

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

SCIENTIFIQUE



**Faculté de Technologie
Département Génie Mécanique
Mémoire de Master**

En vue de l'obtention du diplôme de **MASTER** en :

Filière : Électromécanique

Spécialité : Maintenance industrielle

THÈME

**Étude de maintenance de la machine d'ensachage
de sucre réf : CSV40 PAKET**

Présenté par :

MM. BELIOUZ Ali

BENNIA Oussama

Promoteur :

M. SETTET Ahmed Tidjani

Promotion 2023- 2024

Résumé

Dans cette étude, on s'intéresse à la machine d'ensachage de sucre donc le rôle principal est l'augmentation de la production et l'amélioration de la productivité et la réduction des dysfonctionnements qui en résultent. Une étude de maintenance de cet outil de production ainsi que l'exploitation des données relatives aux échéances des interventions correctives et préventives nous a permis d'extraire les indicateurs de fiabilité et de calculer les temps optimaux de la maintenance préventive et faire de l'ordonnancement des opérations un outil de maintenance pour minimisant le temps d'intervention.

Mot clés : machine d'ensachage de sucre, maintenance, fiabilité, maintenabilité, probabilité, disponibilité, ICA.

ملخص

في هذه الدراسة، نحن مهتمون بألة تعبئة السكر، لذا فإن الدور الرئيسي هو زيادة الإنتاج وتحسين الإنتاجية وتقليل الأعطال الناتجة. سمحت لنا دراسة الصيانة لأداة الإنتاج هذه وكذلك استغلال البيانات المتعلقة بالمواعيد النهائية للتدخلات التصحيحية والوقائية باستخراج مؤشرات الموثوقية وحساب الأوقات المثلى للصيانة الوقائية وجعل جدول عمليات الصيانة أداة لتقليل وقت التدخل.

الكلمات المفتاحية: آلة تعبئة السكر، الصيانة، الموثوقية، قابلية الصيانة، الاحتمالية، التوفر، أجهزة القياس والتحكم والتشغيل التلقائي.

Abstract

In this study, we are interested in the sugar bagging machine so the main role is to increase production and improve productivity and reduce the resulting malfunctions. A maintenance study of this production tool as well as the exploitation of data relating to the deadlines for corrective and preventive interventions allowed us to extract the reliability indicators and calculate the optimal maintenance times preventive. And make the scheduling of maintenance tools operations to minimize the intervention time.

Keywords: sugar bagging machine, maintenance, reliability, maintainability, probability, availability, ICA.

Remerciement

Chaque travail que l'homme effectue est un voyage et une aventure pleins de surprises.

C'est un épilogue qui ouvre à l'homme les portes de l'inconnu sur le chemin qu'il poursuit tout le long de sa vie.

Je remercie Dieu de nous avoir donné la vie, la santé, le courage et la volonté d'entreprendre ce voyage et d'en apprécier le fruit de l'effort consenti

Nous souhaitons de remercier Mr. ABDLATIF AIT MOHANTE, responsable service Mécanique et Méthodes LABELLE, de m'avoir encadré, soutenu, durant notre stage, et nous a fait partager sa passion pour la recherche et sa rigueur scientifique.

Un grand merci pour sa patience et sa disponibilité, ainsi que ses qualités humaines et scientifiques, on a apprécié ses connaissances technologiques qui nous ont permis d'acquérir de nouvelles compétences que j'ai pu exploiter dans le développement de notre mémoire.

Nous remercions également M. SETTET Ahmed Tidjani, enseignant à l'Université M'Hamed Bougera de bombardés, de nous avoir encadré, et encourager et guider à poursuivre mon projet, pour les nombreux échanges que nous avons eus et pour sa disponibilité et son aide dans des moments de doute.

Nous associons à ces remerciements tous enseignants pour leurs enseignements et leurs efforts fournis durant toute la période d'étude.

Enfin, nous remercions sincèrement tout le personnel de service méthode qui nous en accepter et agréablement accueillis de puis le premier jour, et toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicace



Je dédie ce travail

À mes très chers parents

« Ma Mère, Mon Père »

Un minime Témoignage de ma reconnaissance Pour les souffrances

Qu'ils ont eu à supporter pour mon bien être.

