structure et discipline de la file :

II.4.3.1. Nombre de serveurs :

Une station peut disposer de plusieurs serveurs en parallèle. Soit C le nombre de serveurs. Dès qu'un client arrive à la station, soit il y a un serveur de libre et le client entre instantanément en service, soit tous les serveurs sont occupés et le client se place dans la file en attente de libération d'un des serveurs. La plupart du temps, les serveurs sont supposés identiques (ils possèdent donc la même distribution) et indépendants les uns des autres [12].

Une station particulière est la station IS (infinite servers) dans laquelle le nombre de serveurs est infini. Cette station ne comporte donc pas de file d'attente. Dès qu'un client s'y présente, il trouve en effet instantanément un serveur disponible et entre donc directement en service. Elle permet de représenter des systèmes pour lesquels le nombre de serveurs est toujours supérieur au nombre de clients qui peuvent s'y trouver [12].

II.4.3.2.Capacité de la file :

La capacité de la file à accueillir des clients en attente de service peut être finie ou infinie. Soit K la capacité de la file (incluant le ou les clients en service). Une file à capacité illimitée vérifiée $K = +\infty$. Lorsque la capacité de la file est limitée et qu'un client arrive alors que cette dernière est pleine, le client est perdu [12].

II.4.3.3.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 posé sur la pile) sera le premier traité (retiré de la pile). A nouveau, les disciplines LIFO et LCFS ne sont équivalentes que pour une file monoserveur

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

- Round-Robin (cyclique). Tous les clients de la file d'attente entrent en service à tour de rôle, effectuant un quantum Q de leur temps de service et sont replacés dans la file, jusqu'à ce que leur service soit totalement accompli. Cette discipline de service a été introduite afin de modéliser des systèmes informatiques ;

- PS (Processor Sharing). C'est le cas limite de la distribution Round-Robin lorsque le quantum de temps Q tend vers 0. Tous les clients sont servis en même temps, mais avec une vitesse inversement proportionnelle au nombre de clients simultanément présents. Si le taux du serveur est égal à μ et qu'à un instant donné il y a n clients à la station, tous les clients sont donc servis simultanément avec un taux μ/n (Attention, dire que les n clients sont servis simultanément ne signifie absolument pas qu'ils seront libérés simultanément) [9].

II.4.4. Notations de Kendall :

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

Avec :

T : distribution d'interarrivée

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 [13].

II.4.5. 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 ;
- un ordonnancement dans la file d'attente fonction de leur classe.

Pour définir une file multiclassées, il faut définir pour chaque classe de clients le processus d'arrivée et la distribution du temps de service associés. Il faut également préciser comment les clients des différentes classes s'ordonnent dans la file d'attente. Cela permet d'introduire de nouvelles disciplines de service dites à priorité : PR (préemption) et HOL (hold on line). Par exemple, dans une file parcourue par deux classes de clients, les clients de la classe 1 seront alors toujours "devant" les clients de la classe 2. Pour caractériser une discipline de service prioritaire, il faut de plus préciser si le service est préemptible : lorsqu'un client de classe 2 est en service et qu'un client de classe 1 arrive à la file, est-ce que ce dernier doit attendre que le client de classe 2 ait terminé son service (sans préemption : HOL) ou est-ce que le client de la classe 2 est instantanément remis dans la file (avec préemption : PR) afin de laisser le serveur disponible pour le client de classe 1 ? Dans ce dernier cas, il faut encore distinguer deux sous-cas. Est-ce que le client de classe 2 relégué mémorise le temps de service accompli ou pas [9] ?

II.5. Les réseaux de file d'attente :

Un réseau de file d'attente est un ensemble des files simples (stations) interconnectées. Soit M le nombre de stations du réseau [10].

II.5.1. Les réseaux ouverts :

Dans un réseau de files 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[10].

Processus d'arrivée :

Le processus d'arrivée des clients dans le réseau sera décrit, comme pour une file simple, à l'aide d'un processus de renouvellement (et sera donc caractérisé par la distribution du temps d'interarrivée). Si l'arrivée des clients suit un processus de Poisson, les interarrivées sont expo-nentielles et sont caractérisées par un unique paramètre : le taux d'arrivée λ . Dans le cas d'un processus d'arrivée non poissonien, ce paramètre reste intéressant, puisqu'il indique le nombre moyen de clients qui arrivent dans le système par unité de temps, mais devient insuffisant pour caractériser parfaitement l'arrivée des clients[10].

Il faut en plus préciser, lorsqu'un client arrive dans le réseau, à quelle file il se rend. On caractérisera la plupart du temps le routage d'entrée de façon probabiliste : soit P_{0i} la probabilité pour qu'un client qui arrive se rende à la station i (les probabilités p_{0i} sont bien sûr telles que $\sum_{i=1}^M p_{0i} = 1$) Si les arrivées dans le système sont poissoniennes de taux λ , on montre que le processus d'arrivée des clients (venant uniquement de l'extérieur) à la station i est poissonien de taux $p_{0i} \lambda$.

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 [10].

II.5.2. 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[10].

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 $\sum P_{ij}=1$

II.5.3. Les réseaux multiclassés :

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

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

On est alors amené à caractériser pour chaque classe r :

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

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

On peut également autoriser certains clients à changer de classe lors de leur cheminement dans le réseau. On définit alors P_{rijs} la probabilité pour qu'un client de classe r qui quitte la station i se rende à la station j et se transforme en un client de classe s [10].

II.5.4. Les réseaux de files d'attente à capacité limitée :

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

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

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

Dans un mécanisme de blocage après service (ou blocage de type "système de production"), un client commence sans attendre son service dès l'instant où le serveur est disponible. Ce n'est qu'à la fin de son service qu'un blocage peut survenir. Si la station de destination est pleine, le client reste au niveau du serveur qui se trouve alors bloqué, jusqu'à ce qu'une place se libère en aval [10].

II.5.5. 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 d'es 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.6. Files d'attente markoviennes :

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

II.6.1. La file $M/M/1$:

Cette file est caractérisée par une arrivée poissonnienne de taux λ et une durée de service exponentielle de taux μ [10].

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

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

$$\lambda_n = \lambda$$

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

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

$$\begin{cases} \pi_n = \pi_0 \rho^n \\ \pi_0 = \frac{1}{\sum_{n=0}^{+\infty} \rho^n} = 1 - \rho \end{cases}$$

Donc

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

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

Débit d :

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

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

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

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

Nombre moyen de clients L :

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

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

Soit :

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

Temps moyen de séjour W :

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

qui peut se décomposer en : $W = \frac{1}{\mu} + \frac{\rho}{\mu(1 - \rho)}$

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

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

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

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

II.6.2. 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 λ et le temps de service d'un client est une variable aléatoire exponentielle de taux μ . Soit K la capacité de la file d'attente : c'est le nombre maximal de 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. Ce système est connu sous le nom de file M/M/1/K. L'espace d'états E est maintenant fini : $E = \{0, 1, 2, \dots, K\}$. La capacité de la file étant limitée, même si les clients arrivent en moyenne beaucoup plus vite que ce que le serveur de la file est capable de traiter, dès que celle-ci est pleine, les clients qui se présentent sont rejetés. Le nombre de clients dans la file ne peut donc jamais "partir" à l'infini. De plus, dès qu'un client est autorisé à entrer, il sortira un jour et son temps de séjour dans la file est fini, puisqu'il correspond au temps de service de tous les clients devant lui et que ce nombre est limité par K . Sur un temps très long, le débit de sortie sera donc bien égal au débit d'entrée, ce qui correspond bien à la stabilité inconditionnelle du système.

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

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

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

$$\pi_n = \pi_0 \rho^n \text{ pour } n \leq K$$

$$\pi_n = 0 \text{ pour } n > K$$

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

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 μ dès l'instant où la file n'est pas vide :

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

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

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

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

$$d = \frac{1 - \rho^K}{1 - \rho^{K+1}} \lambda$$

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 $U(K)$

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

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

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

IV.5. Les relations de base :

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

Le taux d'utilisation du système : il représente le rapport entre la demande (mesurée grâce au taux d'arrivée, X) et la capacité de service (produit du nombre de serveurs M par le taux de service [13]).

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

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

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

Le nombre moyen de clients en file :

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

Le nombre de clients dans le système :

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

Le temps moyen d'attente en file :

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

Le temps moyen d'attente le système :

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

Modèle 1: serveur unique, temps de service exponentiel :

Le modèle classique (le plus simple) d'analyse des files d'attente concerne les systèmes comptant un seul serveur (ou une seule équipe). La règle de priorité est « premier entré, premier servi (PEPS) » ; on suppose que le processus d'arrivée suit une loi de Poisson et que le temps de service suit une loi exponentielle. Il n'y a aucune restriction quant à la longueur de la file proprement dite. Le tableau II.1 présente les formules servant à calculer les mesures de performance pour un modèle avec serveur unique. On les utilise conjointement avec les formules de tableau II.1

Tableau II.1 : formules de modèle de base [13].

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

Modèle 2: serveur unique, temps de service constant :

Comme nous l'avons signalé précédemment, les files d'attente sont la conséquence directe de phénomènes aléatoires et du degré élevé de variabilité des taux d'arrivée et de service. Si, dans un système donné, on arrive à diminuer ou à réduire les variations d'un taux ou des deux, on peut également

raccourcir les files d'attente de façon significative. Toutefois, dans le cas où les temps de service sont constants, le nombre moyen de clients qui attendent en file diminue de moitié.

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

Conclusion :

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

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

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

Chapitre III

Application FMD sur le PRESSE de carrelage

Introduction :

Cette partie a pour but de faire à coté de la société SARL AYOUB CARRELAGE (Belaiba)

_ Présentation de la PRESSE de carrelage qui considère un serveur unique.

_ Analyse FMD par utilisation d' historique des pannes de la PRESSE de carrelage .

III.1.Caractéristiques de la machine :

III.1.1. Dimensions et poids :

Corps de la presse	Longueur :3.500 mm
	Largeur : 3.250 mm
	Hauteur : 1.970 mm
	Poids :11.000 kg

Poids total de la presse (moules exclus) : 15.000 kg

Doseur	Poids : 1.500 kg
Série de moules	Poids : 1.500 kg

III.1.2. Puissance installée :

Presse	Centrale hydraulique :	16,6 kw
	Rotation de la table :	1,1 kw
	Vibreux des moules (chacun)	0,8 kw
	Trémie de la deuxième couche	1,1 kw
	Chariot extracteur	1,5 kw

III.2. Installation :

III.2.1. Nivellement :

Après avoir pose le corps de la presse sur la fondation et monte les secteurs de la table rotative. le nivellement doit être effectuée au moyen des vis de réglage contre les plaques d'acier se trouvant en-dessous du bâti de la presse. La machine doit être fixée sur la fondation au moyen des tirants de fondation, Ces derniers doivent être cimentés dans les cavités pertinentes de la fondation.

