

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université A. MIRA – Bejaia

Faculté de Technologie
Département génie électrique
Spécialité électromécanique maintenance industrielle



Réf :

Mémoire de Fin de Cycle
En vue de l'obtention du diplôme
MASTER
En Electromécanique option :
Maintenance Industrielle
Thème

Optimisation de la maintenance de la
chaîne de production de la semoulerie SSG

Encadré par :

Mr. AIT MOKHTAR El Hassene

Présenté par :

AIT SAIDI Bachir et MOUHOUS Karim

Soutenu le : 22 /11 / 2021

Devant le jury composé de :

- ✓ **Mr. LAGGOUNE Redouane**
- ✓ **Mr. IMAOUCHEN Yacine**

Année universitaire : 2020/2021

Remerciement

*Nous remercions tout d'abord Dieu, le tout-puissant de nous avoir accordé
santé et courage.*

Nous adressons nos remerciements à notre encadrant
Mr. Ait Mokhtar El Hassene pour la bonne orientation malgré les circons-
tances difficiles, *qui nous a fait un grand honneur en dirigeant ce travail ainsi
qu'en nous guidant tout au long de sa réalisation.*

Des remerciements adressés pour les deux enseignants **Mr. SOUFIT
Massinissa** et **Mr. ZOUGAB Nabil** pour leurs aides tout au long de ce travail.

Des remerciements adressés pour les deux cadres de l'entreprise SSG

Mr. MOKHTARI Achour et **ABBACI Zahir** pour leurs conseils.

*Nous tenons à formuler notre gratitude et nos profondes reconnaissances à
l'égard de nos parents pour leurs indéfectibles soutiens durant tout notre
cursus.*

Afin de n'oublier personne, nos vifs remerciements

Table de matière

Table des matières

Liste des figures	v
Liste des tableaux	vi
Chapitre 1 : Présentation de la manufacture Semoulerie Soummam Grani (SSG).....	1
3.1.Introduction	2
1.2.Brève présentation de l'entreprise	2
1.3.Les unités de produit existantes dans la Semoulerie	4
1.3.1.L'unité de production de la semoule blé dur.....	4
1.3.2.L'unité de production de la semoule blé tendre.....	4
1.3.3.L'unité de production des aliments fourragers	4
1.4.Le process de fabrication du produit	4
1.4.1.Réception et contrôle qualitatif	5
1.4.2.Nettoyage	5
1.4.3.Mouillage et repos.....	5
1.4.4.La mouture	5
1.4.5.Le stockage et conditionnement.....	6
1.5.Présentation globale du système	6
Conclusion	8
Chapitre 2 : Evaluation de la fiabilité.....	9
3.1.Introduction	9
2.2.Les principales fonctions statistiques utilisées en fiabilité.....	9
2.2.1.La fonction de fiabilité.....	9
2.2.2.La fonction de répartition.....	9
2.2.3.La densité de probabilité	9
2.2.4.Le taux de défaillance	9
2.3.Les lois de probabilités usuelles	10
2.1.Loi exponentielle	10

2.2.Loi de Weibull	10
2.4.Les méthodes d'estimation des paramètres des fonctions de survie	12
2.4.1.La méthode graphique.....	12
2.4.2.Méthode de vraisemblance	12
2.4.3.Méthode de vraisemblance appliquée à la Loi de Weibull	12
2.4.4.Méthode des moindres carrés.....	13
2.5.Test de validation d'hypothèse	14
2.5.1.Test de Kolmogorov-Smirnov	14
2.6.Application	14
2.6.1.Estimation des paramètres de la loi de Weibull.....	14
2.6.2.Validation du modèle	16
2.6.3.Interprétation des résultats	16
Chapitre 3 : Optimisation de la maintenance	18
Introduction	18
3.1.Présentation des politiques de maintenance	18
3.1.1.Définition de la politique de maintenance	18
3.1.2.Les diverses politiques de maintenance existantes	19
3.1.2.1.Les politiques mono-composant	19
3.1.2.1.1.Politique de maintenance selon l'âge	19
3.1.2.1.2.Politique de maintenance en bloc	21
3.1.2.1.3.Politique de maintenance préventive périodique imparfaite avec réparation minimale à la défaillance.....	22
3.1.2.1.4.Politique de limite de défaillance	22
3.1.2.1.5.Politique de maintenance préventive séquentielle	23
3.1.2.1.6.Politique de maintenance de limite à la réparation	23
3.1.2.2.Les politiques multi-composants	23
3.2.Les différents coûts relatifs aux diverses actions de maintenance	23
3.2.1.Les charges due aux défaillances	24
3.2.2.Les coûts de la main d'œuvre	25
3.2.3.Coûts de la main d'œuvre des actions préventives	25
3.2.4.Coûts de la main d'œuvre des actions correctives.....	25
3.2.5.Estimation des coûts de pertes de production	25

3.2.6.Les coûts et les durées des diverses actions de maintenance au sein de l'entreprise SSG ..	26
3.3.Comparaison des coûts et des disponibilités des deux politiques	27
3.3.1.Politique de maintenance selon l'âge.....	28
3.3.1.1.Critère de coût	28
3.3.1.2.Critère de disponibilité	30
3.3.1.3.Critère d'utilité	31
3.3.2.Politique de maintenance en bloc	33
3.3.2.1.Critère de coût	33
3.3.2.2.Critère de disponibilité	34
3.3.2.3.Critère d'utilité	35
3.3.3.Discussion des résultats et comparaison des deux politiques	37
Conclusion	38
<i>Conclusion générale</i>	40

Liste des figures

Liste des figures

Figure 1.1-Position géographique de l'entreprise [1]	3
Figure 1.2-Organigramme de la SARL SSG.....	3
Figure 1.3-Schéma globale de la chaine de production.....	8
Figure 2.1 -Algorithme de calcul des paramètres de la loi de Weibull.....	15
Figure 2.2 -Algorithme calcul de fiabilité.....	16
Figure 2.3-Courbe de fiabilité.....	16
Figure 3.1-Séquence d'événement pour la stratégie de maintenance de type âge [6].....	21
Figure 3.2-Séquence d'événement pour la stratégie de maintenance en bloc [6].....	22
Figure 3.3 -Algorithme de calcul des coûts de maintenance selon le model d'âge.....	29
Figure 3.4-Les coûts de maintenance de la politique selon l'âge.....	30
Figure 3.5 -Algorithme de calcul de la disponibilité selon l'âge.....	30
Figure 3.6 -Evolution de la disponibilité selon le modèle à base d'âge.....	31
Figure 3.7 -Algorithme de calcule de l'utilité selon le modèle à base d'âge.....	32
Figure 3.8 -Evolution de l'utilité selon le modèle âge.....	33
Figure 3.9 -Algorithme de calcul des coûts de maintenances selon le modèle en bloc.....	34
Figure 3.10 -Evolution des coûts de maintenances selon le modèle en bloc.....	34
Figure 3.11 -Algorithme de calcul de la disponibilité selon le modèle en bloc.....	35
Figure 3.12 -Evolution de la disponibilité selon le modèle en bloc.....	36
Figure 3.13-Algorithme de calcul de l'utilité selon le modèle en bloc.....	36
Figure 3.14 -Evolution de l'utilité selon le modèle en bloc.....	37

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau 2.1-Les fonctions statistiques.....	10
Tableau 2.2-Les fonctions statistiques qui régissent la loi exponentielle.....	10
Tableau 2.3-Les fonctions statistiques qui régissent la loi de Weibull.....	11
Tableau 2.4-Les paramètres de la loi de Weibull.....	15
Tableau 2.5-Les résultats du test de Kolmogorov Smirnov.....	15
Tableau 3.1-Les couts des actions de maintenances horaires.....	25
Tableau 3.2-Les charges liées à la production.....	26
Tableau 3.3-Les durées des actions de maintenance MP et MC.....	27
Tableau 3.4-Les couts des actions de MP et MC.....	27
Tableau 3.5-Les couts et périodicité de maintenance selon la politique d'âge.....	29
Tableau 3.6-La disponibilité maximale et sa périodicité selon le modèle d'âge.....	31
Tableau 3.7-L'utilité maximale et sa périodicité selon le modèle à base d'âge.....	32
Tableau 3.8-Les coûts et les périodicités de maintenance en bloc.....	34
Tableau 3.9-La disponibilité maximale selon la politique en bloc.....	35
Tableau 3.10-L'utilité maximale et sa périodicité selon le modèle en bloc.....	37
Tableau 3.11-L'écart en termes de couts entre les deux politiques.....	37
Tableau 3.12-L'appareil Ecart en termes de disponibilités entre les deux politiques.....	38
Tableau 3.13-L'écart en termes d'utilité entre les deux modèles.....	38

Introduction générale

La technologie est en perpétuelle évolution et l'industrie connaît des changements sans précédents, les exigences du marché croient significativement avec la concurrence qui s'établit.

De nos jours les systèmes utilisés en industrie sont loin d'être simples, l'automatisation des processus de fabrication a induit le développement des systèmes de plus en plus complexes. La maintenance des systèmes industriels est considérée comme semblable à la médecine chez les humains et toutes choses obéissent à une règle fondamentale, celle de la durée de vie finie.

Plusieurs composants en interaction entre eux forment un système qualifiable de complexe, ce qui est appelé un système multi-composant. Comparés aux systèmes simples, la maintenance de ces systèmes est compliquée nécessitant des études plus poussées et approfondies.

Pour bien mener la maintenance des systèmes multi-composants, le maintenancier doit mettre en place une politique de maintenance. Pour ce faire, il doit en premier lieu comprendre le fonctionnement du système et avoir des connaissances très poussées de diverses disciplines afin de développer une politique adéquate et assurer son efficacité sur tous les plans.

Des dégradations de type fatigue, l'usure, la corrosion, le cisaillement ...etc, impactent les divers dispositifs constituant l'industrie sous le plan économique qui est généralement le plus sensible, la fiabilité des machines est inversement proportionnelle au taux de défaillance ce qui nous mène à planifier ces actions de telle sorte que la fiabilité atteigne un seuil summum.

Notre travail englobe les points suivants :

Le premier chapitre est entièrement consacré à la présentation de la manufacture et aux machines qui s'y trouvent, le processus de fabrication de la semoule et enfin une schématisation approximative des différents équipements qui constituent la chaîne.

Le deuxième chapitre est dédié à la définition du concept de fiabilité et les fonctions statistiques qui vont avec, la présentation des différentes lois utilisées, les diverses méthodes de l'estimation des paramètres de ces lois et nous avons appliqué toutes ces connaissances théoriques sur les échantillons recueillis à l'entreprise Soummam Semoule Grani (SSG).

Le troisième chapitre abrite l'optimisation des coûts de la maintenance qui se fait par le biais de diverses politiques de maintenance présentées en première partie, les divers coûts relatifs aux actions de maintenance sont présentés dans la deuxième partie et enfin dans la partie application, se trouve la comparaison entre deux politiques et le choix de la politique la plus adéquate au système.

Chapitre 1 : Présentation de la manufacture Semoulerie Soummam Grani (SSG)

3.1. Introduction

Dans un premier temps, nous procédons à la présentation des informations générales relatives à l'entreprise à savoir son historique, son secteur d'activité, sa gamme des produits et dans un second temps, découvrir le côté organisationnel de l'entreprise et les différentes activités dans ces différents secteurs ; ce qui nous amène à poser inévitablement la question suivante « qui est le groupe CHIKHOUN {filiale Semoulerie Soummam Grani (SSG)}? ».

1.2. Brève présentation de l'entreprise

C'est une entreprise industrielle spécialisée dans la production des semoules de blé dur, de farines panifiables de blé tendre ainsi que d'aliments fourragers destinés pour l'élevage, elle a été créée par Mr CHIKHOUN Hakim en 1995. À l'époque, son effectif est composé d'une dizaine d'employés, et son statut juridique a toujours été une SARL depuis sa création. Actuellement elle comporte 130 employés, Son capital social s'élève à 839000000.00 Da, l'entreprise offre plusieurs produits sur le marché agroalimentaire à savoir : La semoule de blé dur, la farine et les aliments fourragers.

Le groupe CHIKHOUNE a pris part à la 34ème édition du salon mondiale de l'alimentation et de l'agroalimentaire « Anuga 2017 » qui a eu lieu à Cologne en Allemagne du 07 au 11 octobre 2017, cet événement est l'un des plus grands forums de l'industrie agroalimentaire en Europe.

L'établissement CHIKHOUNE se situe à l'ouest de la ville d'Akbou de la wilaya de Bejaia, dans le nord du pays sur la route nationale N°26 a une distance de 80 Km précisément implantée à la zone d'activités Taharacht, cette entreprise jouit d'un emplacement géographique très important qui lui confère une position stratégique pour le transit de ces produits qui sont destinés pour le marché local ou bien pour l'exportation.

La figure (1) représente l'itinéraire de la wilaya de Bejaia vers l'endroit exacte où se situe le groupe CHIKHOUNE.

Chapitre 1. Présentation de la manufacture Semoulerie Soummam Grani (SSG)

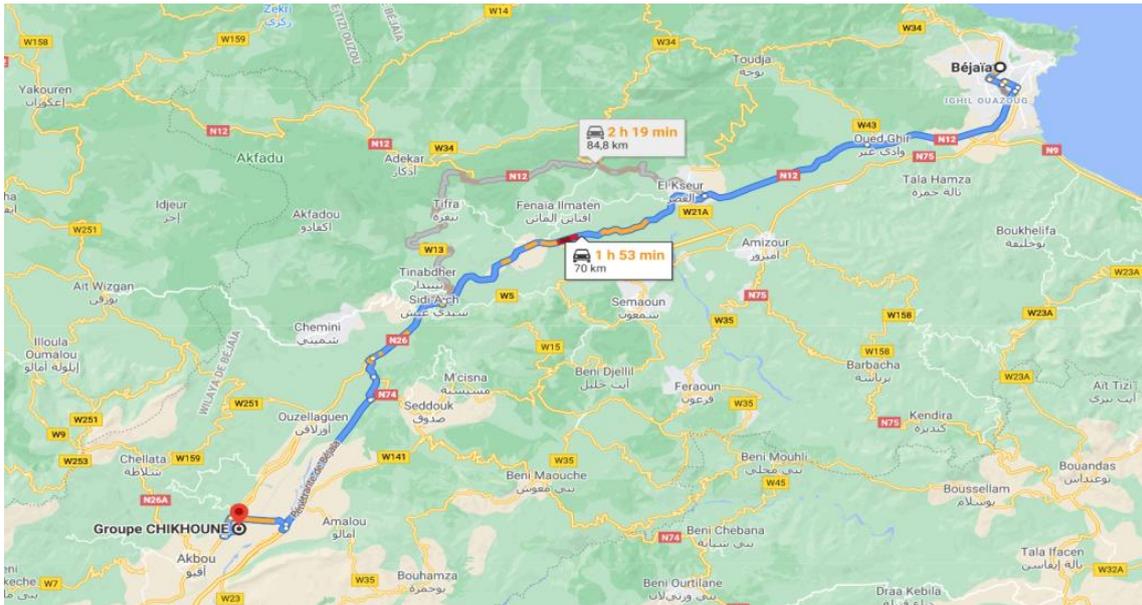


Figure 1.1-Position géographique de l'entreprise [1]

La figure (1.2) est un organigramme qui illustre la représentation des relations fonctionnelles ainsi que les liens hiérarchiques qui existent entre les différents départements.