Qu'ALLAH les protèges.

Aux étoiles de ma famille

Mes Frères et toutes mes Sœurs, À mes chers amis.

Sans oublier tous les gens qui m'aiment Du fond du cœur.

Et dédie ce travail à mon professeur

SETTET Ahmed Tidjani

Cela m'aide toujours.



BELIOUZ Ali



Dédicace



Je dédie ce travail

À Mon Père, ma famille, mes amis et spécialement

À ma mère

Source infinie de soutien et d'inspiration,

Son amour inconditionnel a été ma force motrice

Tout au long ma vie et mon parcours académique

Son dévouement et sa bienveillance m'ont guidé à chaque étape.

Merci pour ta confiance en moi

Je te dédie ce mémoire avec tout mon amour et

Ma gratitude éternelle

لله يرحمك يا أمي

Et je dédie ce travail à mon professeur

SETTET Ahmed Tidjani

Pour sa disponibilité et son aide.



BENNIA Oussama



Sommaire

Sommaire

Liste des figures	
Liste des tableaux	
Nomenclature	
Symboles	
Introduction générale	1
I Chapitre 1 : Présentation de l'entreprise.....	3
I.1 Introduction.....	3
I.2 Mission et objective.....	4
I.3 Commercialisation.....	4
I.4 Structure du complexe GRD	5
I.4.1 Situation géographique.....	6
II Chapitre 2 : La maintenance	7
II.1 Introduction.....	7
II.2 Historique et Évolution de la maintenance industrielle	7
II.3 Objectifs de la maintenance	7
II.4 Différents Types de maintenance	8
II.5 Niveaux de maintenance	9
II.5.1 Les stratégies de maintenance	9
II.6 Les outils de la maintenance	10
II.7 Les opérations de maintenance.....	10
II.8 Coûts de maintenance	11
II.9 Organisation d'un atelier de maintenance	12
II.10 Organisation structurelle du service maintenance	12
II.11 Généralité sur la fiabilité.....	13
II.11.1 Fiabilité	13
II.12 Lois de probabilités en fiabilité.....	16
II.12.1 Loi exponentielle	16
II.12.2 Analyse de la fiabilité à partir du modèle de "WEIBULL"	18
II.13 Maintenance basée sur la fiabilité (MBF) :	20
II.13.1 Les outils de la MTBF :	21
II.14 Conclusion	21
III Chapitre 3 : Machine d'ensachage	22
III.1 Introduction.....	22
III.2 Cycle de maturation.....	22
III.3 Circuit d'ensachage	22
III.4 Calibrage de machine d'ensachage.....	24
III.5 Procédure de calibrage.....	24
III.6 Composent de machine d'ensachage	25
III.7 Capteur de machine d'ensachage	26

III.7.1	Capteur logique.....	27
III.7.2	Capteur LSH.....	27
III.7.3	Détecteur de bourrage	28
III.7.4	Détecteur de fin de course	28
III.7.5	Détecteur de niveau.....	29
III.7.6	Paramètre des capteurs.....	30
III.8	Automates de machine d'ensachage	30
III.9	Conclusion	31
IV	Chapitre 4 : Étude de la maintenance sur la machine d'ensachage	32
IV.1	Introduction.....	32
IV.2	Fiabilité opérationnelle	32
	IV.1.2 Exploitation de l'historique.....	32
IV.3	Fiabilité prévisionnelle	34
	IV.3.1 Calcul les paramètres de WEIBULL.....	34
IV.4	Étude de modèle de WEIBULL	37
	IV.4.1 La fonction de la densité de probabilité	37
	IV.4.2 La fiabilité	38
	IV.4.3 Le taux de défaillance	39
IV.5	Calcul de la maintenabilité et la disponibilité	40
	IV.5.1 Calcul la maintenabilité de la machine d'ensachage.....	40
	IV.5.2 Calcul la disponibilité de la machine d'ensachage.....	41
IV.6	Conclusion	42
	Conclusion générale	44
	Bibliographies	45