Le bâti de la presse doit ensuite être soigneusement cimenté sur la fondation. La trémie, la centrale hydraulique de la presse, le chariot extracteur et le doseur doivent être nivelés au moyen des vis de réglage puis fixés au sol l'aide des tirants de fondation [14].

III.2.2. Branchement au réseau d'air comprimé :

La machine doit être alimentée par le réseau externe d'air comprimé. Le branchement est effectué dans la cabine pneumatique au moyen d'un raccord qui doit avoir la dimension indiquée sur le plan de fondation.

L'air comprimé doit être le plus propre et sec possible. En conséquence, il doit entrer dans le circuit de la presse à travers un filtre doté d'un système de décharge de l'eau condensée. La pression pneumatique ne doit jamais être inférieure à 8 bar. Les valeurs correctes de la pression pour les différents dispositifs/mouvements sont indiquées dans le paragraphe relatif aux réglages [14].

III.2.3. Branchement au réseau hydrique :

Les centrales hydrauliques de la presse et du doseur sont normalement dotées d'échangeurs de chaleur eau-huile pour le refroidissement de l'huile en circulation. En conséquence, elles doivent être branchées au réseau hydrique au moyen des connexions pertinentes. La pression de l'eau doit être de 1-1,5 bar. Dans le cas où le refroidissement de l'huile serait effectué au moyen d'échangeurs de chaleur air-huile, aucun branchement n'est requis [14].

III.2.4. Alimentation en huile :

Les centrales hydrauliques de la presse et du doseur doivent être remplies d'huile jusqu'au niveau MAX indiqué sur les réservoirs.

La qualité de l'huile est la suivante MOBIL DTE25 ou IP IDRUS OIL 46 ou équivalente. Les réducteurs à engrenages et les graisseurs sont déjà alimentés de lubrifiant dont le niveau doit être contrôlé pendant les opérations d'entretien. Pour chaque centrale, il convient de contrôler (l'alimentation électrique et le sens de rotation des moteurs et de régler la pression hydraulique aux valeurs requises).

III.2.5. Branchement au réseau électrique :

Le schéma électrique se trouve dans l'armoire électrique avec les appareils de commande. La machine est prête pour la connexion. Connecter la ligne électrique d'alimentation aux bornes d'entrée R.S.T. connectées au sectionneur de ligne [QS1].

L'armoire électrique est connectée à la boîte générale de dérivation de la presse au moyen de câbles. Le corps de la presse est connecté au moyen de câbles à la trémie, au chariot (le cas échéant), à la centrale hydraulique et au doseur. Tous les câbles sont numérotés. Lorsque la connexion est terminée, contrôler si le sens de rotation des moteurs correspond à celui qui est indiqué par la flèche. La ligne triphasée d'alimentation externe RST doit être connectée aux bornes RST1 [QS1].

Il convient ensuite de fermer les interrupteurs suivants montés électrique :

- interrupteur automatique tripolaire - protection des circuits de commande [QF1];
- interrupteur automatique bipolaire - protection du circuit transformateur à 220V approx. [QF2]

La machine est prête pour la mise en marche [14].

III.3.Fonctionnement :

III.3.1.Cycle de travail :

Les différentes phases de travail sont énumérées ci-dessous.

III.3.1.1. La fermeture des moules pendant la vibration et le pressage :

La fermeture des moules est réalisée au moyen d'un système pneumatique, ce qui présente les avantages suivants :

- elle est réglable en fonction de la dimension des moules et de l'état des fonds de moule;
- elle est rapide en raison du fait qu'elle peut être exécutée pendant la rotation de la table;
- elle est simple.

Une fermeture insuffisante est imputable aux raisons suivantes :

- force de fermeture insuffisante;
- force de fermeture excessive, ce qui provoque la flexion du moule;
- mauvais état des fonds de moule ou des chemises;
- quantité excessive de particules fines ou humidité excessive dans la première couche;
- quantité insuffisante ou excessive de particules fines dans la deuxième couche.

L'ouverture des moules est réalisée au moyen d'un circuit pneumatique indépendante de celui du précédent [15].

III.3.1.2.Dosage de la première couche :

Le dosage de la première couche dans les cavités du moule doit être précis.

En conséquence.

1- la composition et l'humidité du mélange doivent être régulières et constantes:

2- le niveau du mélange à l'intérieur du doseur doit être presque constant. À cette fin, le mélange doit être versé en petites quantités; normalement au moyen d'un tapis commandé par la sonde de niveau du doseur.

III.3.1.3. Vibration de la première couche :

Afin de permettre une répartition parfaite du mélange à l'intérieur du moule, les moules et les stations vibrantes doivent être rigoureusement nivelés et parfaitement réglés.

III.3.1.4. Répartition de la première couche à l'intérieur du moule :

Une répartition parfaite de la première couche à l'intérieur du moule découle d'une vibration longue et correcte.

- Lorsque la vibration est insuffisante, la viscosité du mélange doit être réduite non pas en augmentant-la quantité d'eau mais en diminuant la quantité de particules fines présentes dans le mélange.
- En outre, a la fin de la durée de vibration préétablie, la vibration doit cesser instantanément, sans effectuer de nouvelle secousse qui risquerait d'empêcher la répartition correcte du mélange.
- D'un point de vue technologique, la fonction la plus utile consisterai faire sortir l'excès d'humidité afin de faciliter son absorption par la deuxième couche sache.

Une répartition correcte du mélange est caractérisée par une couche liquide sur toute la surface de ce dernier.

Une répartition correcte de la première couche permet également

- une répartition uniforme des granulats
- une réduction des bulles d'air dans le mélange,
- une épaisseur uniforme de la première couche;
- le dépôt de presque tous les granulats sur la surface.

L'épaisseur de la première couche peut varier considérablement

- par nécessité, en fonction de la dimension des granulats (a la fin de la répartition, seuls les points les plus hauts peuvent dépasser le niveau du mélange);
- aux fins d'économie. lorsque les composants de la première couche sont très couteux.

Généralement, l'épaisseur de la première couche :

- n'est pas inférieure au tiers de la hauteur du moule;
- n'est pas supérieure a la moitié de la hauteur du moule.

III.3.1.5. Chargement de la deuxième couche – trémie :

Le mouvement avant-arrière du tiroir de la trémie est effectuée au moyen d'un réducteur a vis sans fin. La course du tiroir peut être simple ou double.

III.3.1.6. Pressage du carreau :

Le carreau est normalement pressé a une pression de 70 kg/cm² pour les carreaux granito a 120 kg/cm² pour les carreaux d'extérieur.

Pour les carreaux granito, la pression est limitée en raison du fait que certains marbres ne sont pas très durs et qu'il risquent de se rompre de particulier lorsque les granulats sont gros.

La presse, est dotée d'une station de pré-compression, qui permet d'augmenter l'absorption de l'humidité de la première couche par la deuxième couche [15].

Lorsque la pression est insuffisante, les fonds de moule restent humides: Lorsque ce problème persiste, le carreau risque de coller au fond de moule.

La rupture des granulats est imputable aux raisons suivantes :

- dureté insuffisante des granulats;
- granulats trop gros par rapport à la hauteur du moule.

III.3.1.7. Démoulage :

Pour leur démoulage, les carreaux sont soulevés de leurs moules.

La chute des carreaux pendant le démoulage ou la formation de petites fissures horizontales est imputable aux raisons suivantes :

- présence de granulats trop gros dans la deuxième couche:
- pression excessive:
- usure excessive des chemises;
- humidité excessive dans la première couche ou l'ensemble du carreau.

III.3.2. Description du fonctionnement :

III.3.2.1. Rotation de la table :

La rotation de la table est commandée par les dispositifs suivants :

- moteur de la table [MI]
- fin de course de sécurité - centrage de la table rotative
- fin de course de sécurité - démouleur
- fin de course de sécurité – deuxième pressage
- fin de course de sécurité - chariot
- fin de course de sécurité - trémie
- fin de course de sécurité - protections de sécurité
- pressostat - air circuit pneumatique (station nettoyage)
- interrupteur à deux positions - travail/entretien
- fin de course - centrage de la table
- fin de course - arrêt du réducteur de la Croix de Malte en position
- interrupteur à trois positions - commande et arrêt de la table avec/sans trémie

- interrupteur a 3 positions - rotation de la table avec/sans chariot extracteur
- interrupteur a 3 positions – course simple/double de la trémie
- bouton marche - rotation de la table
- bouton arrêt - rotation de la table
- interrupteur commandes manuelles
- bouton – répétition pressage
- pressostat - centrale hydraulique
- thermostat - huile centrale hydraulique
- fin de course de sécurité – premier pressage

Lorsque la table se trouve dans la station, le réducteur de la croix de Malte tourne jusqu'à ce que la fin de course de centrage déconnecte toutes les fins de course de sécurité II s'arrête a la fermeture de la fin de course d'arrêt du réducteur.

III.3.2.2.Freinage du moteur de rotation de la table :

Le freinage de la table est commandé par les dispositifs suivants :

Frein électromagnétique triphasé du moteur de rotation de la table [M1]

III.3.2.3.Freinage de la table rotative :

Le freinage de la table rotative est commande par les dispositifs suivante:

- électrovanne pneumatique
- contacteur [KM1]
- fin de course - freinage de la table

III.3.2.4.Lubrification de la Croix de Malte :

Les secteurs de (a Croix de Malte sent lubrifies par les feutres intérieurs lorsqu'ils entrent en contact avec le secteur de la manivelle. Les guides de la Croix de 'Matte sont lubrifies par le de la manivelle lorsqu'il est pousse par le poussoir de la boite de lubrification. En conséquence, le cycle de lubrification est répété a chaque déplacement de la table.

Les secteurs sont remplis en huile au moyen des graisseurs places sur carter central de la table tournante.