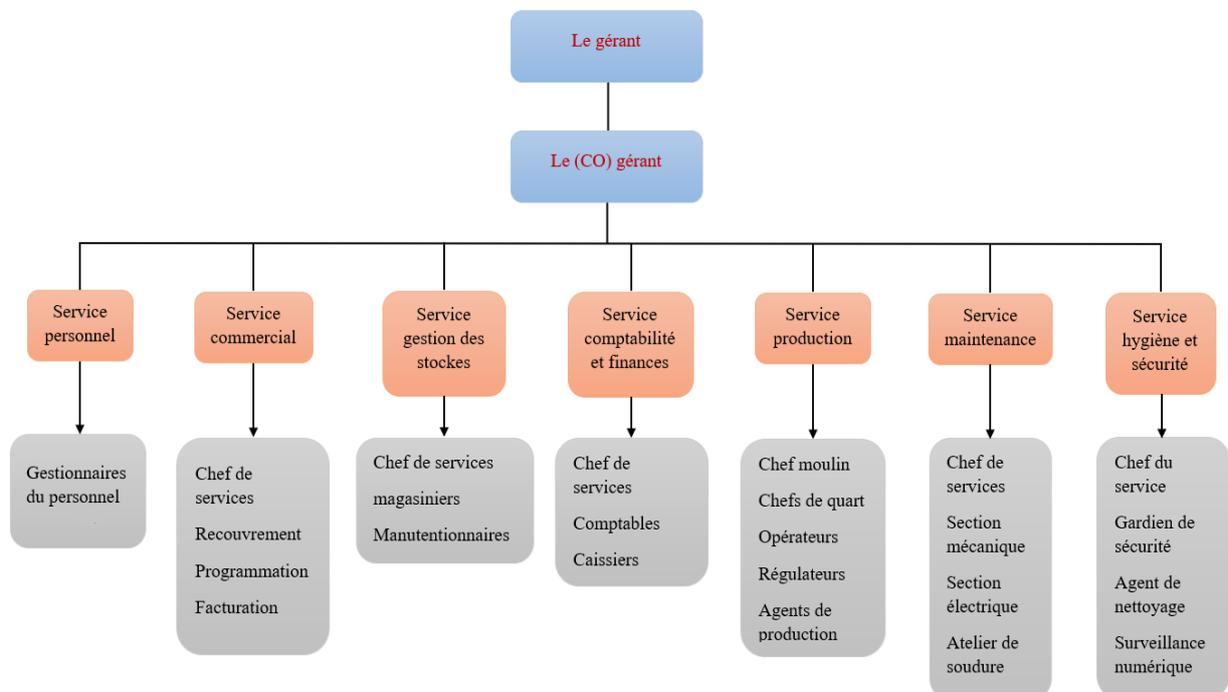


Figure 1.2-Organigramme de la SARL SSG

1.3. Les unités de produit existantes dans la Semoulerie

La Semoulerie Soummam Grani comporte trois unités de production que nous pouvons présenter comme suit :

1.3.1. L'unité de production de la semoule blé dur

C'est une unité équipé d'un moulin de capacité de production qui s'élève à 300 tonnes/jour. Cette unité était la première installée lors de l'ouverture de la manufacture ces produits sont essentiellement soit transféré vers la manufacture de la fabrique des pattes, conditionnés dans des sacs de différents poids destinés à la vente ou stockés dans des silos

1.3.2. L'unité de production de la semoule blé tendre

Le moulin de l'unité de production de la semoule blé tendre est similaire à celui de la semoulerie du blé dur mais sa chaîne manque juste d'un équipement appelé sasseur car cette dernière ne produit pas de sous-produits.

1.3.3. L'unité de production des aliments fourragers

La quantité de ce produit est conditionnée par le rendement de blé fourni à l'entreprise qui varie entre 66% à 74% à titre d'exemple si on part d'une tonne de matière première, la récolte d'aliments fourragers sera comprise entre 260 Kg et 340 Kg, sans considérer les déchets des matières résiduelles qui se trouvent dans la matière brute dont le pourcentage avoisinant 1%.

1.4. Le process de fabrication du produit

L'objectif de la transformation du blé dur est l'obtention d'une semoule de qualité accompagné d'une production inévitable de son « aliments fourragers », d'où la nécessité d'un nettoyage efficace d'une part et d'un bon conditionnement du blé (incorporation d'eau suivie d'un temps de repos) d'autre part suivi de l'opération de mouture qui a pour objectif la séparation des trois constituants principaux du grain qui sont l'amande, le son et le germe puis

réduire l'amande en semoule, ce procédé de fabrication est réalisé en suivant les étapes suivantes :

1.4.1. Réception et contrôle qualitatif

La réception du blé dur se fait par l'intermédiaire de camions qui seront pesés à son arrivée et après être vidé afin de vérifier le poids de la matière réceptionnée, le contrôle qualitatif est la première opération à effectuer suivi par des observations organoleptiques effectué par le chef de production, si le produit répond aux exigences de l'établissement il sera mis dans la trémie de réception, cette partie est équipé d'une grille qui a pour rôle filtrage du produit des gros déchets.

Le produit est transféré par un transporteur à chaîne de la trémie vers l'élévateur à godets pour arriver dans un silo de stockage

1.4.2. Nettoyage

Le passage du blé par des équipements appropriés permet de débarrasser le blé des déchets d'une manière progressive et cela s'effectue en se basant sur certaines propriétés physiques exploités par ces machines tel que : la taille ou les dimensions, la densité et les propriétés aérodynamiques.

1.4.3. Mouillage et repos

Le blé nettoyé sera mis dans des cellules de repos pour une durée variable de quelques heures selon les semouleries, le blé est mélangé avec de l'eau pour faciliter la séparation de l'amande du grain de son enveloppe extérieure (le son) qui sera éliminé au cours de la mouture. Il s'agit de parvenir à assouplir les enveloppes tout en laissant l'amande friable.

1.4.4. La mouture

En meunerie le blé est envoyé en premier lieu sur les appareils à cylindres réduisent en fragments de différentes tailles l'albumen, des morceaux d'albumen recouverts d'enveloppes

du grain ainsi que des fractions d'enveloppes dégagées de l'albumen, le tout sera envoyé à son tour sur les plansichters au sein desquels un premier tri s'effectue en fonction de la taille des portions et enfin le produit sera sassé par des sasseurs et classé en produits et sous-produits.

1.4.5. Le stockage et conditionnement

Les trois produits seront mis dans des sacs de différents poids destinés à la vente par l'intermédiaire des conditionneuses ou stocké dans des silos pour produit fini, ce dernier sera expédié vers des utilisations industrielles ou envoyé vers la manufacture de fabrication des pattes.

Certains équipements sont omniprésents dans notre installation comme les vis sans fin, élévateurs à godets, transporteurs à chaînes, silos de stockage, systèmes d'aspirations ... etc. Vu leurs importances dans le transport du produit et leurs interventions dans la réalisation de certaines tâches [2].

1.5. Présentation globale du système

Cette chaîne de production est composée de divers sous-systèmes, ces derniers sont constitués de composants élémentaires que nous pouvons identifier suivant leurs rôles dans la chaîne comme suit :

Le produit fourni sera versé dans une trémie qui effectue un premier tri des gros déchets grâce à une grille qui bloc le passage à des matériaux tel que : troncs, caoutchouc, métaux ... etc. Le produit est ensuite transporté avec un transporteur à chaînes vers un élévateur à godets qui fait monter le produit à environ 55 m de hauteur pour ensuite le verser dans des silos de stockage de la matière première qui sont équipés d'un système de ventilation qui permet une aération et évite la moisissure du blé. Les quantités de blé à transformer sont transmises des silos de stockage par des transporteurs à chaînes vers la section nettoyage où elles passent par un tamis rotatif équipé d'un crible formé de plusieurs cylindriques avec des perforations à plusieurs dimensions, il élimine principalement les sables et la paille, par la suite le produit sera

transféré vers des tamis séparateurs qui réalisent un nettoyage plus rigoureux et efficace car il sont équipés de systèmes d'aspiration qui éliminent la poussière légère et des tamis horizontaux qui laissent passer les déchets de dimensions inférieures à celles du blé mais des grains de mauvaise herbe, des cailloux et des grains de blé maigre ou malade restent toujours mélangé ou produit, ensuite le blé passe par des tarares qui réalisent du vannage qui consiste à séparer les impuretés du blé mais laissent passer les cailloux et des grains malades, ce nettoyage est finalisé par la trieuse optique qui nettoie le blé du reste d'impuretés en utilisant une technologie de pointe (elle détecte les corps étrangers et les grains malade à l'aide de caméras qui scannent le flux de blé qui passe sur un tapis par la spectrométrie infrarouge), le blé récolté est envoyé vers la section où le mouillage est effectué.

Une fois le produit nettoyé, il sera transporté par des vis mouilleuses vers des cellules où il sera mélangé avec des quantités d'eau dans des silos de repos pendant une durée qui varie entre [12 H à 48 H] cette durée dépend en grande partie de la qualité du blé, après le repos et une prise d'échantillons pour la vérification de la conformité, le blé sera envoyé vers les appareils à cylindres.

La mouture est essentiellement basée sur trois appareils qui sont : les appareils à cylindres, les plansichters et les sasseurs. Mais l'accomplissement de la tâche requise nécessite l'intervention de plusieurs appareils assistant tel que des vis sans fin, des élévateurs à godets, des cyclones, des systèmes d'aspiration ...etc. Les appareils à cylindres font du broyage du blé ils permettent de réduire l'albumen en petites portions mais les enveloppes résistent car elles sont plus élastiques de plus ils aspirent le son et l'envoient par des vis vers des silos de stockage du son, le produit est transféré vers les plansichters qui réalisent l'action du blutage qui consiste à séparer les semoules et les farines selon leurs granulométries par l'intermédiaire de niveaux de tamis ancré dans une structure hermétique animé d'un mouvement oscillatoire suspendu par des cannes flexibles de fibre naturelle (rotin), enfin les sasseurs qui sassent le produit et le classifie suivant sa granulométrie en produits fini et sous-produits et une infime quantité de son sera récolté et envoyé à l'aide de vis vers des silos de stockage du son.

Le produit fini quant à lui sera envoyé vers les silos de stockage du produit, vers la manufacture de production des pâtes afin de l'utiliser pour fabriquer des pâtes alimentaires ou il sera conditionné par des conditionneuses pour chaque produit indépendamment selon des poids bien spécifique selon les demandes de la clientèle, cette phase de production nécessite l'intervention des ouvriers pour le positionnement des sacs et le déplacement du produit en utilisant des

chariots élévateurs vers un toboggan qui servira de passage pour charger le produit dans des camions prêts à l'expédition.

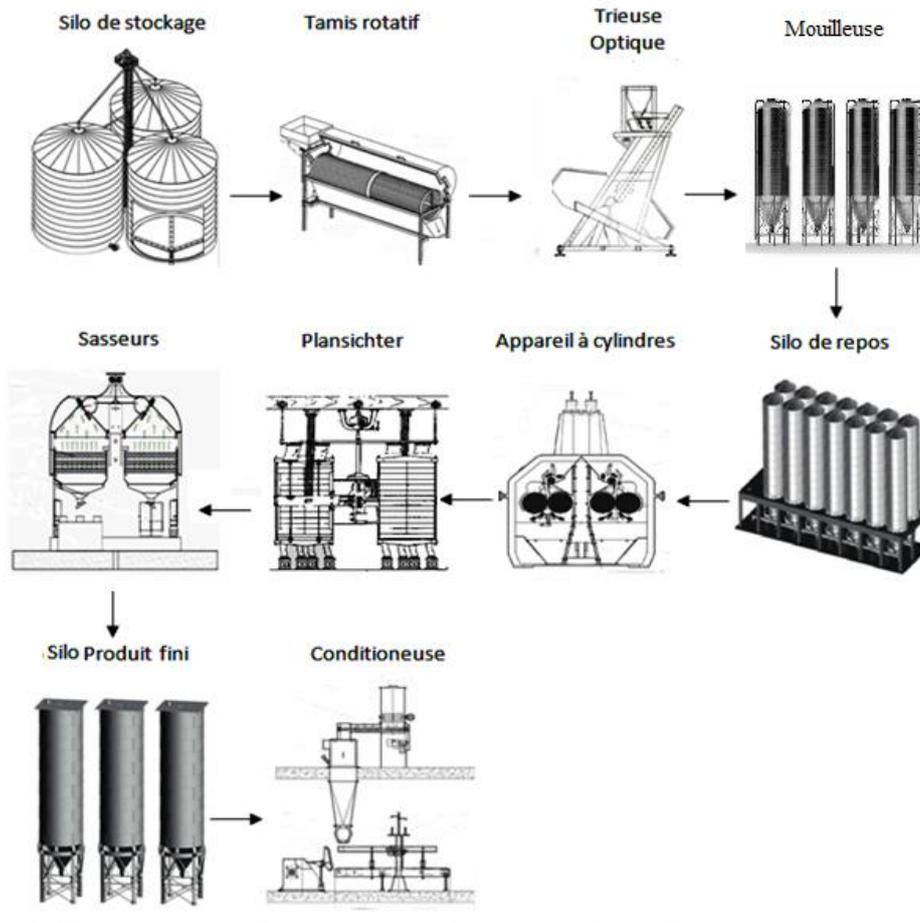


Figure 1.3-Schéma globale de la chaîne de production

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté brièvement la Semoulerie Semoule Grani en évoquant la position géographique, la hiérarchie, les unités de production et notamment d'une manière plus précise le process de fabrication et les machines présentes.

Chapitre 2 : Evaluation de la fiabilité

3.1. Introduction

La fiabilité est un indice très significatif de l'état du système étudié, l'implication des lois statistiques est inévitable, dans ce chapitre nous définissant les principales fonctions et les diverses lois statistiques utilisé d'une façon détaillée ainsi que les méthodes de l'estimation de leurs paramètres. Nous évoquerons les concepts théoriques dans la partie étude de cas pour évaluer la fiabilité de la chaîne de production de la semoulerie selon la loi de Weibull.

2.2. Les principales fonctions statistiques utilisées en fiabilité

Chaque système est caractérisé par divers distinctifs intrinsèques tel que l'apparition de la défaillance qui est imprévisible ou stochastique, cette variable correspond à une probabilité qui induit à une loi de probabilité

2.2.1. La fonction de fiabilité

Considérons T la variable aléatoire qui représente le temps écoulé entre la mise en service d'un système et la première défaillance observée. La fiabilité à l'instant t est la probabilité que le système soit non défaillant le long de la durée $[0; t]$.