Liste des figures

Liste des figures

Figure I.1 Calibre de sac de sucre.....	3
Figure I.2 Partenaire idéal [15].....	4
Figure I.3 Organigramme de la Structure hiérarchique du complexe.....	4
Figure I.4 Situation géographique du complexe GRD	6
Figure II.1 Organigramme des différentes stratégies de maintenance.....	7
Figure II.2 Processus de déroulement d'une maintenance corrective d'un Équipement	12
Figure II.3 Évolution de la fiabilité en fonction de temps [16].....	14
Figure II.4 Évolution du taux de défaillance en courbe « baignoire ».....	15
Figure II.5 Représentation graphique de la loi exponentielle : Échelle linéaire.....	18
Figure II.6 Représentation graphique de la loi exponentielle : Échelle semi-logarithmique	18
Figure II.7 Principales propriétés de la distribution de WEIBULL [10].....	19
Figure III.1 Circuit d'ensachage.....	23
Figure III.2 Machine d'ensachage et c'est composant	26
Figure III.3 Capteur LSH utilisé dans les trémies	27
Figure III.4 Emplacement capteur LSH dans les silos contenant des solides.....	28
Figure III.5 Détecteur de fin de course.....	29
Figure III.6 Capteur de niveau	29
Figure III.7 Emplacement du capteur de niveau dans les trémies	30
Figure III.8 Automate SIEMENS S7-300.....	31
Figure IV.1 La Courbe de taux de défaillance $\lambda(t)$	34
Figure IV.2 Détermination graphique des paramètres de la loi de WEIBULL [17].....	35
Figure IV.3 La Courbe de densité de probabilité.....	38
Figure IV.4 La Courbe de la fonction de Fiabilité.....	39
Figure IV.5 La Courbe de la fonction de taux de défaillance.....	40
Figure IV.6 La courbe de la maintenabilité.....	41
Figure IV.7 La courbe de disponibilité.....	42

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau II.1 Niveaux de maintenance [4].....	9
Tableau II.2 Coûts de maintenance	11
Tableau II.3 Description les trois zones de la courbe de baignoire	16
Tableau III.1 Composent de machine d'ensachage.....	25
Tableau IV.1 Historique des pannes.	32
Tableau IV.2 Valeurs de $F(t_i)$, $R(t_i)$ et $\lambda(t_i)$	33
Tableau IV.3 Valeurs de $F(t_i)$ et $R(t_i)$ en%	35
Tableau IV.4 Valeurs de $f(t)$	37
Tableau IV.5 Calcul de la fiabilité.....	38
Tableau IV.6 Valeurs de taux de défaillance $\lambda(t)$	39
Tableau IV.7 Valeurs de la maintenabilité.....	41
Tableau IV.8 Valeurs de la disponibilité instantane.....	42

Nomenclature

Nomenclature

AFNOR : Association française de normalisation

AMDEC : Analyse des modes de défaillance de leurs effets et de leur criticité

MTBF : Moyenne de Temps de Bon Fonctionnement

MTTR : Moyenne de temps de réparation

TBF : Temps de bon fonctionnement

TTR : Temps de réparation

TTR : Temps technique de réparation

AdM : Atelier de maintenance

S.p.A : Société par actions

GRD : Grande Raffinerie Dahmani

ICA : Industrie chimique Adriatique

Symboles

Symboles

- $R(t)$: La fonction de fiabilité
- $F(t)$: La fonction de répartition
- $f(t)$: Densité de probabilité
- $\lambda(t)$: Taux de défaillance
- N : Nombre de Temps de bon fonctionnement
- η : Le paramètre d'échelle
- β : Le paramètre de forme
- $\gamma(h)$: Le paramètre de position
- $F(i)$: La probabilité de panne au temps
- μ : Taux de réparation
- $D_t(h)$: Disponibilité intrinsèque
- $D_0(h)$: Disponibilité opérationnelle
- $M(t)(h)$: Maintenabilité