III.3.2.5.Dosage de la première couche STP 425 :

Le doseur de la première couche est dote des dispositifs suivants :

- moteur a double vitesse - agitateur [M4]

- contacteur --agitateur rapide [KM5]
- interrupteur automatique – agitateur rapide
- contacteur - agitateur lent [KM6]
- interrupteur automatique - agitateur lent
- prise triphasée - alimentation du tapis
- moteur de la pompe du doseur [M5]
- contacteur - pompe du doseur [KM9]
- interrupteur automatique - pompe du doseur
- bouton marche - impulsion agitateur
- bouton arrêt - agitateur [SB9]
- bouton marche - agitateur [SB10]
- interrupteur - sélecteur de la vitesse de l'agitateur
- bouton arrêt pompe du doseur [SB12]
- bouton marche - pompe du doseur
- interface électrovanne pneumatique - gicleur du doseur
- interface électrovanne hydraulique – doseur en avant
- électrovanne hydraulique – doseur en arrière
- interrupteur a clé - déchargement manuel du doseur
- interrupteur a clé – chargement manuel du doseur
- fin de course - doseur en position de déchargement
- fin de course - doseur en position de chargement

III.3.2.6.Sonde de niveau du doseur :

L'alimentation du doseur est effectuée par un tapis place en dehors de la presse, commandé par les dispositifs suivants :

- contacteur - tapis d'alimentation du doseur [KM8]
- interrupteur automatique - protection du moteur du tapis
- sonde de niveau - doseur [Bp]

- temporisateur [T5] – durée de l'arrêt du tapis avec la cuve du doseur pleine

III.3.2.7. Vibreur plongeant VT2000/8 :

Le vibreur plongeant est constitué des dispositifs suivants :

- dispositif pneumatique à mouvement vertical pour le rapprochement des grilles oscillantes du mélange.
- dispositif pneumatique d'oscillation horizontale des grilles pour le nivellement du mélange.

III.3.2.8. La vibration des moules :

La vibration des moules est commandée par les dispositifs suivants :

- 8 moteurs électriques [M12.1... .M12.8]
- 8 contacteurs [KM8.1KM8 8]
- contacteur – vibration des moules [KM16]
- contacteur - freinage de la vibration des moules [KM17]
- 8 interrupteur automatique – protection des moteurs
- 8 fins de course montées sur la table rotative
- fin de course – freinage de la vibration des moules
- bouton - marche des vibreurs des moules
- bouton - arrêt des vibreurs des moules
- interrupteur automatique – protection inversion des moteurs

III.3.2.9. Chargement de la deuxième couche – trémie :

Le mouvement avant-arrière du tiroir de la trémie est effectuée au moyen d'un réducteur à vis sans fin. La course du tiroir peut être simple ou double.

La trémie est constituée des dispositifs suivants :

- moteur trémie [M6]
- inverter - moteur trémie
- interrupteur automatique – moteur trémie
- prise triphasée – tapis d'alimentation de la trémie
- contacteur – tapis d'alimentation de la trémie [KM 19]
- moteur - vibreur fixe de la trémie [M7]
- contacteur - vibreur fixe de la trémie [KM11]

- interrupteur automatique - vibreur fixe de la trémie
- interrupteur a trois positions - trémie course simple ou double
- bouton - impulsion manuelle de la trémie
- fin de course - impulsion trémie
- interrupteur automatique - vibreur glissière trémie
- moteur vibreur glissière trémie [M9]
- contacteur vibreur glissière trémie [KM13]

III.3.2.10. Centrage de la table et pressage oledynamique :

Le circuit électrique est constitué des dispositifs suivants :

- moteur - pompe deuxième de pressage [M2]
- interrupteur automatique - pompe de deuxième pressage
- contacteur - pompe de deuxième pressage [KM3]
- fin de course – extra course de deuxième pressage
- pressostat - centrale hydraulique
- thermostat sonde thermique - huile de la centrale hydraulique
- électrovanne pneumatique - pressage
- électrovanne pneumatique - centrage de la table
- moteur - pompe de premier pressage [M3]
- interrupteur automatique - pompe de premier pressage , contacteur - pompe de pressage [KM4]
- fin de course - centrage insère
- fin de course - extra course de premier pressage
- interface électrovanne hydraulique - premier pressage
- électrovanne pneumatique - centrage de la table

III.3.2.11. Chariot extracteur SLIM 240 et démouleur pneumatique :

Le mouvement du chariot extracteur est synchronisé avec le démouleur pneumatique de la presse au moyen des dispositifs suivants :

- moteur - chariot extracteur [M11]
- contacteur moteur chariot SLIM

- interrupteur automatique - chariot extracteur
- électrovanne pneumatique - montée pelle
- électrovanne pneumatique - descente pelle
- interface - mouvement en arrière chariot extracteur
- bouton -chariot extracteur en avant
- bouton - chariot extracteur en arrière
- bouton - montée pelle
- bouton - descente pelle
- bouton - montée démouleur
- bouton - descente démouleur
- fin de course - ralentissement mouvement avant chariot
- fin de course - ralentissement mouvement arrière chariot
- interface-ralentissement mouvement en avant chariot
- interface - mouvement avant chariot , fin de course - chariot avant
- fin de course - sécurité démouleur
- fin de course - sécurité chariot
- fin de course - démouleur en bas
- interface - ralentissement mouvement en auto. chariot
- fin de course - moule en haut station démouleur
- photocellule - contrôle chariot
- électrovanne pneumatique - descente démouleur

III.4. Sécurité sur le lieu de travail :

III.4.1. Risque d'écrasement :

Risque d'écrasement entre les éléments en mouvement de la presse et les structures fixes de la machine et/ou les alentours.

Afin d'éviter ce risque, l'accès a la pièce dans laquelle la machine et ses accessoires tournent doit être limite par une barrière de sécurité.

Le sélecteur doit être tourne de la position de blocage a la position de déblocage.

L'opérateur, qui doit conserver la clé à la fin du travail, réinsère la clé et, après avoir remis le sélecteur dans la position de blocage, appuie sur le bouton afin de remettre la machine en marche.

Le démarrage imminent du travail est signalé par le retentissement d'une sirène pendant plusieurs secondes [14].

III.4.2. Risque de perforation :

Certains éléments de la machine ou résidus du travail peuvent provoquer des perforations pendant les opérations d'entretien.

En conséquence, toutes les opérations d'entretien doivent être effectuées en portant des dispositifs de protection individuelle.

III.4.3. Risque de glissement, de trébuchement et de chute :

Le personnel circulant autour de la machine doit porter des dispositifs de protection individuelle appropriés (bâtes) et être le plus prudent possible [14].

III.5.L'analyse FMD :

III.5.1.Historique des pannes :

D'après l'historique et les interventions de la PRESSE (du mai 2010 à janvier 2013) on a les pannes qui répètent plusieurs fois et quel besoin de temps pour le réparer :

- Les godets et de la plaque d'obturation n'avancent pas
- La soufflage de l'aire ne s'active pas
- La plaque d'obturation ne recule pas
- La plaque d'obturation n'avance pas
- Le dispositif ne descend pas dans le moule
- Le dispositif n'oscille pas pendant la descente
- Le dispositif ne monte pas
- Les tampons de pressage ne descendent pas rapidement
- Les tampons de pressage ne ralentissent pas et ne descendent pas lentement sur le matériau
- Le pressage n'est pas réalisé à la valeur de pression nécessaire en fonction du format du produit à mouler et du temps imposé
- Les tampons de pressage ne remontent pas lentement
- Les tampons de pressage ne remontent pas rapidement
- Le châssis porte-moules ne se soulève pas

- Les supports des moules ne se positionnent pas sous le châssis porte-moules
- Les tampons de démoulage ne descendent
- Fonctionnement irrégulier de la vibration
- Le freinage du plateau porte-moules entre deux stations ne fonctionne pas

III.5.2. Algorithme de l'étude de la loi de "Weibull" :

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

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

On calcule $F(t)$ Théorique.

$$F(t)_{théo} = \frac{\sum ni - 0.3}{N + 0.4} \quad N > 20$$

ET :

$$F(t)_{théo} = \frac{\sum Ni}{N + 0.4} \quad N \leq 20$$

Table. III.1. Les temps d'arrêt de PRESSE :

N	T.R	TBF
1	5	450
2	3	398
3	1.5	285
4	7	301
5	2	113
6	1	194
7	0.5	207
8	14	85
9	24	199
10	3	315
11	2	291
12	15	237
13	29	95
14	11	109
15	10	189
16	9	203
17	1.5	65
18	3	241
19	4	193
20	2	66.5
21	13	182
22	10	213
23	13	188
24	48	116
25	7	192

Table.III .2 . Application du modèle de Weibull :

TBF	Ni	$\sum ni$	F(t) théo
65	1	1	0.039
66.5	1	2	0.066
85	1	3	0.106
95	1	4	0.145
109	1	5	0.185
113	1	6	0.224
116	1	7	0.263
182	1	8	0.303
188	1	9	0.342
189	1	10	0.381
192	1	11	0.421
193	1	12	0.460
194	1	13	0.500
199	1	14	0.539
203	1	15	0.578
207	1	16	0.618
213	1	17	0.657
237	1	18	0.696
241	1	19	0.736
285	1	20	0.775
291	1	21	0.814
301	1	22	0.854
315	1	23	0.893
398	1	24	0.933
450	1	25	0.972

III.5.3. Paramètres de la loi de weibull en logiciel Log – LAALA :

The screenshot shows the 'FIABILITE' software window with the 'Courbes' tab selected. A table lists data points: N° 23 (TBF 315), 24 (398), and 25 (450). Below, the 'Resultats de l'analyse statistique' section displays parameters for four distributions: LOG-NOR, NORMALE, EXPONEN-, and WEIBULL. The WEIBULL distribution parameters are: Beta = 2.1112, MTBF = 207.2697, Eta = 234.4539, and TEST K-S >20%.

N°	TBF
23	315
24	398
25	450

Loi LOG-NOR		Loi NORMALE		Loi EXPONEN-		Loi WEIBULL	
Ecart	5.2058	Ecart	97.2979	Landa	0.0049	Beta	2.1112
Mu	0.5163	MTBF	205.1000	MTBF	205.1000	MTBF	207.2697
MTBF	208.3282	TEST K-S	>20%	TEST K-S	>20%	Eta	234.4539
TEST K-S	>20%					TEST K-S	>20%

Figure III.1. Logiciel Log-LAALA [16].

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

$$\beta = 2.1112$$

$$\eta = 234.4539$$

$$\gamma = 0$$

$$MTBF = 207.2697$$

III.5.4. Test de (Kolmogorov Smirnov) :

Ce test consiste à calculer l'écart entre la fonction théorique $F(t)$ théo et la fonction réelle $F(t)$ réel et prendre le maximum en valeur absolue $D_n.max$

Cette valeur est comparée avec $D_n.\alpha$ Qui est donnée par la table de Kolmogorov

- Si $D_n. Max > D_n. \alpha$, on refuse l'hypothèse du modèle théorique.
- Si $D_n. Max < D_n. \alpha$, on accepte l'hypothèse du modèle théorique.

N.B : la valeur de $D_n.\alpha$ est donnée par la table de Kolmogorov-Smirnov.