2.2.2. La fonction de répartition

La fonction de répartition représente la probabilité d'avoir une défaillance dans une période $[0, T]$.

2.2.3. La densité de probabilité

La densité de probabilité est la fonction dérivée de la fonction de répartition, elle s'agit de la probabilité d'avoir une défaillance à un instant t .

2.2.4. Le taux de défaillance

Le taux de défaillance instantané $\lambda(t)$ exprime la probabilité qu'une défaillance à se produire dans un intervalle de temps $[t, t + dt]$ sachant que ce dispositif a bien fonctionné jusqu'à l'instant t [3].

Le tableau (2.1) représente les diverses formules mathématiques relatives aux fonctions statistiques citées si dessus :

Tableau 2.1-Les fonctions statistiques

La fonction statistique	L'équation
La fiabilité	$R(t) = P(T > t)$
La fonction de répartition	$F(t) = 1 - R(t)$
La densité de probabilité	$f(t) = dF(t)/dt$
Le taux de défaillance	$\lambda(t) = f(t)/R(t)$

2.3. Les lois de probabilités usuelles

2.1. Loi exponentielle

C'est un cas particulier de la loi de Weibull, cette loi est définie par un seul paramètre constant (λ), elle est utilisée pour évaluer la fiabilité des matériels qui subissent des défaillances brusques tel que l'électronique, le tableau (2.2) illustre les diverses fonctions statistiques qui régissent la loi exponentielle :

Tableau 2.2-Les fonctions statistiques qui régissent la loi exponentielle

La fonction statistique	L'équation
La fiabilité	$R(t) = \exp(-\lambda t)$
La fonction de répartition	$F(t) = 1 - \exp(-\lambda t)$
La densité de probabilité	$f(t) = \lambda \exp(-\lambda t)$
Le taux de défaillance	$\lambda(t) = \lambda$ (cst)

2.2. Loi de Weibull

La loi de Weibull est utilisée pour évaluer les systèmes dans trois phases de vie (infantile, utile, vieillesse), Sa popularité est dû à sa souplesse et au fait qu'elle englobe d'autres lois de probabilité tel que la loi exponentielle, elle est souvent définie à deux paramètres (β paramètre de forme et η paramètre d'échelle), un paramètre d'échelle (γ) est parfois pris en considération en cas d'éventuel décalage du point de départ de la courbe par rapport à l'origine, le tableau (2.3) illustre les diverses fonctions statistiques qui régissent la loi de Weibull :

Tableau 2.3-Les fonctions statistiques qui régissent la loi de Weibull

La fonction statistique	L'équation
La fiabilité	$R(t) = \exp\left(-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta\right)$
La fonction de répartition	$F(t) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta\right)$
La densité de probabilité	$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \exp\left(-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta\right)$
Le taux de défaillance	$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1}$

2.3. Signification des paramètres de la loi de Weibull

Paramètre de forme β : Selon les valeurs de ce paramètre on peut distinguer la phase de vie dans laquelle notre système évolue comme suit :

$\beta < 1$, Le taux de défaillance décroît, le système est dans la phase de jeunesse et son état s'améliore ;

$\beta > 1$, Le taux de défaillance est croissant, le système se dégrade et se trouve dans la phase de vieillesse ;

$\beta = 1$ Le taux de défaillance est constant, le système est dans sa phase de vie utile.

Paramètre d'échelle η : appelé communément la durée de vie caractéristique, il a la même unité que celle du temps, lorsque $\eta = t - \gamma$ $F(t) = 63\%$

Paramètre de localisation γ : il a la même unité que celle du temps, dans la plupart des cas considéré nul, et la loi de Weibull est ramenée à deux cas qui peuvent être pris en compte :

$\gamma < 0$ le système a subi des dégradations avant sa mise en marche ;

$\gamma > 0$ le système n'a pas subi de dégradations avant sa mise en marche [4].

2.4. Les méthodes d'estimation des paramètres des fonctions de survie

2.4.1. La méthode graphique

La méthode graphique est un outil utilisé pour l'estimation des paramètres de la loi de Weibull et son importance réside du fait qu'elle donne une image visuelle de la qualité de l'ajustement effectué.

2.4.2. Méthode de vraisemblance

L'estimation du maximum de vraisemblance permet d'estimer les paramètres d'une distribution de probabilités d'un échantillon donné, ce qui nous permettra d'obtenir les paramètres qui représentent le mieux notre échantillon.

Supposons qu'on dispose d'un échantillon de données de taille n d'une variable aléatoire t tel que $t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$, de densité de probabilité $f(t; \theta_1, \theta_2, \theta_3 \dots \theta_n)$, sa fonction de vraisemblance s'écrit comme indique l'équation (2.13) :

$$L(\theta; t_1, t_2, t_3, \dots, t_n) = \prod_{i=1}^n f(\theta, t_i) \quad (2.13)$$

Les estimateurs de maximum de vraisemblance correspondent au paramètres θ^* qui maximisent la fonction $L(\theta; t_1, t_2, t_3 \dots t_n)$, cela revient à résoudre le système d'équations (2.14) :

$$\frac{\partial L(\theta, t)}{\partial \theta_n} = 0 \text{ avec } n = 1, 2, 3 \dots, n \quad (2.14)$$

Sous la condition de l'équation (2.15) :

$$\frac{\partial^2 L(\theta, t)}{\partial^2 \theta_n} < 0 \text{ avec } n = 1, 2, 3 \dots, n \quad (2.15)$$

2.4.3. Méthode de vraisemblance appliquée à la Loi de Weibull

Supposons que nous disposons de données d'échantillon distribuées selon la loi de Weibull à deux paramètres (β et η), la fonction de vraisemblance qui lui correspond s'écrit sous la forme présentée par l'équation (2.16) :

$$L(\beta, \eta; t_1, t_2, t_3, t_n) = \beta^n \left(\frac{1}{n}\right)^{n\beta} \prod_{i=1}^n t_i^{\beta-1} \exp\left(-\left(\frac{t_i}{\eta}\right)^\beta\right) \quad (2.16)$$

Sachant que $\beta > 0, \eta > 0, t_i > 0, i = 1, \dots, n$.

Et la fonction de log-vraisemblance est donnée par l'équation (2.17) :

$$\begin{aligned} l(\beta, \eta; t_1, t_2, t_3, \dots, t_n) &= \sum_{i=1}^n \left(\beta \ln \left(\frac{1}{\eta} \right) + \ln(\beta) + (\beta - 1) \ln(t_i) - \left(\frac{t_i}{\eta} \right)^\beta \right) \\ &= n\beta \ln \left(\frac{1}{\eta} \right) + \ln(\beta) + \sum_{i=1}^n (\beta - 1) \ln(t_i) - \left(\frac{1}{\eta} \right)^\beta \sum_{i=1}^n t_i^\beta \end{aligned} \quad (2.17)$$

Pour trouver les estimateurs de vraisemblance il faut résoudre le système d'équations (2.18) :

$$\begin{cases} \frac{\partial L(\theta; t)}{\partial \eta} = \sum_{i=1}^n \left(\beta \eta - \left(\frac{\beta}{\eta^{\beta-1}} \right) t_i^\beta \right) = 0 \\ \frac{\partial L(\theta; t)}{\partial \beta} = \eta \ln \left(\frac{1}{\eta} \right) + n\eta + \sum_{i=1}^n \ln(t_i) - \sum_{i=1}^n \left(\frac{t_i}{\eta} \right)^\beta \ln \left(\frac{t_i}{\eta} \right) = 0 \end{cases} \quad (2.18)$$

Après développment de l'équation si dessus on obtient les deux paramètres illustrés dans les deux formules (2.19) et (2.20) :

$$\eta^* = \left(\frac{\sum_{i=1}^n t_i^{\beta^*}}{n} \right)^{\frac{1}{\beta^*}} \quad (2.19)$$

Et

$$\beta^* = \frac{n}{\frac{n \sum_{i=1}^n \left(t_i^{\beta^*} \ln(t_i) \right)}{\sum_{i=1}^n t_i^{\beta^*}} - n \sum_{i=1}^n \ln(t_i)} \quad (2.20)$$

2.4.4. Méthode des moindres carrés

L'objectif de l'application de la régression linéaire par les moindres carrés est de tracer la droite la mieux représentative sous la forme $y = ax+b$ d'un échantillon donné à partir de deux séries de données ($X = (x_i)$ $Y = (y_i)$), les deux paramètres de cette droite sont écrits dans l'équation (2.21) :

$$a = \frac{\overline{xy} - \bar{x}\bar{y}}{\overline{x^2} - \bar{x}^2} \text{ et } b = \bar{y} - a\bar{x} \quad (2.21)$$

Un paramètre r nous permet d'évaluer l'efficacité de la régression qui est écrit selon l'équation (2.21) :

$$r = \frac{\overline{xy} - \bar{x}\bar{y}}{\sqrt{(\overline{x^2} - \bar{x}^2)(\overline{y^2} - \bar{y}^2)}} \quad (2.22)$$

2.5. Test de validation d'hypothèse

Le test de d'hypothèse, nous permet de valider ou de rejeter un modèle choisi pour un échantillon de données, le choix d'un modèle de fiabilité se fait en considérant maints facteurs tel que : la nature des dispositifs (mécanique, électronique ... etc.) et la nature des défaillances ; Ces derniers peuvent s'avérer des indicateurs capitaux en ce qui concerne l'évolution et le comportement du système [3].

2.5.1. Test de Kolmogorov-Smirnov

Le teste de Kolmogorov-Smirnov est l'un des tests d'hypothèses les plus utilisés en lois de probabilité continus, l'écart D_n^{max} en valeur absolue qui résulte de la soustraction de la fonction cumulative théorique ($F_{th}(t)$) de la fonction cumulative empirique ($F_n(t)$), par la suite le résultat sera comparé à celui de la table Kolmogorov-Smirnov pour un niveau de confiance de $1 - \alpha$, la formule de D_n^{max} est la suivante (2.29) [3]

$$D_n^{max} = \max|F_n(t_i) - F_{th}(t_i)| \quad (2.29)$$

2.6. Application

Dans cette partie nous allons estimer les paramètres de la loi de Weibull pour les échantillons des temps de survie des machines constituant la manufacture SSG, et vérifier leurs validités par l'intermédiaire du teste de Kolmogorov-Smirnov ; ensuite esquisser l'évolution de la fiabilité le long de la durée de l'observation.

2.6.1. Estimation des paramètres de la loi de Weibull

Dans cette partie nous allons à priori estimer les paramètres de la loi de Weibull par la méthode du Maximum de vraisemblance (MLE), en utilisant le progiciel MATLAB qui est une plat-forme de calcul numérique utilisée pour analyser des données. En utilisant le programme présenter sur la figure (2.1).

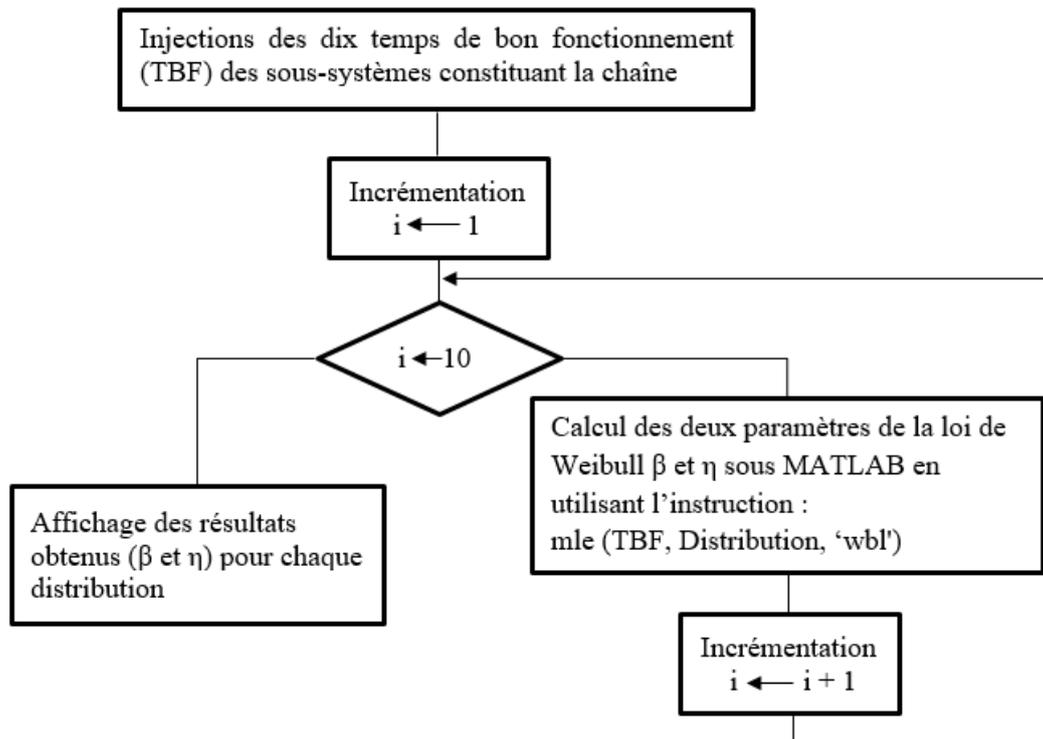


Figure 2.1 -Algorithme de calcul des paramètres de la loi de Weibull

Les paramètres sont illustrés dans le tableau (2.1)

Tableau 2.4-Les paramètres de la loi de Weibull

Le sous-système	Le paramètre β	Le paramètre η en (J)
Appareil à cylindres	3.73	246.55
Tamis rotatif	1.98	261.32
Silo	3.72	246.68
Silo produit fini	3.23	245.05
Silo de repos	4.65	259.03
Sasseur	1.77	219.93
Plansichter	1.90	188.83
Mouilleuse	1.36	244.32
Conditionneuse	2.02	263.83
Trieuse optique	5.43	294.34

2.6.2. Validation du modèle

Le test de Kolmogorov-Smirnov est utilisé pour vérifier la validité du modèle choisi pour un échantillon D représente l'écart entre les deux fonctions (théorique et empirique) et p-value

qui est la probabilité d'obtenir pour un modèle statistique des valeurs plus extrêmes que celles observées, les deux paramètres des échantillons sont donnés dans le tableau (2.5)

Tableau 2.5-Les résultats du test de Kolmogorov Smirnov

Le sous-système	D	p-value
Appareil à cylindres	0.1011	0.9937
Tamis rotatif	0.2888	0.7077
Silo	0.2071	0.6109
Silo produit fini	0.1659	0.9553
Silo de repos	0.1659	0.9553
Sasseur	0.1934	0.8743
Plansichter	0.1281	0.9988
Mouilleuse	0.2994	0.5574
Conditionneuse	0.2086	0.3625
Trieuse optique	0.2716	0.5124

D'après les résultats du tableau on constate la validation du modèle choisi pour l'unanimité des échantillons.

2.6.3. Interprétation des résultats

En injectant les échantillons dans MATLAB, on obtient des graphes caractérisant l'allure de la fiabilité le long de l'observation des composants illustré sur la figure (2.3) en utilisant l'algorithme présenter sur la figure (2.2).