Introduction générale

Introduction générale

Dans le contexte de l'industrie sucrière, la raffinerie GRD LaBelle occupe une place stratégique en Algérie, avec une capacité de production annuelle de 350 000 tonnes de sucre, soit une capacité de 1000 tonnes par jour. Cette production est destinée à être commercialisée sous forme de sacs de 25 kg, 50 kg et big-bangs de 1100 kg, ainsi que sous forme liquide en camion-citerne et en VRAC, conteneur dans un proche avenir. La raffinerie a permis la création de 450 emplois directs dans la région, créant ainsi un impact économique important. Cependant, la machine d'ensachage de sucre est un élément clé du processus de conditionnement, mais elle est sujette à des arrêts fréquents dus à l'accumulation de poussière de sucre. Ce problème impacte directement la productivité et la qualité du produit fini. Pour répondre à cette problématique, il est essentiel d'étudier en détail la maintenance de la machine d'ensachage de sucre réf : CSV40 PAKET, en s'appuyant sur les principes de fiabilité et la méthode de Weibull.

Cette étude a pour objectif d'examiner les concepts fondamentaux de la maintenance, de la fiabilité et de la méthode de Weibull, en les appliquant à la machine d'ensachage de sucre. Il s'agit de proposer une approche méthodologique visant à améliorer la fiabilité de cet équipement, en identifiant les causes de défaillances et en développant des stratégies de maintenance préventive et corrective adaptées.

Pour répondre à cette problématique, le mémoire s'articule en quatre chapitres :

- Chapitre 1 : Présentation de l'entreprise GRD LaBelle, son historique et la situation géographique.
- Chapitre 2 : Concepts fondamentaux de maintenance, avec une étude théorique des principes de maintenance, fiabilité, méthode de Weibull et les différentes équations à utiliser dans notre application.
- Chapitre 3 : Description détaillée de la machine d'ensachage de sucre, ses composants et son fonctionnement.
- Chapitre 4 : Application des outils de fiabilité et la méthode Weibull à la machine d'ensachage avec une analyse des résultats de calcul qui est basé sur la fiabilité et la méthode de Weibull.

Cette structure permet d'aborder progressivement le sujet, en partant du contexte général de l'entreprise, ensuite étudier les aspects théoriques de maintenance et fiabilité, décrire en détail l'équipement étudié, et enfin appliquer concrètement les méthodes d'analyse à la machine d'ensachage.

En conclusion, dans notre mémoire nous inspirant de contribuer à l'amélioration de la fiabilité de la machine d'ensachage de sucre, en proposant une démarche structurée basée sur les principes de la maintenance préventive et corrective, et en utilisant les méthodes de la fiabilité et de Weibull. Les résultats obtenus devraient permettre de réduire significativement les arrêts de production et d'optimiser la productivité de l'outil industriel.

Chapitre I

Présentation de l'entreprise

I.1 Introduction

La raffinerie GRD LaBelle, située à 35 kms d'Alger est entrée en fonctionnement en 2016. La construction de la raffinerie a nécessité un investissement d'environ 150 millions d'euros de la part de la joint-venture créée entre le Groupe LaBelle et CRISTAL UNION. La raffinerie produit un sucre industriel haut de gamme aux normes internationales et du sucre de bouche de 1ère qualité, en plus des sous-produits commercialisables consistants en de la mélasse et des écumes. Dans un premier temps l'usine va produire 350 000 T. de sucre par an soit une capacité de 1000 T/J. Des prévisions d'extension porteront cette production à 455 000 T (1300 T/j).

Le sucre est commercialisé en sacs : 25 kg, 50 kg et big-bags de 1100 Kg, dans un premier temps puis sous forme liquide en camion-citerne et en VRAC, conteneur dans un proche avenir. De même une production de sucre de bouche de 1kgs est opérationnelle. La raffinerie a permis la création de 450 emplois directs dans la région créant, par là-même un impact économique important.



Figure I.1 Calibre de sac de sucre.