- ici on a : $N=25 > 20 \rightarrow \alpha = 0.05 = 5\%$

Table.III.3. Test de Kolmogorov Smirnov:

N	TBF	F(t) rell	F(t) théo	F(t)r-F(t)t
1	65	0.0645	0.027	0.0375
2	66.5	0.0675	0.066	0.0015
3	85	0.1108	0.106	0.0048
4	95	0.1380	0.145	0.007
5	109	0.1800	0.185	0.005
6	113	0.1928	0.224	0.0312
7	116	0.2026	0.263	0.0604
8	182	0.4434	0.303	0.1404
9	188	0.4660	0.342	0.124
10	189	0.4698	0.381	0.0888
11	192	0.4810	0.421	0.06
12	193	0.4848	0.460	0.0248
13	194	0.4885	0.500	0.0115
14	199	0.5071	0.539	0.0319
15	203	0.5218	0.578	0.0562
16	207	0.5364	0.618	0.0816
17	213	0.5581	0.675	0.0989
18	237	0.6405	0.696	0.0555
19	241	0.6535	0.736	0.0825
20	285	0.7791	0.775	0.0041
21	291	0.7936	0.814	0.0204
22	301	0.8163	0.854	0.0377
23	315	0.8452	0.893	0.0478
24	398	0.9529	0.933	0.0199

25	450	0.9810	0.972	0.091
----	-----	--------	-------	-------

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

$$D_{n,\alpha} = D_{25,0.05} = 0.1404$$

Alors si nous revenons à la table ,nous constatons que la valeur max est :

$$D_{n,\max} = 0.1404$$

$$\Rightarrow 0.1404 < 0.375 \Rightarrow D_{n,\max} < D_{n,\alpha}$$

Donc le modèle de weibulle est acceptable .

III.5.5. Etude de modèle de Weibull :**Table. III.4. Étude de modèle de weibull :**

N	TBF	F(t) r	f(t)	$\lambda(t)$	R(t)
1	65	0.0645	0.0022	0.0024	0.9355
2	66.5	0.0675	0.0022	0.0023	0.9325
3	85	0.1108	0.0029	0.0032	0.8892
4	95	0.1380	0.0034	0.0039	0.8620
5	109	0.1800	0.0038	0.0046	0.8200
6	113	0.1928	0.0040	0.0049	0.8072
7	116	0.2026	0.0041	0.0051	0.7974
8	182	0.4434	0.0068	0.0122	0.5566
9	188	0.4660	0.0070	0.0131	0.5340
10	189	0.4698	0.0071	0.0133	0.5302
11	192	0.4810	0.0072	0.0138	0.5190
12	193	0.4848	0.0073	0.0141	0.5152
13	194	0.4885	0.0073	0.0142	0.5115
14	199	0.5071	0.0075	0.0152	0.4929
15	203	0.5218	0.0077	0.0161	0.4782
16	207	0.5364	0.0078	0.0168	0.4636
17	213	0.5581	0.0081	0.0183	0.4419
18	237	0.6405	0.0090	0.0250	0.3595
19	241	0.6535	0.0093	0.0268	0.3465
20	285	0.7791	0.0112	0.0507	0.2209
21	291	0.7936	0.0115	0.0557	0.2064
22	301	0.8163	0.0119	0.0647	0.1837
23	315	0.8452	0.0125	0.0789	0.1548
24	398	0.9529	0.0162	0.3439	0.0471
25	450	0.9810	0.0186	0.9780	0.019

En tracer Les trois courbes des fonctions "Densité De Probabilité, Répartition, Taux De Défaillance", successivement qui sont liées du concept de la fonction fiabilité, ensuite on trace la courbe de la fonction fiabilité.

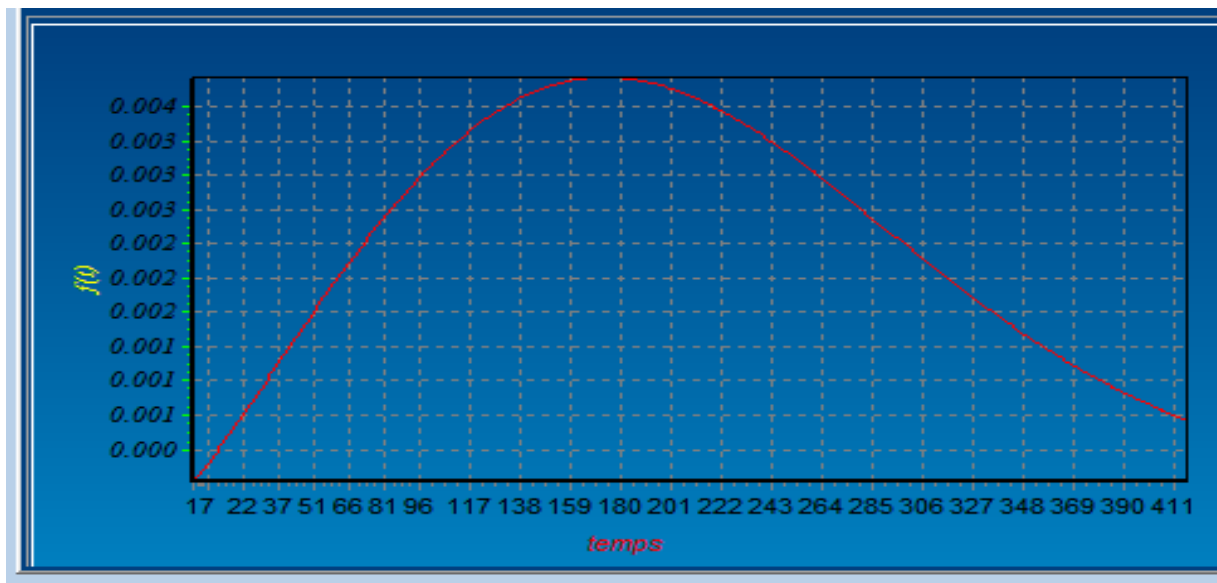


Figure III.2. Courbe de densité de probabilité.

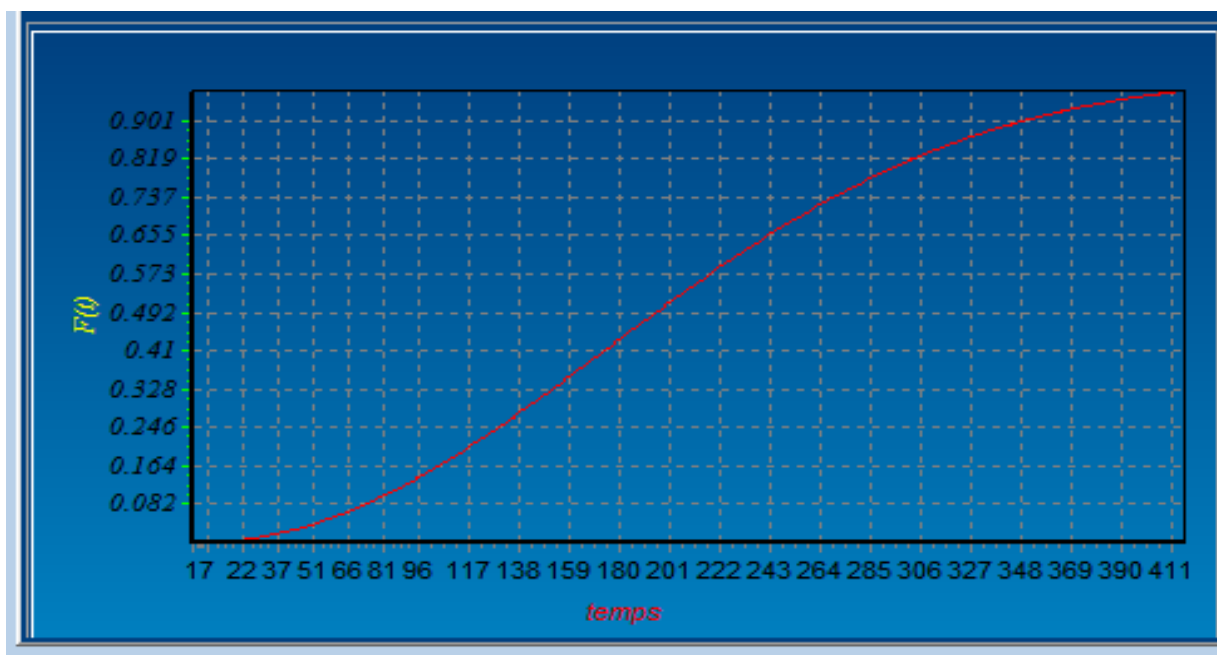


Figure III.3. courbe de fonction de répartition.

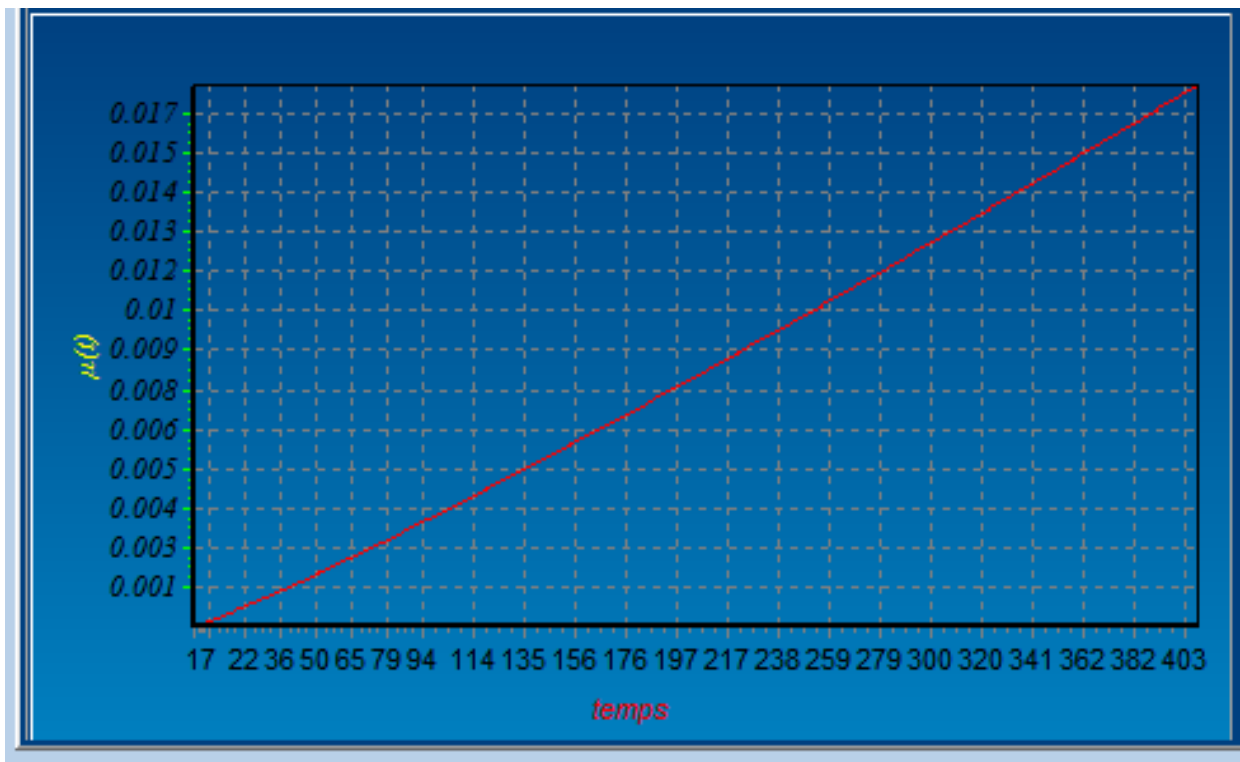


Figure III.4. Courbe de taux de défaillance.