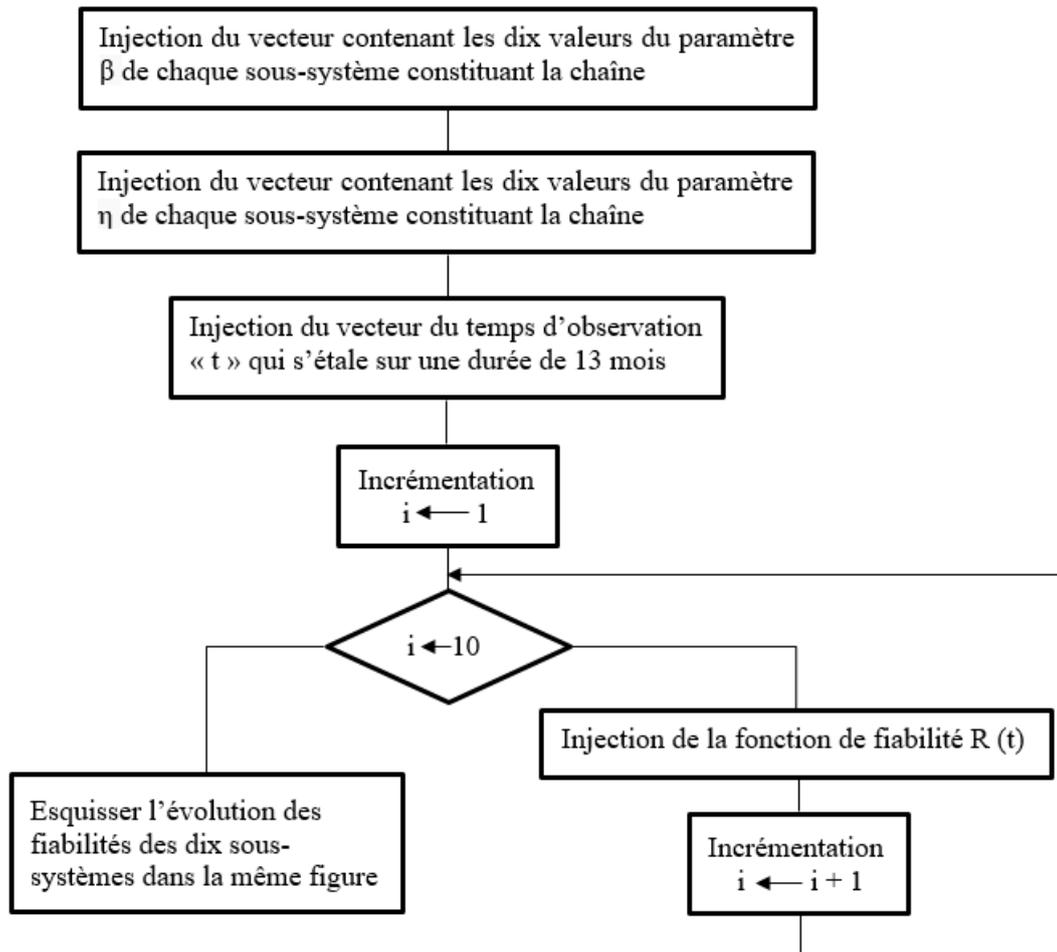


Figure 2.2 -Algorithme calcul de fiabilité

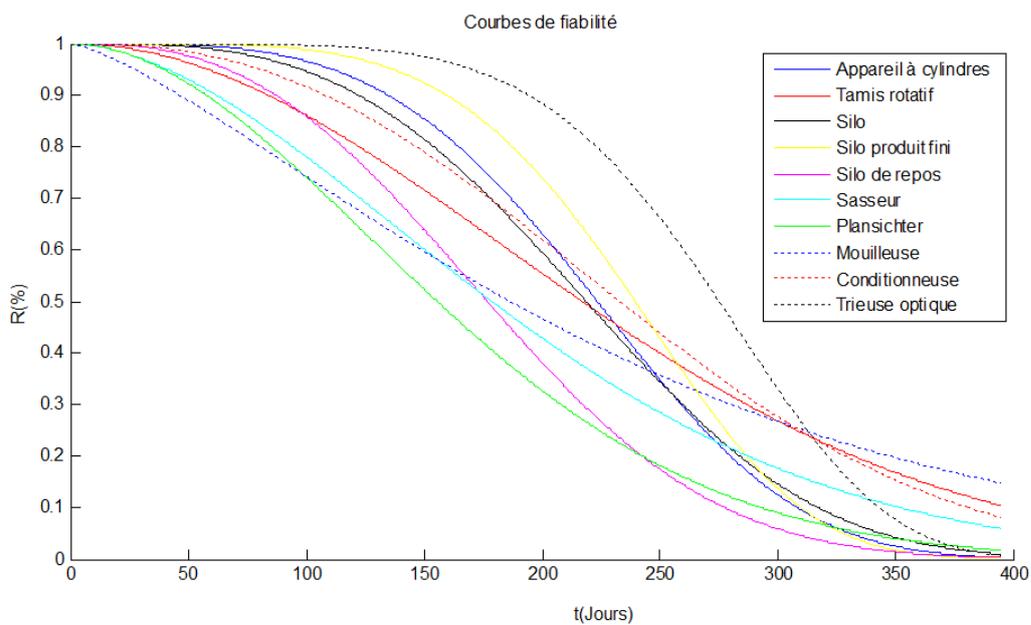


Figure 2.3-Courbe de fiabilité

D'après l'allure des courbes de fiabilités des dispositifs on peut les classer dans deux catégories selon leurs évolutions tel que :

- ✚ Les appareils dont les défaillances surviennent dès la mise en service, ces dégradations sont dues aux agents du milieu dans lequel travaille ces machines : L'humidité détruit les parois de la mouilleuse, la force centrifuge qui anime le mouvement du plansichter détruit ces roulements et son arbre, les vibrations générées par les moteurs du sasseur, la moisissure qui dégrade les parois du silo de stockage et du silo de repos, la poussière et le produit fini (semoule) agissent sur la conditionneuse, la poussière et la force centrifuge détruisent les roulements et tamis rotatif.
- ✚ Les appareils dont les défaillances surviennent après un certain temps après l'usage, ces sous-systèmes sont confrontés à des agents moins destructeurs tel que des surtensions dans le réseau électrique de la trieuse optique, une moisissure moins sévère agit sur le silo de produit fini, les frottements détruisent les roulements et les cylindres des appareils à cylindres.

Conclusion

L'étude de cas nous a montré les allures de fiabilité des différentes machines constituant le système, chaque machine subit des facteurs de dégradation qui varient selon son rôle et le milieu utilisé c'est pourquoi les différences sont remarquables sur les figures. Les allures sont obtenues en appliquant la loi de Weibull et la vraisemblance pour l'estimation, enfin le test de Kolmogorov Smirnov à valider les résultats obtenus.

Chapitre 3 : Optimisation de la maintenance

Introduction

Une chaîne de production est un ensemble d'équipements utilisée en industrie pour remplir des fonctions précises permettant une productivité, parfois ces dispositifs sont sujets de perturbations dus à la dégradation ou à la défaillance inévitablement causée par les contraintes du milieu extérieur ou par les interactions entre les divers composants élémentaires. Une bonne planification de la maintenance et l'évaluation de son efficacité permet de réduire le nombre et la durée des arrêts ainsi augmenter la fiabilité et le temps de bon fonctionnement. Cette planification peut être traduite par la politique de maintenance choisit soigneusement pour répondre aux attentes, selon certaines modalités imposées par la nature de la chaîne et les objectifs à atteindre. Dans ce chapitre nous allons tenter de choisir une politique de maintenance adéquate à la manufacture de fabrication de la semoule SSG en se basant sur des données relevées de l'entreprise et cela se fera en présentant les politiques de maintenances les plus fréquentes ensuite la présentation des divers coûts au sein de l'usine et enfin la comparaison et le choix d'un modèle après évaluation de ces critères.

3.1. Présentation des politiques de maintenance

3.1.1. Définition de la politique de maintenance

Selon l'association française de normalisation (AFNOR) une politique de maintenance consiste à fixer les orientations (méthodes, programmes, budgets ... etc.) dans le cadre des objectifs fixés par les responsables de l'entreprise, selon un politique choisi dans le cadre de l'optimisation des coûts de production les orientations privilégient :

- La disponibilité qui est l'aptitude d'une entité à accomplir ces fonctions requises dans des conditions données à un instant ou pendant un intervalle de temps en supposons la fourniture des moyens extérieurs soit assuré ;
- La sécurité du personnel et des biens des maints dangers liés au fonctionnement et aux actions de maintenance ;
- La qualité de la production tout en protégeons l'environnement ;
- L'optimisation des coûts de la maintenance [5].

Les méthodes de travail sont adoptées selon l'impact de l'arrêt :

Si cet arrêt concerne que le bien (cas d'un bien autonome ou d'un bien appartenant à une ligne de production continue, mais qui a été doublé pour des questions de sécurité ou de disponibilité)

Ou à contresens, c'est-à-dire que son impacte conduit à l'arrêt de toute la ligne de production (à titre d'exemple le cas d'un plansichter dans une usine de transformation de semoule).

3.1.2. Les diverses politiques de maintenance existantes

Il existe maintes politiques de maintenance élaborées par différents chercheurs dans le domaine, on peut distinguer deux familles principales celles des "mono-composants" et des "multi-composants" la plupart des politiques applicables au systèmes mono-composant sont adaptable au systèmes mono-composant si on considère le système multi-composants d'une manière élémentaire ou s'il n'y a pas de dépendance (structurelle, économique, défaillances ...etc.) dans les parties subséquentes nous allons définir ces dernières et les politiques qu'ils abritent ainsi nous allons relever les nuances et les différences afin de les exploiter pour mieux les utiliser.

3.1.2.1. Les politiques mono-composant

Nous pouvons qualifier par système élémentaire tout composant faisant d'une machine (pignon, courroie, résistance, roulement ... etc.), ou d'une machine faisant partie d'une chaîne (un moteur électrique dans un convoyeur, une carte électronique dans un automate, un vérin dans une presse hydraulique...etc.), l'hypothèse commune pour ces politiques réside dans le fait que l'intensité de défaillances est considérée croissante.

3.1.2.1.1. Politique de maintenance selon l'âge

Une politique de maintenance de type âge consiste à effectuer un remplacement correctif en cas de défaillance de l'équipement ou effectuer un remplacement préventif en cas où ce dernier atteint un âge T sans défaillance. L'âge T représente la période de remplacement préventive. L'idée de cette stratégie est de remplacer préventivement l'équipement le plus proche possible de l'instant où il risque de tomber en panne.

En d'autres termes, si l'équipement tombe en panne avant l'instant T, il fera l'objet d'une maintenance corrective. Comme les remplacements préventifs et correctifs utilisent des

équipements neufs, l'âge réel de l'équipement est remis à zéro. Pour définir la stratégie optimale correspondante, il faut déterminer la périodicité optimal T^* où le remplacement préventif sera effectué.

○ Critère de coût

L'espérance du coût de maintenance par unité de temps notée C s'écrit sous la forme (3.1)

$$C = \frac{C_{MC}F(T) + C_{MP}R(T)}{\int_0^T R(t)dt} \quad (3.1)$$

Sachant que C_{MC} est le coût d'une action de maintenance corrective, C_{MP} est le coût d'une action de maintenance préventive avec $C_{MC} \gg C_{MP}$ et T est l'âge du remplacement préventif du système.

○ Critère de disponibilité

Soient les durées moyennes des actions de maintenance correctives et préventives notées D_{MC} et D_{MP} respectivement sachant que les durées des actions de maintenance corrective sont largement supérieures à celles du préventif $D_{MC} \gg D_{MP}$

Selon les deux hypothèses suivantes :

- $X = D + D_{MC}$ si le système tombe en panne dans un intervalle de temps $[D, D + dD]$ avec $T \geq D$.
- $X = D + D_{MP}$ si le système fonctionne sans défaillance jusqu'à atteindre l'âge T , ce qui se produira avec une probabilité $R(T)$.

La formule (3.2) représente l'espérance de la période de renouvellement de ce modèle tel que :

$$E[X] = \int_0^T R(t)dt + D_{MC}F(T) + D_{MP}R(T) \quad (3.2)$$

L'équation (3.3) représente le rapport de l'espérance du temps de bon fonctionnement et l'espérance du cycle de vie :

$$A(T) = \frac{\int_0^T R(t)dt}{\int_0^T R(t)dt + D_{MC}F(T) + D_{MP}R(T)} \quad (3.3)$$

Dans le cas de la politique de maintenance selon l'âge, l'évolution de la disponibilité est inversement proportionnelle à celle des coûts de maintenance [6].

La figure (3.1) présente un schéma simple des séquences des événements dans cette stratégie [6].

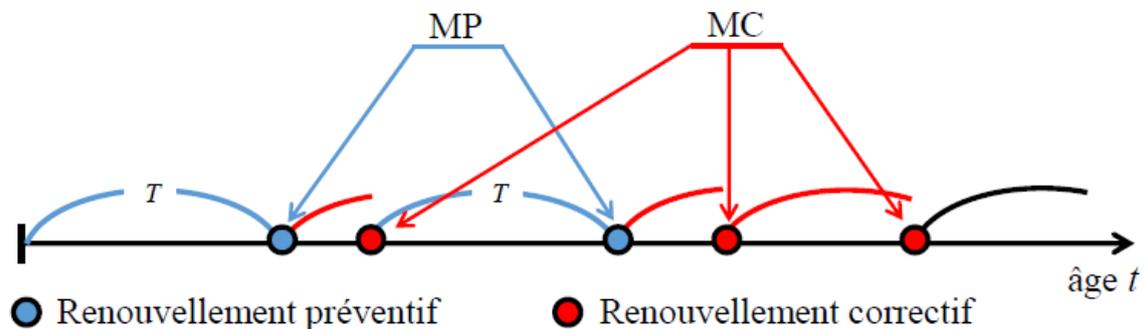


Figure 3.1-Séquence d'événement pour la stratégie de maintenance de type âge [6].

3.1.2.1.2. Politique de maintenance en bloc

Appelé communément "politique de MP périodique", cette stratégie consiste à faire des remplacements préventifs à des intervalles de temps prédéterminés. En cas de défaillance un remplacement correctif de l'équipement est effectué.

Par opposition au modèle de maintenance de type âge, la stratégie de type bloc peut avoir un effet de gaspillage des équipements neufs. Pour y remédier des modèles étendus de type Bloc ont été élaborés, en effectuant des réparations minimales ou bien remplacer par des équipements usagés [6].

○ Critère de coût

L'équation (3.4) représente la fonction de l'espérance du coût de maintenance par unité de temps correspondante à ce modèle tel que :

$$C(T) = \frac{C_{MC}\Lambda(T)+C_{MP}}{T} \tag{3.4}$$

Avec

$$\Lambda(T) = \int_0^T \lambda(t)dt \tag{3.5}$$

$\Lambda(T)$ est le "taux de hasard cumulé" et $\lambda(t)$ le taux d'occurrence de défaillance.