Cette raffinerie permettra également de développer l'industrie sucrière algérienne et de la porter au meilleur niveau pour la conformer aux normes et standards internationaux en vigueur. Cela permettra de dégager, dans un premier temps, une capacité de substitution à l'importation, puis, dans un second temps, une offre exportable et de contribuer ainsi à la sécurité alimentaire du pays et à l'équilibre de la balance des paiements au titre du poste sucre. Le Groupe LaBelle pourra ainsi accéder à la maîtrise de nouvelles technologies, sécuriser ses approvisionnements en matières premières, améliorer la qualité des sucres raffinés au bénéfice des industries utilisatrices du sucre et pénétrer les marchés internationaux [1].

I.2 Missions et objectifs

L'entreprise a pour mission principale de développer et d'assurer la qualité et les conditionnements du sucre à des prix nettement plus compétitifs et cela dans le but de satisfaire le client Les objectifs visés par GRD-LaBelle peuvent se présenter comme suite :

- L'extension de ses produits sur tout le territoire national.
- Optimisation de ses offres d'emploi sur le marché de travail.
- Le positionnement de ces produits sur le marché étranger par leurs exportations.

I.3 Commercialisation

L'objectif est d'approvisionner en sucre raffiné les grandes entreprises présentes dans le bassin algérois, et de bénéficier du réseau de distribution du Groupe GRD-LaBelle en Algérie. Avec une bonne connaissance du marché, un réseau de distribution bien implanté dans le pays et des connexions en Afrique Subsaharienne, le groupe LaBelle est un partenaire idéal pour Cristal Union.



Figure I.2 Partenaire idéal [15].

I.4 Structure du complexe GRD

Pour représenter le complexe GRD d'une manière générale, l'organigramme relate la structure hiérarchique du complexe ainsi que les différentes directions des services