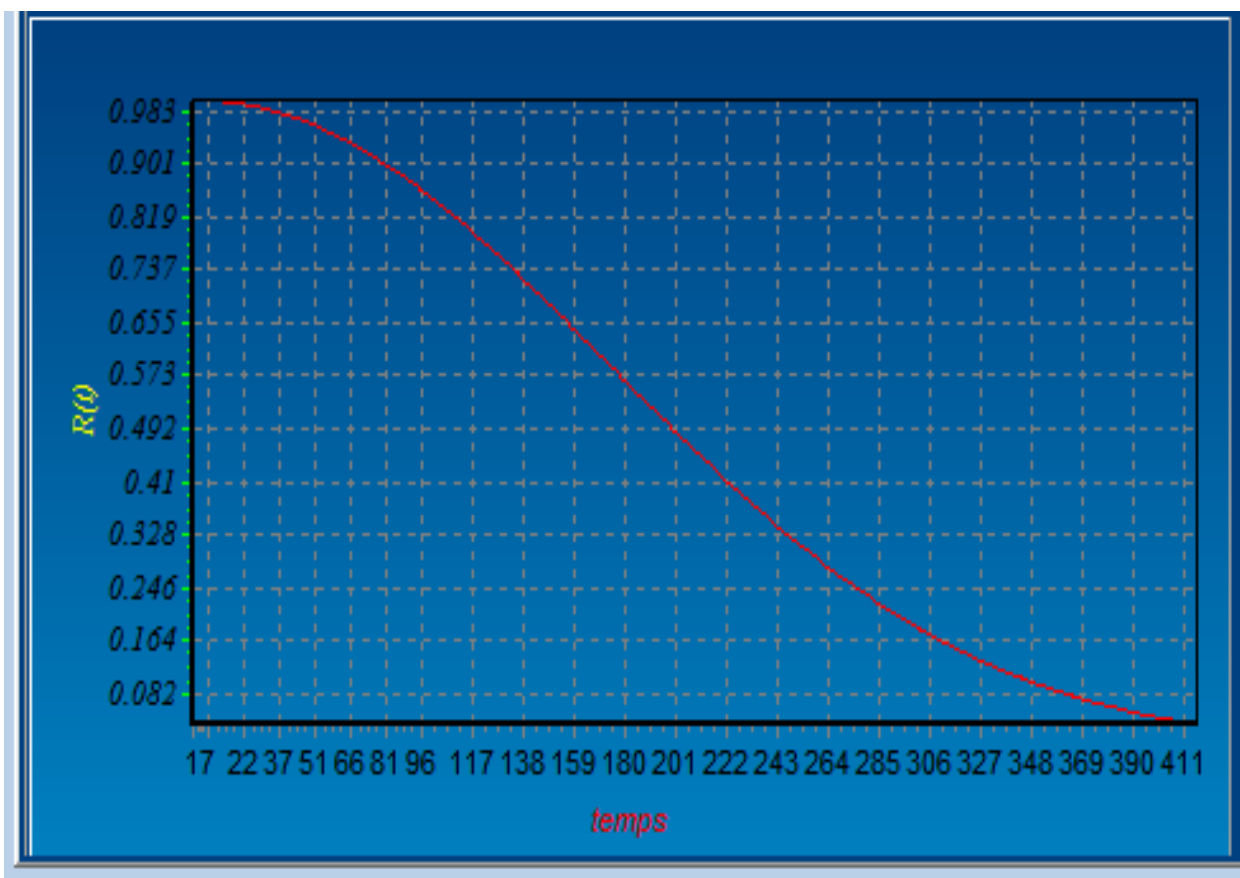


Figure III.5. courbe de fonction de fiabilité.

III.5.6. Interprétation des courbes :

La courbe de fiabilité de la machine presse est une courbe descendante, le moyen du temps de bon fonctionnement est 207.2697 heures (pour chaque mois).

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

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

La courbe qui représente le taux de défaillance à un instant donné est une courbe croissante.

$\beta = 2.1112$ ne correspond pas à la zone de décroissance rapide c'est la période de mise en place et de déverminage de l'installation. Les défaillances sont dues à des anomalies ou des imperfections de montage ou à la méconnaissance de la conduite du matériel de la part des opérateurs, c.-à-d. que le taux de défaillance augmente aussi avec l'augmentation du temps de bon fonctionnement, cette augmentation qui provoque la diminution de fiabilité de la machine.

III.5.7. Maintenabilité intrinseque : [8]

Moyenne des temps de réparation MTTR :

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

Taux de réparation :

$$\mu = \frac{1}{MTTR} \text{ int /h}$$

Dans la plus par cas $M(t)$ est constant :

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

$$MTTR = \frac{238.5}{25} = 9.54$$

$$\mu = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{9.54} = 0.1048 \text{ h /int}$$

$$M e (t) = 1 - e^{-0.1048 t}$$

Table. III .5 Tableau de maintenabilité :

N	TR	M(t)
1	5	0.4079
2	3	0.2698
3	1.5	0.1455
4	7	0.5198
5	2	0.1891
6	1	0.0995
7	0.5	0.0511
8	14	0.7694
9	24	0.9192
10	3	0.2698
11	2	0.1891
12	15	0.7924
13	29	0.9521
14	11	0.6842
15	10	0.6494
16	9	0.6106
17	1.5	0.1455
18	3	0.2698
19	4	0.3424
20	2	0.1891
21	13	0.7440
22	10	0.6494
23	13	0.7440
24	48	0.9935
25	7	0.5198

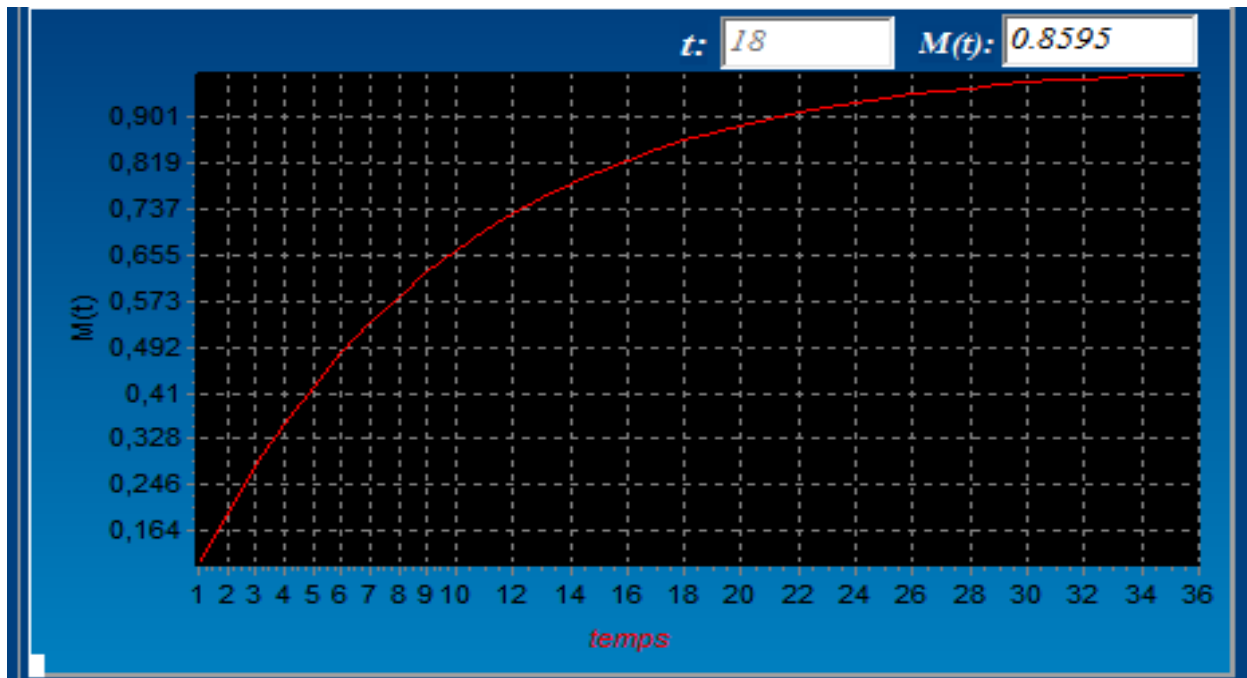


Figure III.6. Courbe de maintenabilité .

A partir de logiciel LOG _ LAALA, On déduire les paramètres :

$$MTTR= 9.17$$

$$\mu \text{ (taux de réparation)} = 0.109015 \text{ h / int}$$

$$M(t) = 0.8433$$

$$t = 17$$

III.5.8. Interprétation de la courbe de maintenabilité :

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

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

III.5.9. La disponibilité : [9]

III.5.9.1. Analyse numérique de disponibilité intrinsèque :

$$D_i = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{207.2697}{207.2697 + 9.17}$$

$$D_i = 0.9576$$

III.5.9.2. Analyse numérique de disponibilité instantanée :

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{1}{MTBF} = \frac{1}{207.2697}$$

$$\lambda = 0.00482$$

$$MTTR = \frac{1}{\mu} \Rightarrow \mu = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{9.17}$$

$$\mu = 0.1090$$

$$\frac{\lambda}{\lambda + \mu} = \frac{0.00482}{0.00482 + 0.1090} = 0.0423$$

$$\frac{\mu}{\mu + \lambda} = \frac{0.1090}{0.00482 + 0.1090} = 0.9576$$

$$\mu + \lambda = 0.11382$$

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

$$D(t) = 0.9576 + 0.0423 e^{-0.11382 t}$$

Table. III .6 Tableau de disponibilité :

N	TBF	D (t)
1	65	0.9576
2	66.5	0.9576
3	85	0.9576
4	95	0.9576
5	109	0.9576
6	113	0.9576
7	116	0.9576
8	182	0.9576
9	188	0.9576
10	189	0.9576
11	192	0.9576
12	193	0.9576
13	194	0.9576
14	199	0.9576
15	203	0.9576
16	207	0.9576
17	213	0.9576
18	237	0.9576
19	241	0.9576
20	285	0.9576
21	291	0.9576
22	301	0.9576
23	315	0.9576
24	398	0.9576
25	450	0.9576