○ Critère de disponibilité

La figure (3.6) représente le critère de disponibilité, sa fonction objective est écrite sous la forme :

$$A(T) = \frac{T}{T + D_{MC}A(T) + D_{MP}} \quad (3.6)$$

Avec D_{MC} et D_{MP} les durées moyennes des actions de maintenance correctives et préventives notées respectivement.

La figure (3.2) représente le déroulement de cette politique

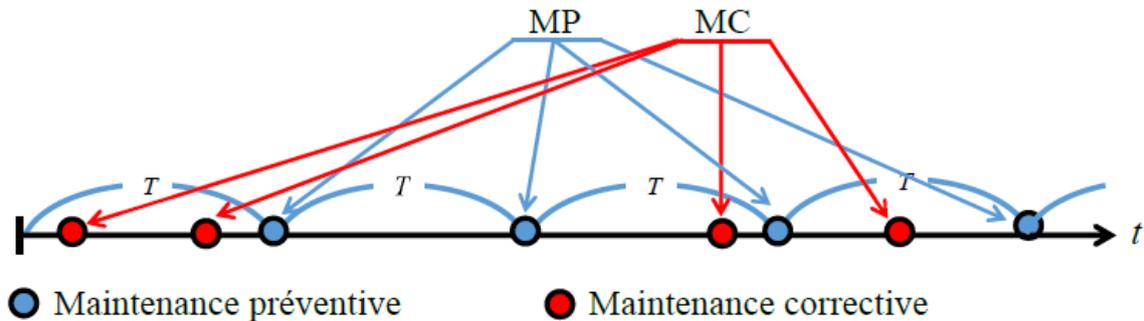


Figure 3.2-Séquence d'événement pour la stratégie de maintenance en bloc [6].

3.1.2.1.3. Politique de maintenance préventive périodique imparfaite avec réparation minimale à la défaillance

Cette politique est considérée comme l'un des politiques les plus réalistes des systèmes réparables, elle consiste à remplacer périodiquement l'équipement, en cas de défaillance une réparation minimale est effectuée. Cette réparation n'a pas d'effet sur l'évolution du taux de défaillance du système. L'équipement est dans un état aussi mauvais qu'avant d'entreprendre l'action de maintenance. Cette politique se distingue de la politique de maintenance en bloc du fait que ces actions de maintenance sont imparfaites, les périodicités T représentent les instants de MP imparfaites et le système n'est renouvelé qu'après avoir fonctionné un certain temps qui vaut KT avec $k = 1, 2, 3, \dots, K$ [6].

3.1.2.1.4. Politique de limite de défaillance

Dans la présente politique les actions de MP ne sont effectuées que si certain indice de fiabilité se manifestent lorsqu'il atteignent un seuil prédéterminé tel que le taux de défaillance, lorsque le seuil est franchi des actions de MC sont effectuée. Il existe maints autres critères de fiabilité mais les plus courants sont l'usure, les dégradations cumulées ...etc. Cette politique nécessite un large échantillon pour pouvoir planifier ces actions de MP et ces données sont parfois difficiles à obtenir [6].

3.1.2.1.5. Politique de maintenance préventive séquentielle

Dans cette politique les périodicités des actions de MP ne sont pas égales, cette politique suppose que le système aura besoin de plus en plus d'actions de MP au fil du temps, par conséquent les périodicités des actions de MP se raccourcissent avec le vieillissement. Et ce qui la différencie de la politique en bloc c'est le fait qu'une action de MP n'est planifiée que lorsque l'action qui la précède est effectuée [6].

3.1.2.1.6. Politique de maintenance de limite à la réparation

La politique de limite à la réparation regroupe les deux politiques suivantes :

Politique de coût limite de réparation : la réparation dépend du coût estimé à un seuil prédéterminé, si ce dernier le franchit le système est inévitablement remplacé par un neuf. Son inconvénient réside en fait que cette décision de réparation-remplacement dépend entièrement du coût d'une seule réparation et non pas sur une moyenne des coûts considérée dans un intervalle de temps.

Politique de temps limite de réparation : Comme son nom l'indique cette politique dépend entièrement du temps consacré aux actions de réparation, si ce dernier dépasse une certaine période, l'action est annulée et le système est remplacé par un neuf [6].

3.1.2.2. Les politiques multi-composants

Les politiques de maintenances des systèmes multi composants se distinguent de celles des systèmes mono-composants par les diverses dépendances entre les sous-systèmes qui s'étalent sur plusieurs horizons, Les actions de maintenance des systèmes multi-composants font appel à une précision et à de larges connaissances de plus que celles des mono-composant.

Dans le cas de la manufacture de production de la semoule SSG, les dépendances inter-composants ne sont pas présentes c'est pour cela que nous pouvons appliquer les politiques de maintenances de celles de mono-composant.

3.2. Les différents coûts relatifs aux diverses actions de maintenance

Les déficits budgétaires qu'à subit les entreprises les ont stimulé à intégrer de nouveaux concepts liés à la maintenance, lorsque le coût de la MC est largement supérieure à celui de MP il est impératif de songer à augmenter le budget alloué à cette dernière, autrement dit privilégier la MP, même si les gains de la maintenance ne sont pas visible dans les médias néanmoins sa permet d'augmenter la durée de vie des équipements et diminuer les charges causée essentiellement par des actions de MC, dans cette partie nous allons tenter de cerner le sujet en définissant les divers concepts et donner quelques chiffres de la manufacture SSG.

3.2.1. Les charges due aux défaillances

Principalement nous y trouvons deux catégories bien distinctes qui sont les suivantes :

3.2.1.1. Les coûts directs

ce sont des charges financières essentiellement composés de :

- ✓ Coût de main d'œuvre : il représente le salaire de l'ensemble des employés de la maintenance ;
- ✓ Les frais de stockage : Ce sont les coûts liés à la gestion du magasin des pièces de rechange ;
- ✓ Coût des pièces de rechange : il représente le coût des pièces de rechange et des consommables lors des actions de MC ;
- ✓ Les frais généraux : à titre d'exemple l'énergie consommé lors des interventions de maintenance ;
- ✓ Les frais de la sous-traitance : en cas ou l'entreprise assimile une tache de maintenance à une boite spécialisé.

3.2.1.2. Les coûts indirects

- ✓ Les coûts de perte de production : causés par l'arrêt de production, ils sont très significatifs à mesure que l'arrêt dure plus longtemps ;

- ✓ Pertes de matière première : généralement c'est la matière brute qui entre dans une chaîne et qui ne sort pas ou devient sous forme de déchets ;
- ✓ Main d'œuvre inoccupé : ces les rémunérations versées aux employés inactifs lors des actions de maintenance ;
- ✓ Les pertes en amortissement : l'amortissement est croissant dans le temps, nous perdons de l'amortissement si le dispositif est en panne.

Dans notre cas, par manque de données nous n'avons pas pu prendre en considération tous les coûts directs et indirects cités si dessus faute de quoi notre étude est relativement restreinte [6].

3.2.2. Les coûts de la main d'œuvre

Le tableau (3.1) représente les coûts des actions de maintenance horaires au sein de l'entreprise SSG, chaque poste est rémunéré selon la tâche qu'il effectue :

Tableau 3.1-Les couts des actions de maintenances horaires

Le poste	Coût de la maintenance par heure en Da
Ingénieure méthodes R_{Ing}	325
Technicien mécanicien R_{tech}	225
Technicien électricien R_{tech}	225

3.2.3. Coûts de la main d'œuvre des actions préventives

Les actions de maintenance préventives requérant l'implication de l'ingénieure méthodes et l'un des techniciens (mécanicien ou électricien) selon la nature de la panne ou du dispositif à analyser.

$$C_p = R_{Ing} + R_{Tech} \quad (3.7)$$

Dans ce cas :

$$C_p = 325 + 225 = 550 \text{ Da/h}$$

3.2.4. Coûts de la main d'œuvre des actions correctives

Les actions de maintenance correctives requérant l'implication de l'ingénieur méthodes et des deux techniciens (mécanicien, électricien), car la majorité des appareils comportent une partie électrique et une autre mécanique.

$$C_C = R_{Ing} + 2 * R_{Tech} \quad (3.8)$$

En ce qui concerne SSG :

$$C_C = 325 + 2 * 225 = 775 \text{ Da/h}$$

3.2.5. Estimation des coûts de pertes de production

L'unité de production de la semoule SSG fournit son produit dans des sacs de (50 kg, 25 kg, 10 kg et 5kg) et cette action est effectuée selon la demande des clients, dans ce cas nous allons nous intéresser aux produits conditionnés dans des sacs de 25 kg, l'usine transforme en moyenne 300 T/j ce qui vaut 12.5 T/h autrement dit la manufacture fabrique 500 sacs/h ; le tableau (3.2) illustre les charges et le bénéfice au sein de l'entreprise SSG pour une unité de 25kg :

Tableau 3.2-Les charges liées à la production

Estimations	Indice	Valeurs en Da
Le prix de la matière première	CH ₁	700
Le prix de l'emballage	CH ₂	5
Les charges (ouvriers, les consommables)	CH ₃	40
Le prix de sortie du produit P _{sortie}	P _{sortie}	920

La formule (3.9) nous permet de définir l'ensemble des charges qui regroupe les diverses dépenses tel que :

$$CH_T = \sum_{i=1}^3 CH_i \quad (3.9)$$

$$CH_T = 700 + 5 + 40 = 745 \text{ Da}$$

Le bénéfice par unité noté (B) représente est la différence entre le prix de sortie du produit et l'ensemble des charges, il décrit par la formule (3.10) :

$$B = P_{sortie} - CH_T \quad (3.10)$$

$$B = 920 - 745 = 175 \text{ Da}$$

Nous pouvons déduire la fabrication moyenne par heure notée (F_{moy}) en divisant la fabrication journalière moyenne par 24, si on divise la F_{moy} par unité (25 kg) nous allons trouver le nombre d'unité produite par heure, la formule (3.11) nous permettra de calculer le coût de perte de production sachant qu'en moyenne la manufacture SSG transforme 300 T de matière brute par jour.

$$C_{PP} = B * \frac{F_{moy}}{25} \quad (3.11)$$

C_{PP} : Les coûts de perte de production par heure

$$C_{PP} = 175 * \frac{12.5 * 10 * 100}{25} = 87500 \text{ Da}$$

3.2.6. Les coûts et les durées des diverses actions de maintenance au sein de l'entreprise SSG

Dans le tableau (3.3) nous avons mentionné les durées des actions de maintenance MP et MC pour chaque dispositif qui constitue la chaîne de production au sein de la manufacture SSG ainsi que les coûts des pièces de rechange.

Tableau 3.3-Les durées des actions de maintenance MP et MC

L'appareil	Durée des interventions de la MP en h (D_{MP})	Durée des interventions de la MC en h (D_{MC})	Coût des pièces de rechange en Da (C_{PR})
Appareil à cylindres	2	12	185000
Tamis rotatif	1	5	160000
Silo	3	5	140000
Silo produit fini	1.5	4	150000
Silo de repos	1.5	4	170000
Sasseur	2	7	280000
Plansichter	3	9	275000
Mouilleuse	1	6	140000
Conditionneuse	2.5	6.5	230000
Trieuse optique	3.5	10	260000

3.3. Comparaison des coûts et des disponibilités des deux politiques

Dans cette partie nous allons présenter deux politiques de maintenances en détaille, par l'intermédiaire des formules qui s'y trouvent nous obtiendrons les temps et les coûts optimaux. Ainsi nous pourrions comparer les résultats obtenus et choisir le modèle le plus adéquat à notre cas de figure en relevant les avantages et les inconvénients de chaque un d'entre eux. Le tableau

(3.4) représente les coûts des actions de MP et MC selon les données recueillies, calculé en utilisant les deux formules (3.11) et (3.12) tel que :

$$C_{MP} = C_P * D_{MP} + C_{PR} \quad (3.13)$$

$$C_{MC} = (C_{PP} + C_C) * D_{MC} + C_{PR} \quad (3.14)$$

Tableau 3.4-Les coûts des actions de MP et MC

L'appareil	C _{MP} en Da	C _{MC} en Da
Appareil à cylindres	186100	1244300
Tamis rotatif	160550	601375
Silo	141650	581375
Silo produit fini	150825	503100
Silo de repos	170825	523100
Sasseur	281100	897925
Plansichter	276650	1250975
Mouilleuse	140550	672350
Conditionneuse	231375	806712.5
Trieuse optique	261925	1147250

La fonction d'utilité est un critère qui nous permettra de comparer les deux politiques, l'utilité est définie comme étant le rendement du système après avoir débité toutes les dépenses en fonction du secteur d'activité du système et la situation du marché.

Dans ce cas la demande du marché est supérieure à la capacité de production du système, la fonction d'utilité illustré dans l'équation (3.15) dépend linéairement de la disponibilité du système tel que [7]

$$U = B * A_{sys} - C_M \quad (3.15)$$

Avec

U : l'utilité du système

A_{sys} : disponibilité du système

C_M : Coûts de maintenance selon la politique de maintenance

3.3.1. Politique de maintenance selon l'âge

3.3.1.1. Critère de coût

Pour pouvoir évaluer les critères de coût des diverses machines de la chaîne nous utiliserons la formule notée $C(T)$ de l'équation (3.16) tel que

$$C(T) = \frac{C_{MC}F(T) + C_{MP}R(T)}{\int_0^T R(t)dt} \quad (3.16)$$

Sachant que T est l'âge de remplacement préventif.

L'âge optimale de remplacement T^* , correspond au minimum de l'équation $C(T)$, ce qui revient à calculer

$$\frac{dC(T)}{dT} = 0 \quad (3.17)$$

Le calcul est analytiquement impossible c'est pour cela que nous avons utilisé le progiciel MATLAB, avec l'algorithme si dessous nous avons pu esquisser la figure de chaque machine puis déterminer sur cette dernière T^* et C^* , la figure () représente l'algorithme utilisé afin de dessiner chaque figure et de relever les des paramètres.

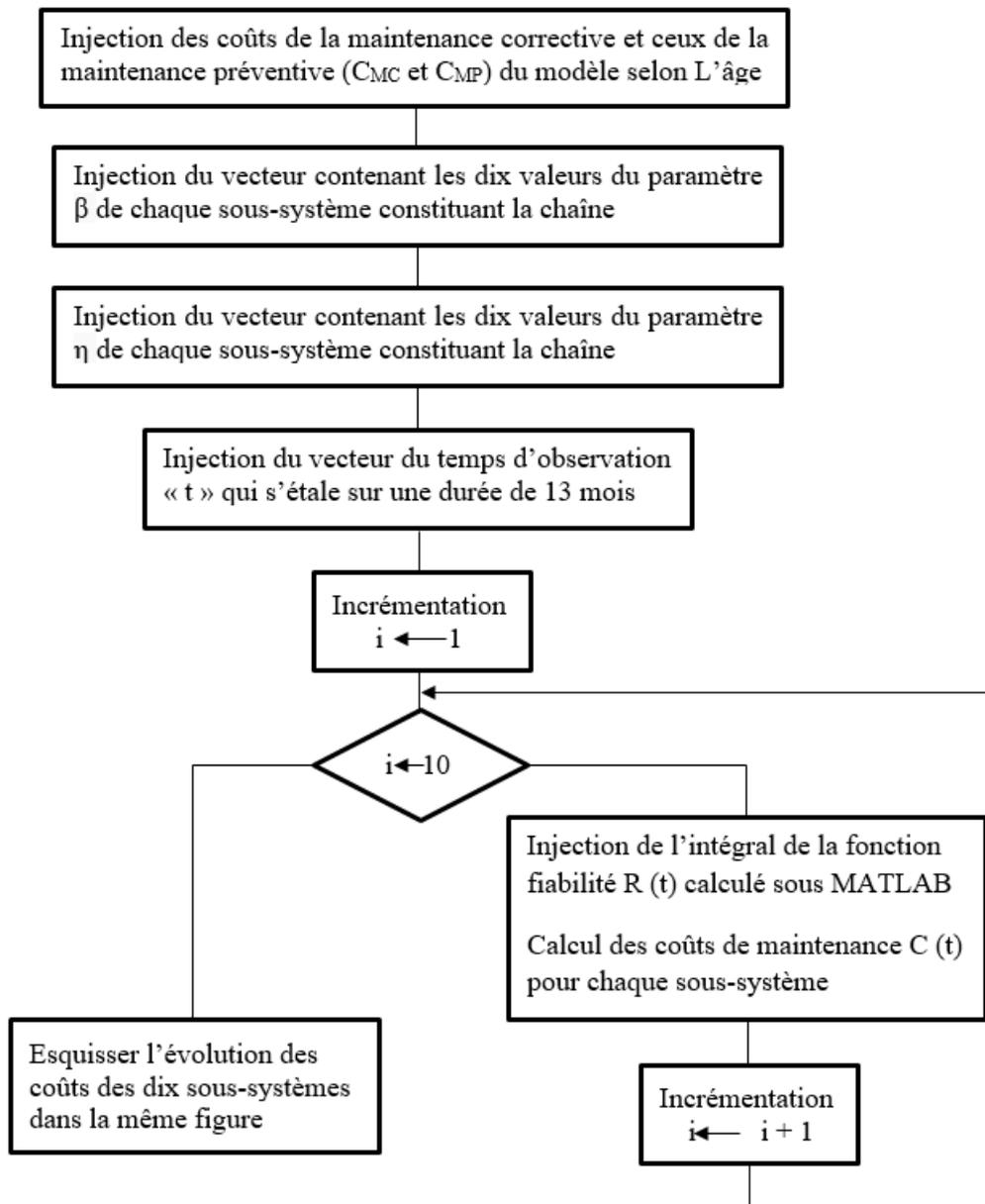


Figure 3.3 -Organigramme de calcul des coûts de maintenance selon le modèle d'âge

La figure (3.3) représente des coûts de maintenance de la politique de maintenance selon l'âge de l'ensemble des machines présents dans la chaîne au sein de la manufacture SSG, on peut en déduire une quasi similarité le long de la durée sur laquelle s'étale notre étude.

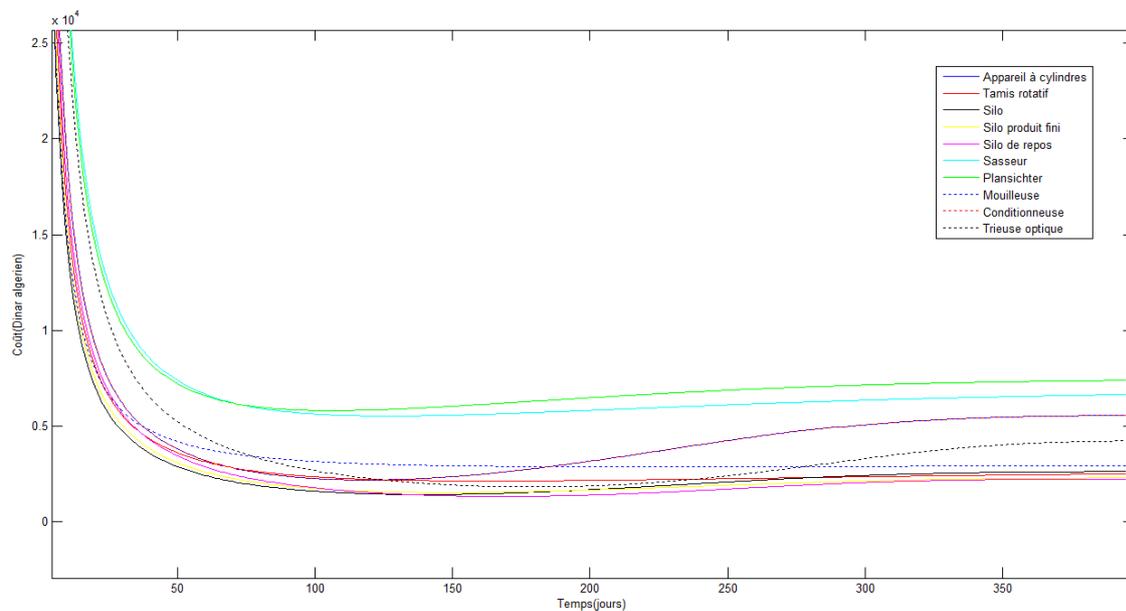


Figure 3.4-Les coûts de maintenance de la politique selon l'âge

Sur chaque figure nous avons effectué un zoom pour repérer sur le graph le point avec les coordonnées (T^*, C^*) , ensuite nous avons relevé toutes ces coordonnées sur le tableau (3.5).

Tableau 3.5-Les coûts et périodicité de maintenance selon la politique d'âge

L'appareil	C^*	T^*
Appareil à cylindres	2162	117
Tamis rotatif	2112	159
Silo	1406	136
Silo produit fini	1509	147
Silo de repos	1309	165
Sasseur	4147	171
Plansichter	5827	106
Mouilleuse	2850	213
Conditionneuse	2847	169
Trieuse optique	1803	177

3.3.1.2. Critère de disponibilité

Pour pouvoir repérer la disponibilité maximale pour chaque machine nous devons esquisser la figure de l'évolution de cette dernière en fonction du temps par l'intermédiaire de l'organigramme de la figure (3.5) puis repérer sur chaque figure le point dont les coordonnées (T_D, D_{MAX}) .

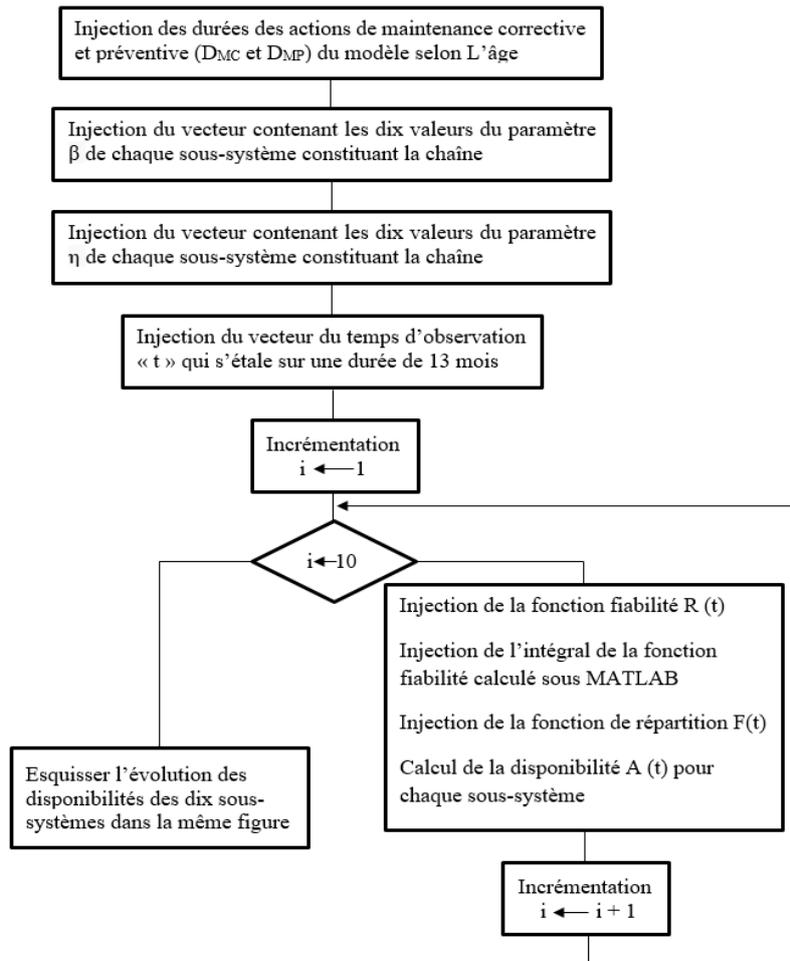


Figure 3.5 -Organigramme pour tracer la disponibilité selon l'âge

La figure (3.6) représente les disponibilités selon la politique de maintenance selon l'âge de l'ensemble des machines présents dans la chaîne au sein de la manufacture SSG.

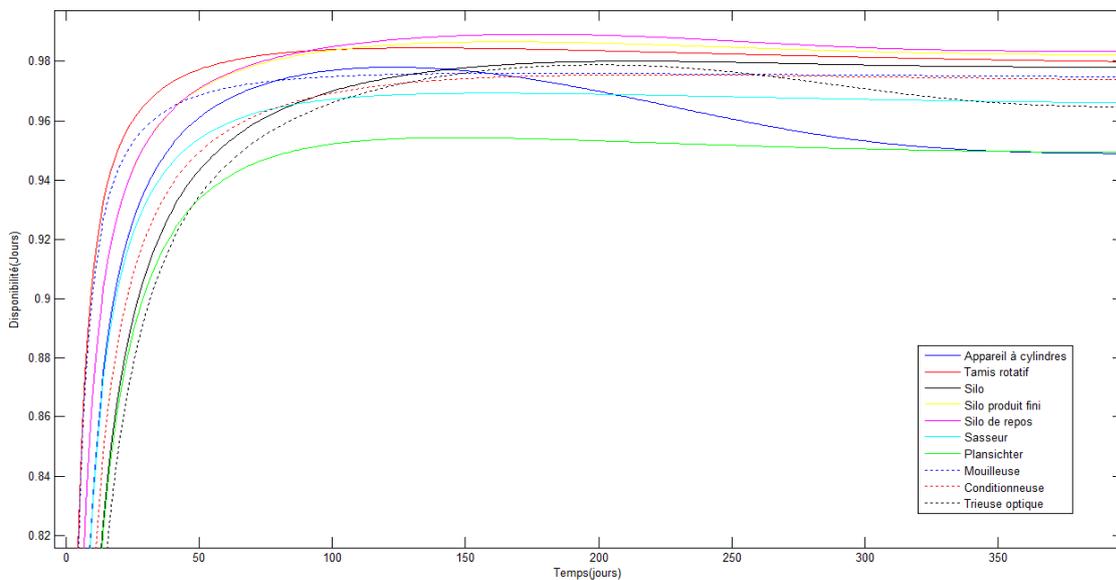


Figure 3.6 -Evolution de la disponibilité selon le modèle à base d'âge

Le tableau (3.6) illustre les résultats obtenus en effectuant un zoom sur chaque graphe tel que :

Tableau 3.6-La disponibilité maximale et la périodicité selon le modèle d'âge

L'appareil	Disponibilité maximale D_{MAX}	Temps correspondant T_D
Appareil à cylindres	0.978	117
Tamis rotatif	0.985	124
Silo	0.980	212
Silo produit fini	0.987	158
Silo de repos	0.989	166
Sasseur	0.969	151
Plansichter	0.954	138
Mouilleuse	0.976	161
Conditionneuse	0.975	200
Trieuse optique	0.979	193

3.3.1.3. Critère d'utilité

L'organigramme de la figure (3.7) nous permet d'esquisser l'allure du critère d'utilité pour chaque machine, ensuite repérer sur la figure (3.8) les valeurs maximales et les temps correspondant pour chaque machine de la chaîne. Puis tracer le tableaux (3.7) qui regroupe les résultats obtenus.

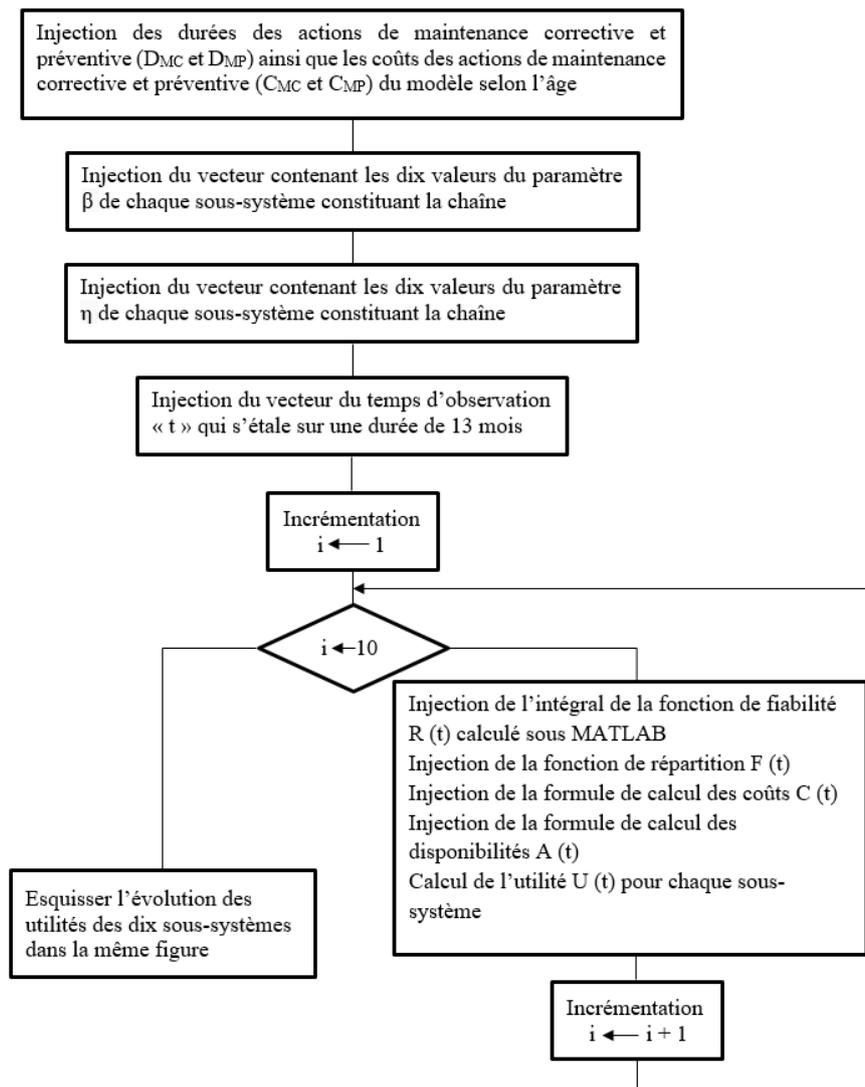


Figure 3.7 -Organigramme servant à dessiner l'utilité des machines selon le modèle âge