A partir de logiciel LOG _ LAALA, On déduire les paramètres :

MTTR= 8.73

MTBF= 183.13

Disponibilité - Asymp = 0.95

$D(t) = 0.9545$

$t = 311$

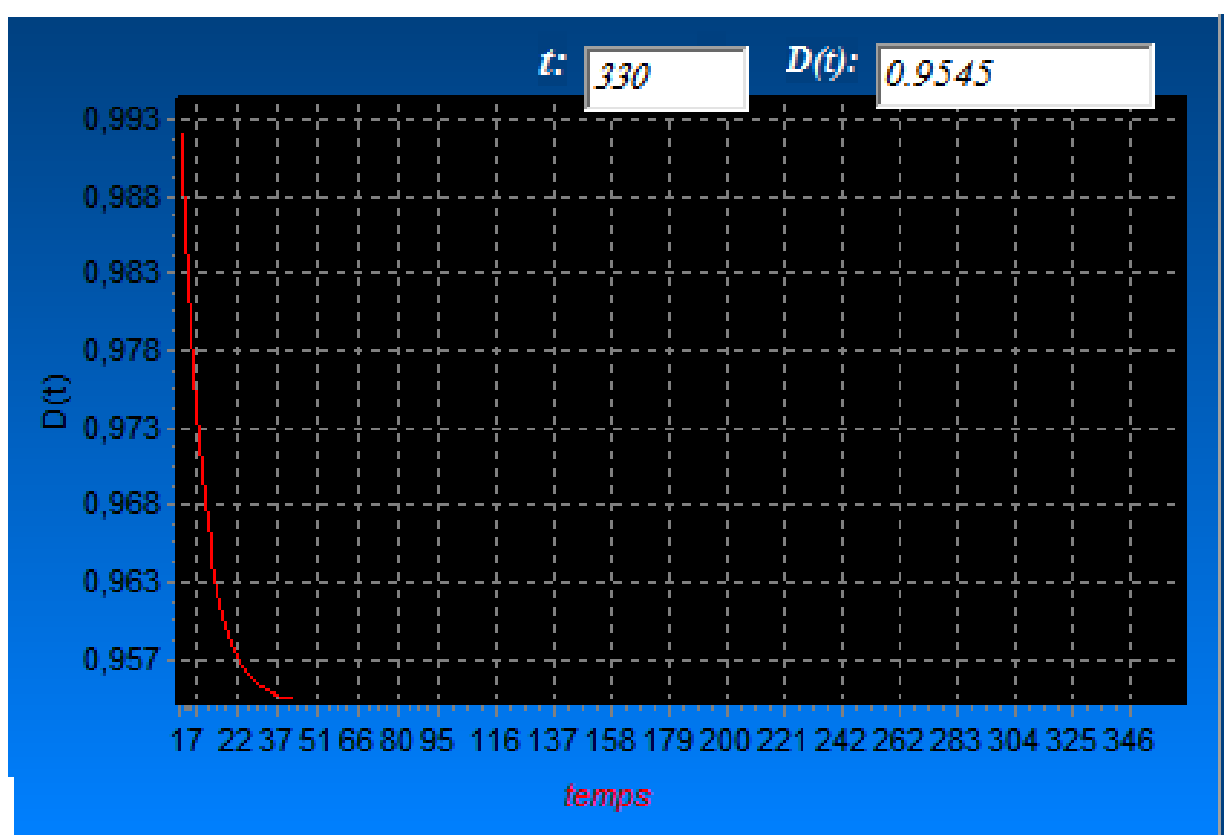


Figure. III.7.Courbe de disponibilité.

III.5.10. Interprétation de la courbe de disponibilité :

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

Conclusion :

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

Chapitre IV

Détermination des
paramètres de file d'attente
par Interface graphique

Introduction :

Dans ce chapitre, on présentera les procédures de création et de calcul dans l'interface de paramètre de file d'attente en vue de Matlab, avec possibilité d'entrée et changé les donnée de cahier de charge, et le choix des normes et les dimension de carreau , enfin l'affichage des résultats du paramètre de file d'attente dans une partie spécifique,

Cette interface il comporte plusieurs boutons pour la commande sur ce dernier (Calcul &, effacer, fermer).

IV.1. L'interface environ Matlab :

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

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

IV.1.1. Les fonctions (SETAPPDATA, GETAPPDATA, et FINDOBJ) :

Le fichier (GUI_APPDATA_FINDOBJ.m) montre l'utilisation des fonctions (SETAPPDATA, et GETAPPDATA) pour gérer les variables et l'utilisation de la fonction (FINDOBJ) pour les identifiants des objets graphiques pendant l'exécution de l'interface graphique. L'utilisation des fonctions (SETAPPDATA, GETAPPDATA, et FINDOBJ), cette méthode est très flexible et très fiable si le choix du nom des variables d'application est fait judicieusement. Cette méthode peut aussi être utilisée dans le cadre d'interfaces complexes à plusieurs fenêtres. Dans ce cas, il est commode de stocker les variables d'application dans l'objet graphique, [17, 18].

IV.1.2. Le fichier GUI (GUIDATA, GUIHANDLES) :

Le fichier (GUI_GUIDATA_GUIHANDLES.m) montre l'utilisation des fonctions (GUIDATA et GUIHANDLES). La fonction (GUIDATA) est utilisée pour stocker et retrouver les variables et la fonction (GUIHANDLES) est utilisée pour gérer les identifiants des objets. L'utilisation des fonctions (GUIDATA/GUIHANDLES), [17, 18] : cette méthode est également très flexible et peut être utilisée avec un code généré par le GUIDE.

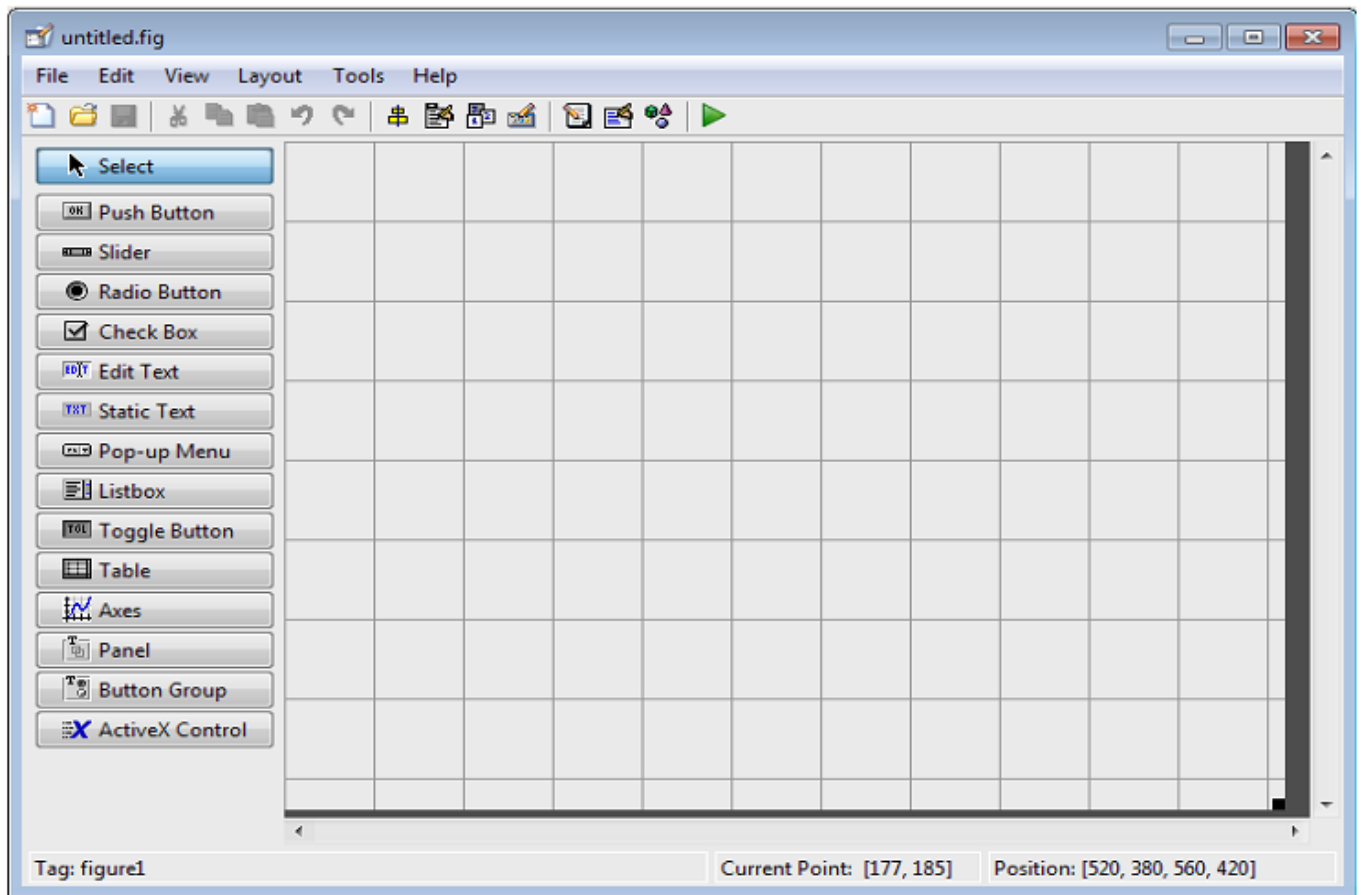


Figure IV.1 : Menu Principale du Bloc Guide.

IV.1.3. Les fonctions Inspector :

Le fichier (GUI_INSPECTOR_FUNC.m), montre l'utilisation des fonctions (Color, Axes, Tag, Position, Enable, Style,...). Ce type de fonctions a été intégré dans la version de Matlab 7. Elles sont extrêmement souples d'utilisation. Une variable définie dans la fonction parent est uniquement visible dans les fonctions qui y sont imbriquées. L'utilisation de ces variables est donc immédiate, comme pour les variables globales. Les variables utilisées à l'intérieur des fonctions sont différentes des variables globales. En effet, ces dernières sont visibles en n'importe quel endroit du programme voire même en dehors. Alors que la visibilité des variables des fonctions imbriquées est définie par l'ordre d'imbrication des fonctions. Cette méthode est parfaitement adaptée si le projet ne comporte qu'un seul fichier, [17].

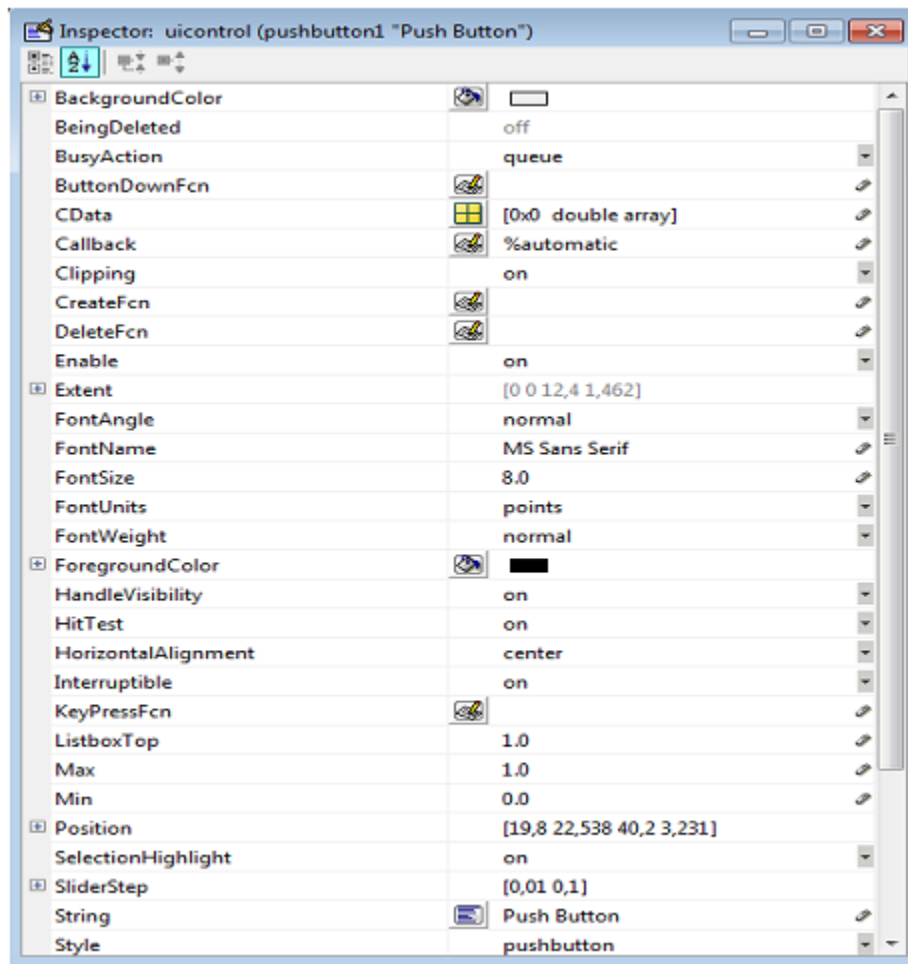


Figure VI.2 : Fenêtre pour Modifier les Caractéristique des Cases.

IV.2. Configuration principale d'interface :

La forme est représentée dans la figure (IV.3), on choisit au début des règles d'utilisation d'interface pour faciliter le travail.

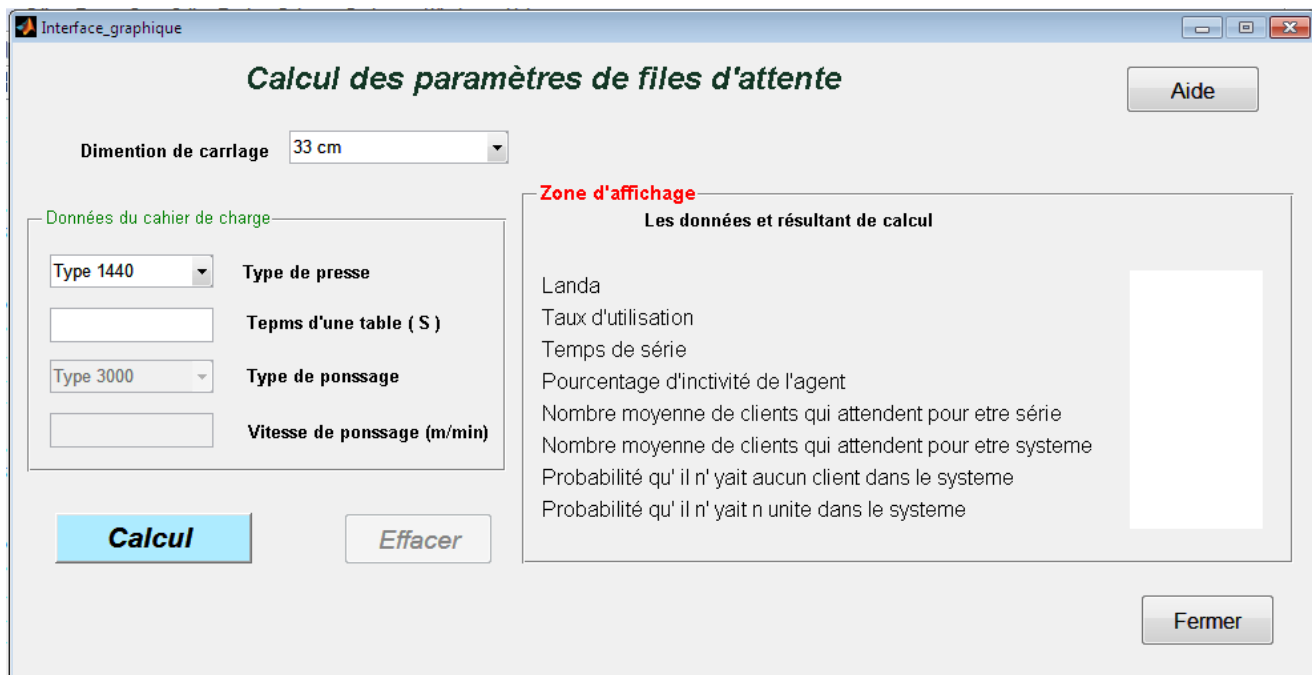


Figure IV.3 : Menu Principale d'Interface de file d'attente .

IV.3. Blocs d'interface :

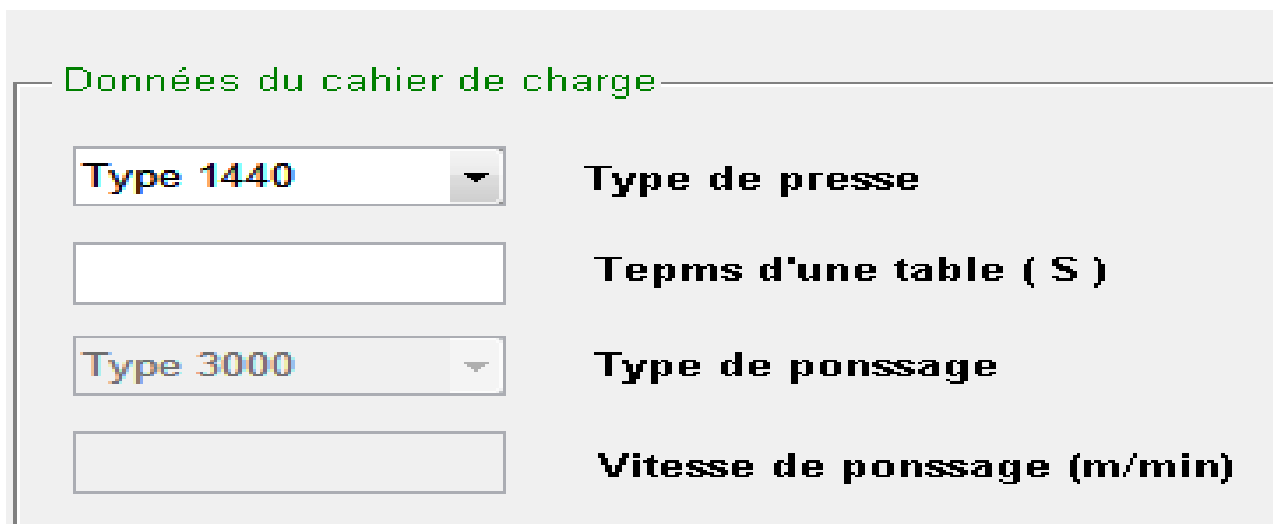


Figure IV.4 : Bloc de Données de Cahier Charge.

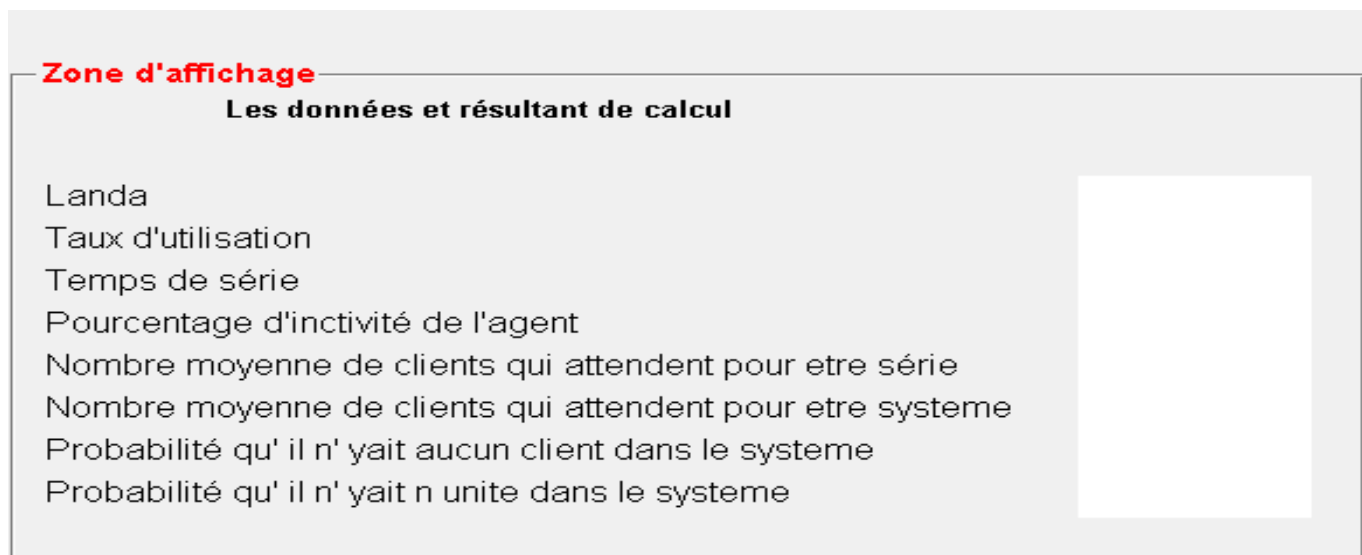
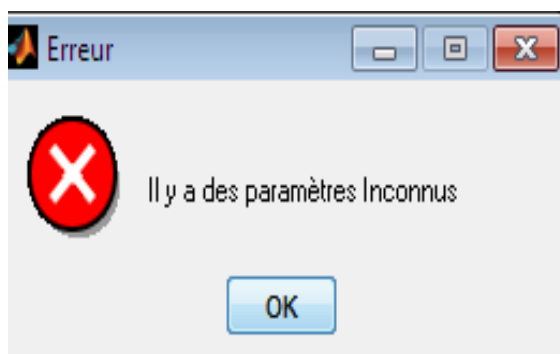


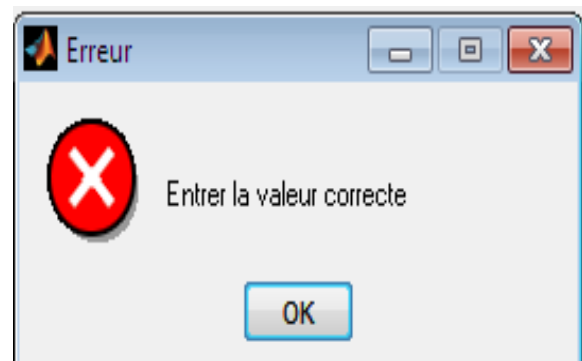
Figure IV.5 : Bloc d’Affichage des Résultats Numériques.