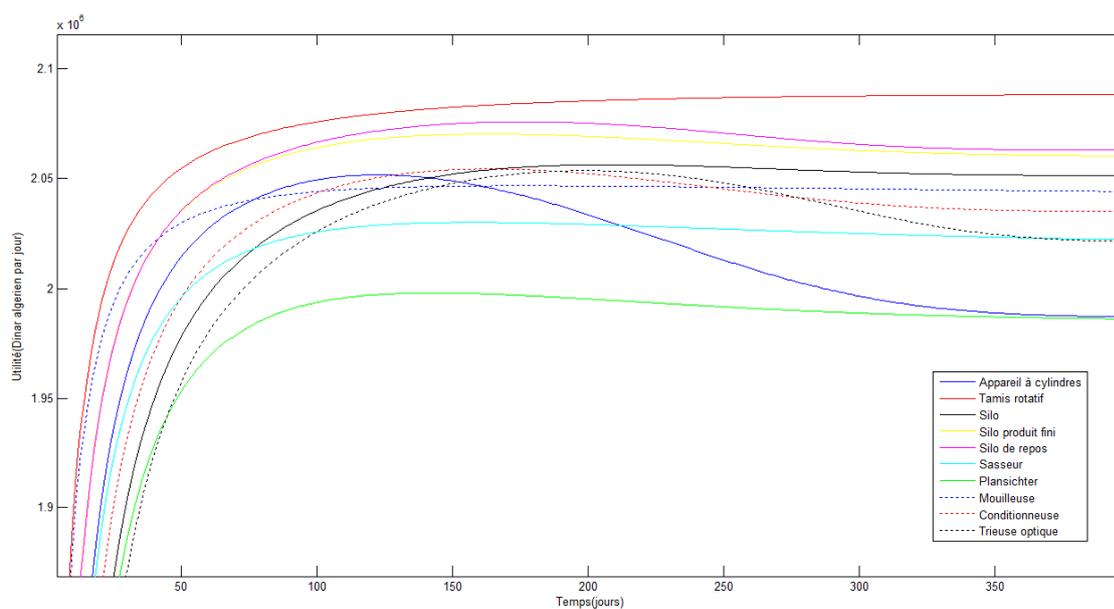


Figure 3.8 -Evolution de l'utilité selon le modèle âge

Tableau 3.7-L'utilité maximale et la périodicité selon le modèle âge

L'appareil	Utilité maximale (U)	Temps correspondant
Appareil à cylindres	2.050*10 ⁶	112
Tamis rotatif	2.021*10 ⁶	96
Silo	2.050*10 ⁶	105
Silo produit fini	2.044*10 ⁶	99
Silo de repos	2.059*10 ⁶	122
Sasseur	1.996*10 ⁶	90
Plansichter	1.985*10 ⁶	70
Mouilleuse	1.957*10 ⁶	89
Conditionneuse	2.022*10 ⁶	97
Trieuse optique	2.067*10 ⁶	156

3.3.2. Politique de maintenance en bloc

3.3.2.1. Critère de coût

L'espérance du coût de maintenance par unité de temps est illustrée dans la formule (mmm) tel que

$$C(T) = \frac{C_{MC}\Lambda(T) + C_{MP}}{T} \quad (3.18)$$

Avec $\Lambda(T) = \int_0^T \lambda(t)dt$ est le "taux de hasard cumulé" ("Rate of Occurrence Of Failure(ROCOF)" en anglais.

Le temps optimum correspond au minimum de l'équation de C(T), autrement dit

$$\frac{dC(T)}{dt} = 0 \quad (3.19)$$

Injecter la valeur trouvée dans la formule (3.14) nous donnera le coût optimal correspondant, le tableau (3.6) représente les valeurs obtenues pour ce modèle.

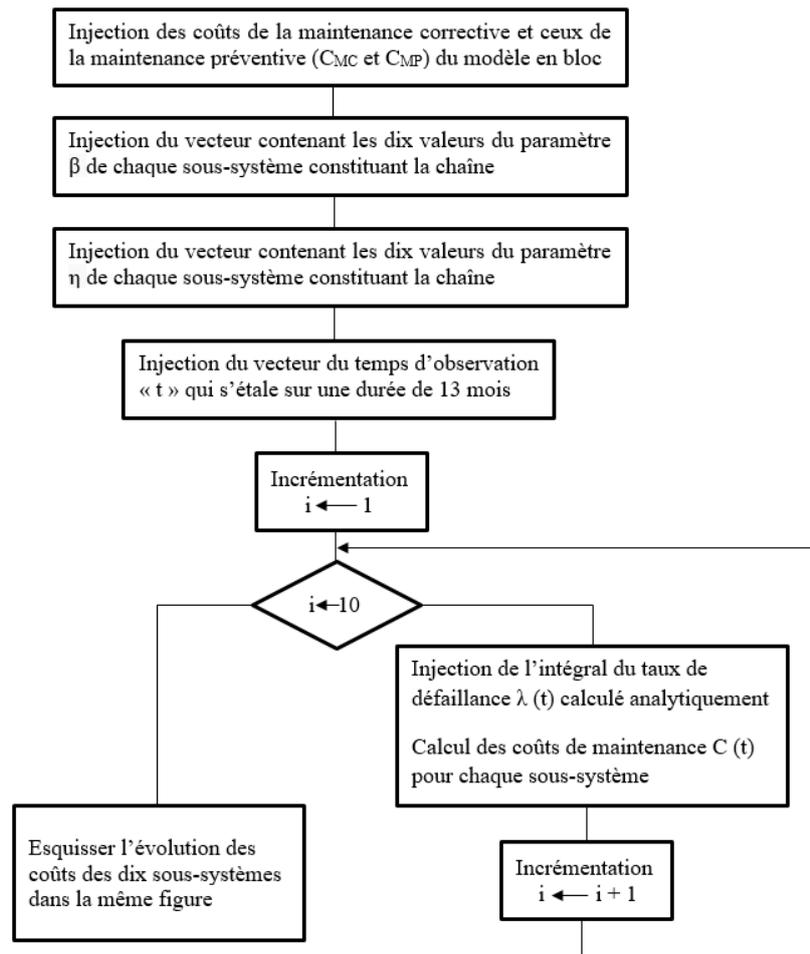


Figure 3.9 -Organigramme de calcul des coûts de maintenances selon le modèle en bloc

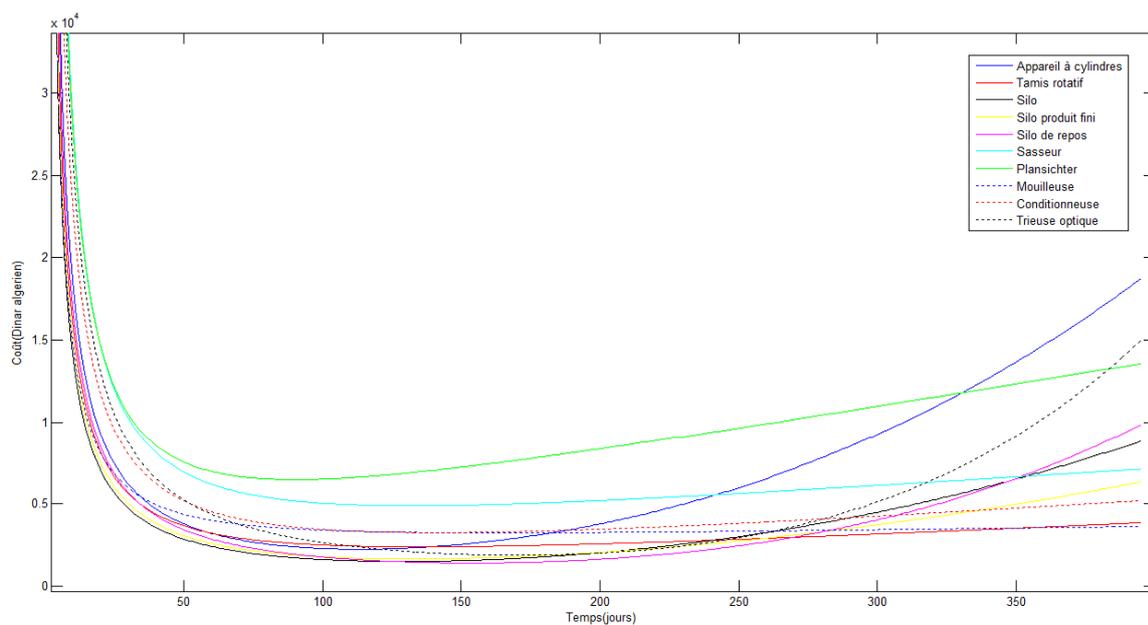


Figure 3.10 -Evolution des coûts de maintenances selon le modèle en bloc

Tableau 3.8-Les coûts et les périodicités selon le modèle en bloc

L'appareil	C*	T*
Appareil à cylindres	2247	112
Tamis rotatif	2394	133
Silo	1502	128
Silo produit fini	1659	131
Silo de repos	1412	152
Sasseur	4831	131
Plansichter	6474	90
Mouilleuse	3241	160
Conditionneuse	3255	138
Trieuse optique	1883	170

La figure (3.10) représente des coûts de maintenance selon la politique en bloc de l'ensemble des machines présents dans la chaîne au sein de la manufacture SSG, en peut en déduire une casi similarité le long de la durée sur laquelle s'étale notre étude.

3.3.2.2. Critère de disponibilité

Pour pouvoir repérer la disponibilité maximale pour chaque machine nous devons esquisser la figure de l'évolution de cette dernière en fonction du temps par l'intermédiaire de l'algorithme de la figure (3.11) puis repérer sur chaque figure le point dont les coordonnées (T_D, D_{MAX}) .

Puis nous avons pris les valeurs de la disponibilités maximales sur le graphe de chaque machine et présenter ses valeurs sur le tableau (3.9)

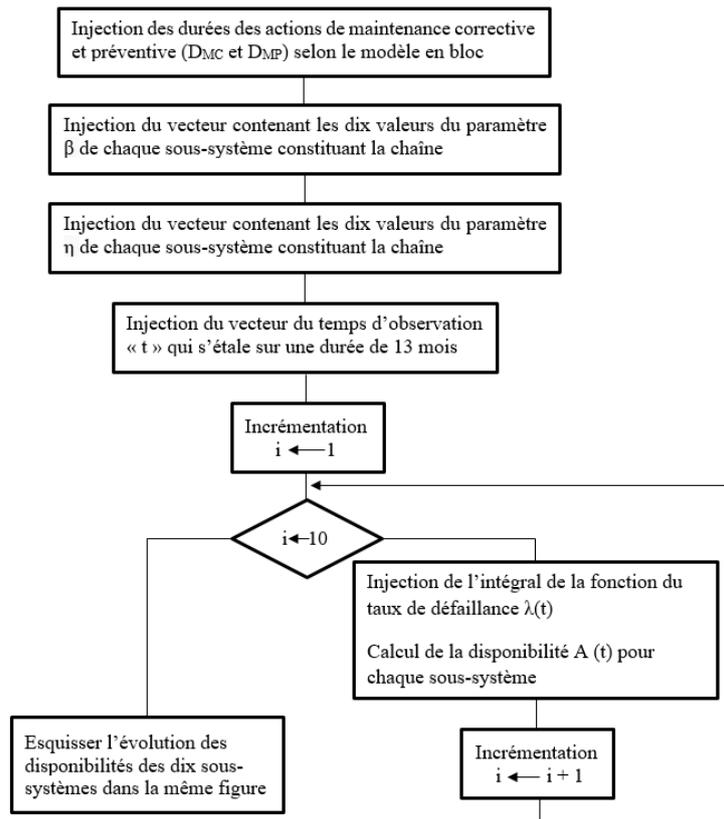


Figure 3.11 -Organigramme de calcul de la disponibilité selon le modèle en bloc

La figure (3.12) représente les disponibilités selon la politique en bloc de l'ensemble des machines présents dans la chaîne au sein de la manufacture SSG,

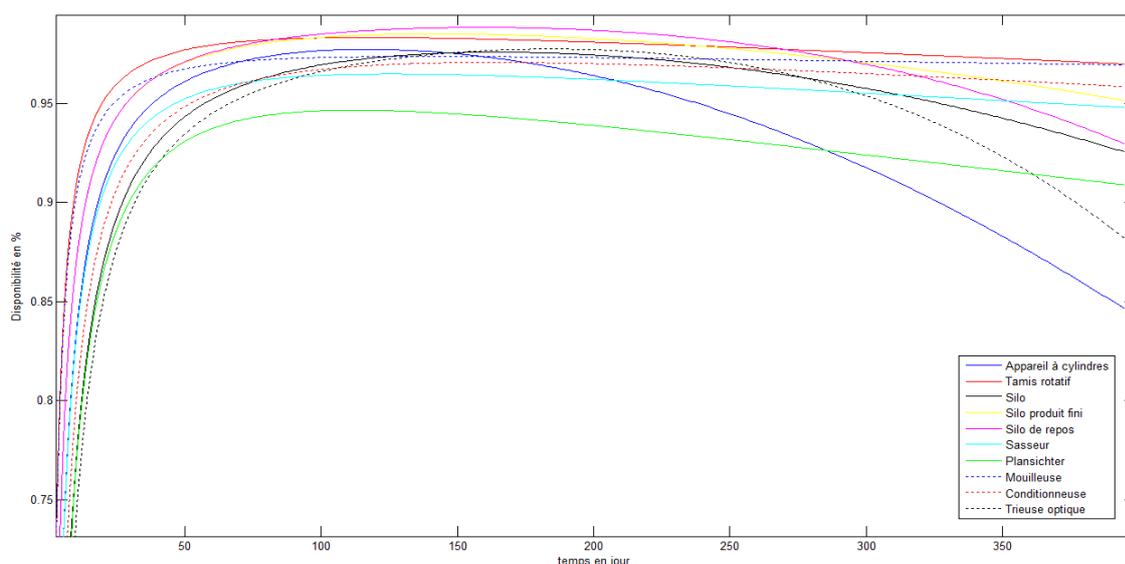


Figure 3.12 -Evolution de la disponibilité selon le modèle en bloc

Tableau 3.9-La disponibilité maximale selon la politique en bloc

L'appareil	Disponibilité maximale (D_{MAX})	Temps correspondant (T_D)
Appareil à cylindres	0.977	113
Tamis rotatif	0.983	106
Silo	0.976	156
Silo produit fini	0.985	132
Silo de repos	0.988	151
Sasseur	0.965	119
Plansichter	0.947	110
Mouilleuse	0.974	128
Conditionneuse	0.971	156
Trieuse optique	0.977	181

3.3.2.3. Critère d'utilité

Pour pouvoir analyser le critère de l'utilité nous avons fait appel à l'algorithme sur la figure (3.13) qui permis de tracer les figures de l'utilité de chaque machine dans la figure (3.14), sur chacune des figures nous avons repéré la valeur maximale et le temps correspondant puis dresser les résultats sur le tableau (3.10).