IV.4. Messages d’interface :

IV.4.1. Message erreur de donnée :



a



b

Figure IV.6. Message d’erreur de valeur

Explication des Message :

- a) Est activé dans le cas de déclaration des donnée vide
- b) Est activé dans le cas de déclaration des donnée type lettre ou valeur < 0

IV.4.2. Message d'attention :

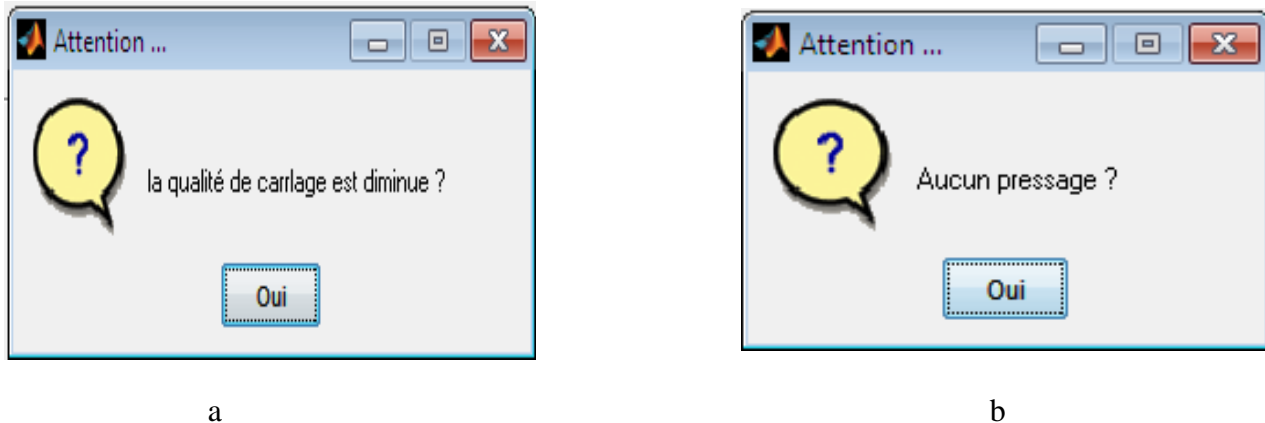


Figure IV.7. Message d'attention.

- a) Est activé dans le cas de déclaration des donnée inferieur le temps de pressage
- b) Est activé dans le cas de déclaration des donnée égale zéro

IV.4.3. Message de confirmation :

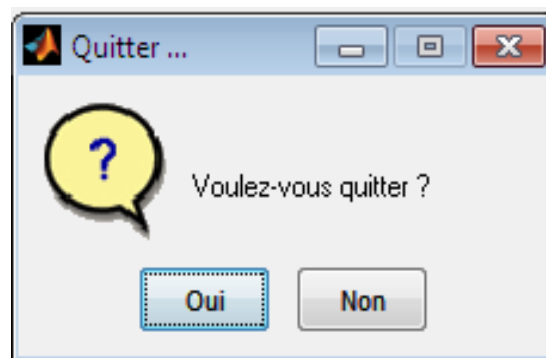


Figure IV. 8 . Message pour Confirmation la Fermeture de l'Interface.

IV.5. Exemple de relation de base de la file d'attente dans l'interface :

IV.5.1. Les Données:

Les dimension de carrelage 33cm

Le temps de pressage égale 16s

IV.5.2. Déclaration de données :

Figure IV.9. Partie de déclaration de donnée.

IV.5.3. Résultats obtenus d'après l'exécution par bouton (Calcul) :

Zone d'affichage

Les données et résultant de calcul

Landa	4
Taux d'utilisation	0.266667
Temps de série	16
Pourcentage d'inactivité de l'agent	0.733333
Nombre moyenne de clients qui attendent pour etre série	0.0969697
Nombre moyenne de clients qui attendent pour etre systeme	0.363636
Probabilité qu' il n' yait aucun client dans le systeme	0.733333
Probabilité qu' il n' yait n unite dans le systeme	0.453485

Figure IV.10. Les Résultats Numériques.

IV.6. Proposition à l'amélioration de fiabilité de file d'attente :

Nous avons vu dans le chapitre IV que les mesures des Paramètres des files d'attentes à pour but principale d'améliorer la fiabilité par l'agitation sur les paramètres :

_ $\rho < 1$ ($\lambda < \mu$), c.à.d. si le débit moyen est strictement supérieur au débit maximum, le nombre aléatoire de personnes dans le système est un processus récurrent il peut prendre une infinité de fois toute valeur arbitrairement grande et une infinité de fois la valeur zéro.

_ Nombre moyen de clients qui attendent pour être servis.

_ Pourcentage d'inactivité = $1 - \rho$.

_ La durée de vue des pièces.

_ Le coût de fabrication.

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

Conclusion :

L'interface graphique permet de déterminer les paramètres de la file d'attente seulement ce qui influence sur la fiabilité, et ouvre un outil performant d'aide à la décision pour choisir la politique de maintenance adéquate du système de production.

Conclusion générale

Conclusion générale :

Bien que les méthodes d'évaluation des critères de sûreté de fonctionnement soient diverses, spécifiant l'analyse FMD et les différents méthodes d'aide à la décision, les files d'attente nous apportent un avantage qui prend en compte des dépendances fonctionnelles, ce qui permet une optimisation chiffrée de la maintenance du PRESSE DE carrelage.

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. Répondu 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.

Nous venons de montrer dans ce mémoire l'intérêt de mettre en œuvre une stratégie de maintenance adaptée à nos entreprises et particulièrement la société SARL AYOUB CARRLAGE, Belaiba.

L'utilisation des files d'attentes offrant à la fois une puissance de description des systèmes, et constituant une méthode formelle, systématique et structurée, et une richesse de traitement et d'interprétation des modèles résultants nous à permis de modéliser notre système .

Comme travaux de future, ce travail permet de faire des étude formelle des système de production par la coordination avec la mathématique de fiabilité.

Références

Bibliographies

Références bibliographiques :

- [1] **A.Heurtel CNRS.** «La gestion des risques techniques (Sûreté de Fonctionnement) et Des risques de management ». ; IN2P3/LAL , Version 2.4 11/12/03.
- [2] **NICOLAS TERRIER.** « la maintenance » (2001/2002)
- [3] **E.LOGHRAB , SIDIMOHAMED OULD YEeye ,BEN ABDERRAHMAN Thameur.**« contribution à l'amélioration des performances de la maintenance par l'utilisation des files d'attente » (mémoire de fin d'étude) (2010/2011).
- [4] **Valerie zille .**« modélisation et évaluation des stratégies de maintenance complexes sur des système multi composants » (thés de Doctorat « université de Technologie de Troyes ,institut charles delunay » 2009.
- [5] **MONCHY F.** « Maintenance : Méthodes et organisation » édition DUNOD , Paris, 2000 .
- [6] **Gabriel Atonio Pérez CASTANEDA.** « Évaluation par simulation de la sureté de fonctionnement de système en contact dynamique hybride» thèse de Doctorat « université Nancy, Institut National Polytechnique de Lorraine » version1,12/05/2009.
- [7] **P.LYONNET.** « La maintenance : mathématiques et Méthodes» édition Lavoisie,TecetDOC ,Parise 1992.
- [8] **ATTENDRE .UNPASSE-EMPS POPULAIRE : Mme BONNES MANIERES.** (judith Martin , adaptation de hocine bourenane) source .U.S News et world report ,30/01/1989 ,p81.
- [9] **MALIKA BABES** « statistiques, files d'attente et simulation » , 11/1992 ,p86.
- [10] **Claudie HASSENFORDER-CHABRIAC** « Eléments de théorie des files d'attente » , université toulouse , janvier 2008
- [11] **Michel Roussignol et Daniel Flipo** « File d'attente et fiabilité » D.E.S.S. Ingénierie statistique et numérique
- [12] **Stephan ropert ,HEIG-Vd** « mobization stochastique, file d'attente » 30 November 2009.
- [13] **Y SAHRAOUI** « évaluation de Performance de la sûreté de fonctionnement par l'utilisation des réseaux de files d'attente » (mémoire de fine d'étude 2011/2012)
- [14] PRESSE AUTOMATIQUE OCEM 850/300T (matr 06183) (document de l'entreprise)
- [15] Site web : [http // WWW.Longinotti.com](http://WWW.Longinotti.com)
- [16] Logiciel Log-LAALA
- [17] **B.jérôme,** « Développement Efficace des Interface graphique », cet article est téléchargé au format pdf sur le site web : www.briot-jerome.com. Développez .com

[18] **B.jérôme**, « La FAQMATLAB » cet article téléchargé au format pdf sur le site web : www.briot-jerome.developpez.com

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME

DE MASTER EN GENIE ELECTRIQUE

SPECIALITE :

Ingénierie des Systèmes Electromécaniques

Proposé et dirigé par : Mr DEFDAF Mabrouk

Présenté par : CHIKH Ayache

Thème :

Contribution à l'amélioration de la fiabilité par l'utilisation des réseaux des files d'attente

Résumé :

Les réseaux de files d'attentes comptent parmi les outils qui permettent à la fois la modélisation et l'analyse qualitative et quantitative du système.

L'approche utilisée dans ce travail consiste à décrire le système de maintenance de l'entreprise, afin d'identifier l'équipement critique dans la chaîne de production on a recouru à l'exploitation de performances des réseaux de files d'attentes. La phase suivante se dévoue à la modélisation du système de maintenance, en mettant en lumière les données relatives à l'équipement critique, enfin nous avons mis en place une analyse qui consiste à évaluer la politique de maintenance adéquate du système.

Mots clés :

Sûreté de fonctionnement, file d'attente, fiabilité, disponibilité et maintenabilité...

N^o d'ordre : 053