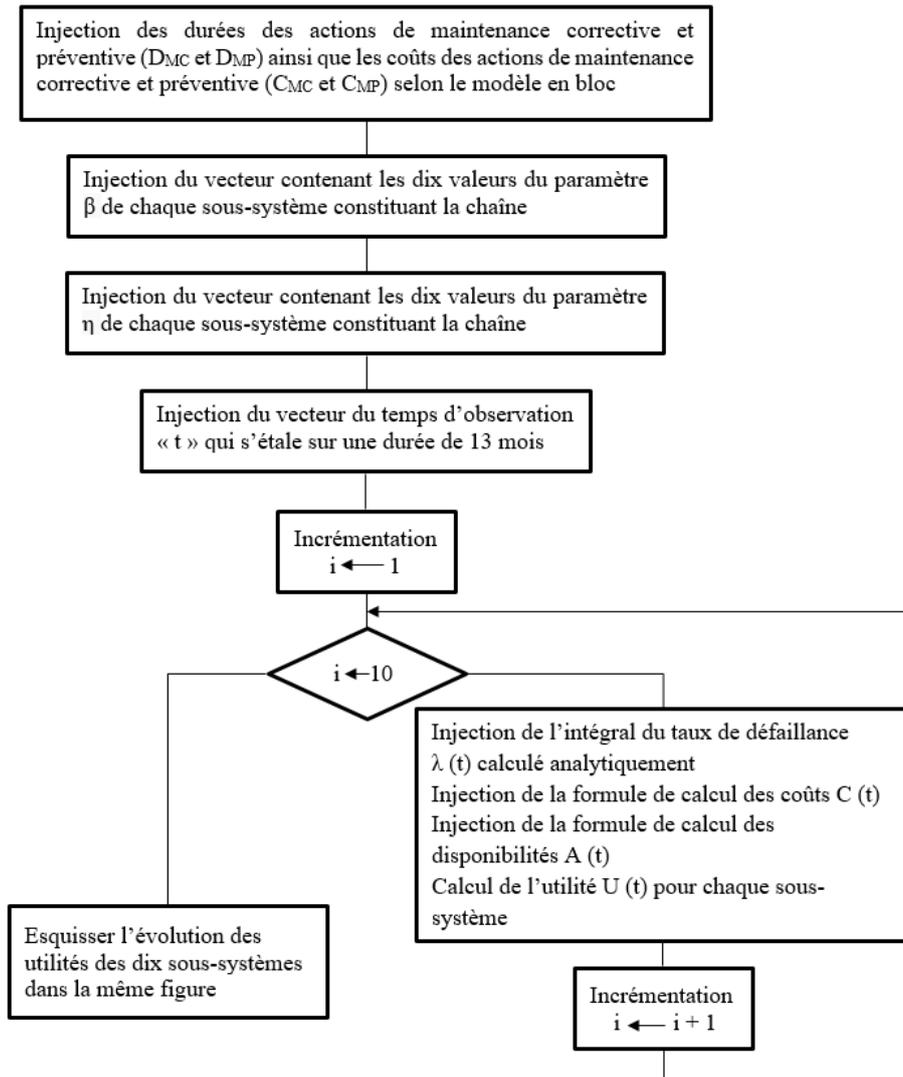


Figure 3.13-Organigramme de calcul de l'utilité selon le modèle en bloc

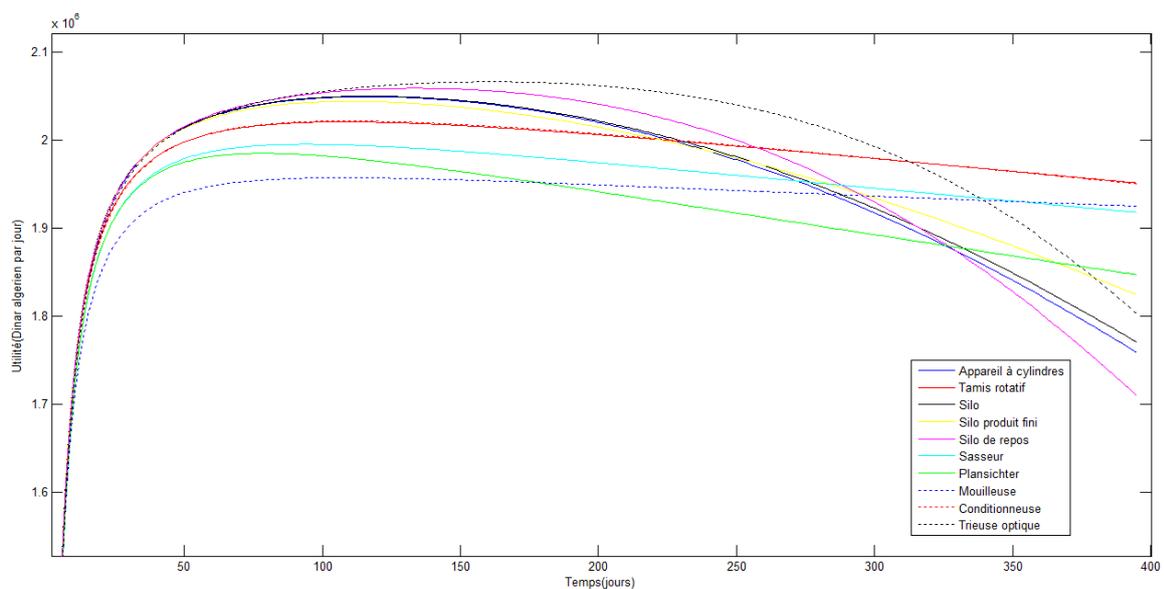


Figure 3.14 -Evolution de l'utilité selon le modèle en bloc

Tableau 3.10-L'utilité maximale et sa périodicité selon le modèle en bloc

L'appareil	Utilité maximale (U)	Temps correspondant T
Appareil à cylindres	$2.052 \cdot 10^6$	116
Tamis rotatif	$2.088 \cdot 10^6$	294
Silo	$2.056 \cdot 10^6$	180
Silo produit fini	$2.070 \cdot 10^6$	138
Silo de repos	$2.076 \cdot 10^6$	160
Sasseur	$2.030 \cdot 10^6$	132
Plansichter	$1.998 \cdot 10^6$	126
Mouilleuse	$2.046 \cdot 10^6$	148
Conditionneuse	$2.054 \cdot 10^6$	143
Trieuse optique	$2.054 \cdot 10^6$	192

3.3.3. Discussion des résultats et comparaison des deux politiques

Pour pouvoir comparer les deux politiques de maintenance présentés précédemment nous avons pu comparer les trois critères dont celui du coût, disponibilité et utilité ; les résultats obtenus sont illustrés dans les tableaux (3.11),(3.12) et (3.13).

Tableau 3.11-L'écart en termes de coûts entre la politique en bloc par rapport à celle selon l'âge

L'appareil	Ecart en termes de coûts entre les deux politiques
Appareil à cylindres	3.72 %
Tamis rotatif	11.88 %
Silo	6.40 %
Silo produit fini	9.04 %
Silo de repos	7.29 %
Sasseur	4.16 %
Plansichter	9.99 %
Mouilleuse	-12.06 %
Conditionneuse	12.53 %
Trieuse optique	1.48 %

Tableau 3.12-L'appareil Ecart en termes de disponibilités entre la politique en bloc par rapport à celle selon l'âge

L'appareil	Ecart en termes de disponibilités entre les deux politiques
Appareil à cylindres	0.10 %
Tamis rotatif	0.20 %
Silo	0.41 %
Silo produit fini	0.20 %
Silo de repos	0.10 %
Sasseur	0.41 %

Plansichter	0.73 %
Mouilleuse	0.20 %
Conditionneuse	0.40 %
Trieuse optique	0.20 %

Tableau 3.13-L'écarts en termes d'utilité entre la politique en bloc par rapport à celle selon l'âge

L'appareil	Ecart en termes d'utilité entre les deux modèles
Appareil à cylindres	0.10 %
Tamis rotatif	3.21 %
Silo	0.29 %
Silo produit fini	1.26 %
Silo de repos	0.82 %
Sasseur	1.67 %
Plansichter	0.65 %
Mouilleuse	4.44 %
Conditionneuse	1.66 %
Trieuse optique	-0.63 %

D'après les résultats illustrés dans le tableau (3.12), la supériorité en termes de coûts de la politique en bloc par rapport à celle selon l'âge est valable pour l'unanimité des machines constituant la chaîne sauf la Mouilleuse par conséquent le choix du modèle selon l'âge est valable pour toute la chaîne.

D'après les résultats du tableau (3.13), la supériorité en termes de disponibilité de la politique selon l'âge est supérieure à celle en bloc par conséquent le choix se porte sur le modèle selon l'âge.

D'après les résultats illustrés dans le tableau (3.12), la supériorité en termes d'utilité de la politique en bloc par rapport à celle selon l'âge est valable pour l'unanimité des machines constituant la chaîne sauf la trieuse optique par conséquent le choix du modèle en bloc est valable le critère d'utilité.

Conclusion

Après avoir présenté les deux modèles de maintenance et les critères qui les caractérisent, la comparaison entre la politique de maintenance selon l'âge et celle en bloc est basée sur des résultats des coûts de maintenance, des disponibilités de la chaîne de production et des utilités représentant les bénéfices nets de l'entreprise.

Les deux critères (coût et disponibilité) sont avantageux pour la politique selon l'âge par rapport à la politique en bloc cependant l'utilité favorise le modèle en bloc.

Finalement, nous avons adopté la politique selon l'âge due aux écarts entre les coûts de ces dernières est plus visible que l'écart entre la disponibilité et l'utilité, le modèle le moins coûteux est celui de la politique de maintenance selon l'âge.

Conclusion générale

Conclusion générale

Dans ce travail, Nous avons désigné comme objectif de choisir la politique de maintenance la plus adéquate entre le modèle selon l'âge et celui en bloc pour la société de Semoule Soummam Grani (SSG), ce choix se fait en s'appuyant sur les résultats obtenus en matière de fiabilité, coûts, disponibilité et utilité.

En premier lieu la connaissance du système d'un point de vue structurel est primordiale pour réussir l'étude, c'est pourquoi nous avons dédié le premier chapitre à la présentation de la manufacture SSG ainsi que le process de fabrication du produit.

Le deuxième chapitre regroupe essentiellement les fonctions et les lois statistiques usuelles, à l'aide des résultats obtenus le choix du modèle statistique et la vérification des résultats nous a permis d'obtenir l'allure de l'évolution de la fiabilité le long de la période d'observation.

L'influence du milieu dans lequel s'exercent ces machines dépend des agents présents de plusieurs types (corrosion, fatigue, surcharges, conditions de température ...etc.). Le comportement de tous système peut être évalué en observant certains indicateurs révélateurs, élaborer une politique de maintenance efficace revient à contrer à éviter certaines anomalies en d'autres mots améliorer l'utilité et maximiser le bénéfice de l'entreprise.

Pour pouvoir choisir entre ces deux politiques, nous avons effectué une évaluation rigoureuse du côté des coûts des actions de maintenance en s'appuyant sur des données recueillies de la manufacture ce qui nous a permis de choisir le modèle selon l'âge bien que les écarts ne soient pas significatifs. Cette politique prend en compte les temps d'intervention suivant l'âge du composant pour effectuer des maintenances soi-disant conditionnel tel que le système a atteint une phase où il ne pourrait pas accomplir sa tâche requise.

Alors, notre étude nous a permis de choisir la politique selon l'âge qui a donné des résultats confirmant ainsi notre choix. Ce dernier permet de satisfaire au mieux les objectifs fixés et permettant a priori une exploitation optimale de la chaîne de production.

Références bibliographiques

- [1] Direction en voiture de Bejaia centre à Groupe Chikhoun Taharacht, Akbou. Google maps 13 juin 2021.
- [2] ‘‘Guide de bonnes pratiques d’hygiène et d’application des principes HACCP dans l’industrie de la semoulerie de blé dur’’, la DILA, janvier 2012.
- [3] LAGGOUNE, Redouane. Cour Master 1 Maintenance Industrielle : ‘‘Fiabilité des systèmes’’ Université de Béjaïa., 2019/2020.
- [4] AIT MOKHTAR, El Hassene. Cour Master 2 Maintenance Industrielle : ‘‘Fiabilité industrielle’’, Université de Béjaïa, 2019/2020.
- [5] AFNOR, FDX60-000, ‘‘maintenance industrielle , fonction maintenance’’, Mai 2002.
- [6] AIT MOKHTAR, Elhassene. Cour Master 2 Maintenance Industrielle : ‘‘modèles de maintenance’’, Université de Béjaïa, 2019/2020.
- [7] AIT MOKHTAR, El Hassene. Thèse Doctorat : ‘‘Optimisation de la sûreté de fonctionnement et de la maintenance des systèmes complexes par les réseaux bayésiens ‘’, Université de Béjaïa, 13 Octobre 2016

Résumé

L'homme a toujours essayé de dévier les contraintes qui s'opposent à lui tout en développant des atouts et des concepts réduisant les aspects négatifs que comporte l'organisme.

Nous nous sommes intéressés dans ce travail à l'évaluation ainsi que l'optimisation de la politique de maintenance des systèmes mono-composants. Ces derniers sont les plus utilisés et traités que les systèmes multi-composants. Les systèmes mono-composants basent sur l'indépendance sur le plan économique et structurelle, l'intérêt d'adopter ce genre de modèle est d'arriver à planifier des actions de maintenances sur des systèmes subissant des défaillances aléatoires, afin d'éviter les arrêts de la chaîne de production et maximiser le bénéfice.

Abstract

Man has always tried to deflect the constraints that oppose him while developing strengths and concepts that reduce the negative aspects of the body.

We were interested in this work in the evaluation as well as the optimization of the maintenance policy of single-component systems. The latter are the most used and processed than multi-component systems. Single-component systems are based on economic and structural independence, the interest of adopting this kind of model is to manage to plan maintenance actions on systems undergoing random failures in order to avoid shutdowns of the production chain and maximize the profit.

ملخص

لقد حاول الإنسان دائما تفادي القيود والمصاعب التي تعارضه مع تطوير نقاط القوة والمفاهيم التي تقلل من الجوانب السلبية للجسم المدروس. كنا مهتمين بهذا العمل في التقييم وكذلك تحسين سياسة الصرامة للأنظمة أحادية المكون. هذا الأخير هو الأكثر استخداما ومعالجة من الأنظمة متعددة المكونات. تعتمد الأنظمة أحادية المكون على الاستقلال الاقتصادي والهيكلية، وتتمثل المصلحة في اعتماد هذا النوع من النموذج في إدارة تخطيط إجراءات الصيانة على الأنظمة التي تخضع لإخفاقات عشوائية من أجل تجنب الإغلاق لسلسلة الإنتاج وتعظيم الربح.