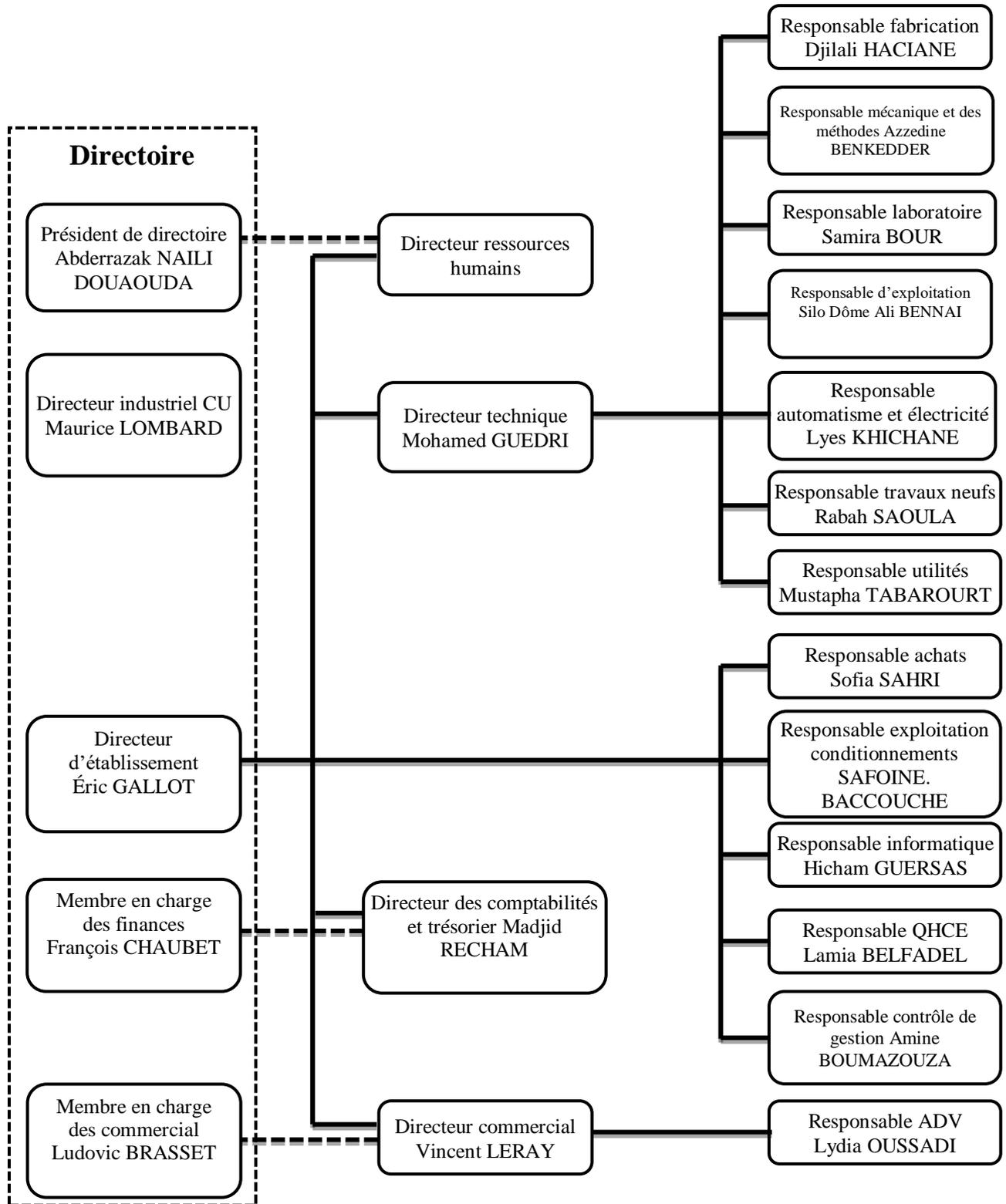


Figure I.3 Organigramme de la Structure hiérarchique du complexe.

I.4.1 Situation géographique

GRD-La Belle est implanté au niveau du Zone industrielle d'Ouled Moussa à 5Km du Boudouaou et à 15 Km du centre de la wilaya Boumerdès, à proximité de la R N29A. Étant donné que son emplacement stratégique est proche de l'autoroute et de la capitale, cette situation géographique de l'entreprise lui a beaucoup profité étant donné qu'elle lui donne l'avantage de proximité économique



Figure I.4 Situation géographique du complexe GRD .

Chapitre II

La maintenance

II.1 Introduction

Pour rester compétitive, une entreprise doit produire toujours mieux (qualité) et au coût le plus bas. Pour minimiser ce coût, on fabrique plus vite et sans interruption.

Des produits sans défaut afin d'atteindre la production maximale par unité de temps. Cet objectif est l'un des buts de la fonction maintenance d'une entreprise. Il s'agit de maintenir un bien dans un état lui permettant de répondre de façon optimale à sa fonction.

Dans ce chapitre, on examine les définitions fondamentales concernant la maintenance et le rôle de cette dernière dans l'industrie. Ensuite, l'accent est mis sur l'intégration d'éléments mathématiques dans la maintenance pour évaluer le comportement du matériel en service.

II.2 Historique et Évolution de la maintenance industrielle

Autrefois, la maintenance était basée sur l'entretien industriel. Au sein d'une entreprise de production, on retrouvait tous les corps de métier (peintre, mécanicien, plombier, chaudronnier, etc.), qui avaient pour seul but de réparer les équipements défectueux. Par conséquent, la Maintenance était passive (maintenance corrective).

L'entretien industriel a pour but :

- D'entretenir les équipements, c'est-à-dire les réparer ou les dépanner.
- D'entretenir les bâtiments par exemple : refaire de la peinture, divers travaux non liés aux machines.

II.3 Objectifs de la maintenance

Assurer le maintien (disponibilité) des équipements de production et diminuer les pannes, car ces dernières occasionnent :

- Coûts de maintenance (intervention).
- Coûts d'indisponibilité (non-production).
- Problèmes de sécurité (biens et personnes). La maintenance intègre également.
- Amélioration de la sécurité des biens et des personnes.
- Intégration de nouveaux biens.
- Organisation des activités de maintenance.
- L'animation et l'encadrement des équipes d'intervention [2].

II.4 Différents Types de maintenance

Il existe plusieurs façons d'organiser les actions de maintenance pour obtenir la disponibilité maximale du matériel au coût minimum. Il en ressort les types de maintenance suivants :

- La maintenance corrective
- La maintenance préventive
- La maintenance prédictive [3].

II.4.1 Organigramme des différentes stratégies de maintenance

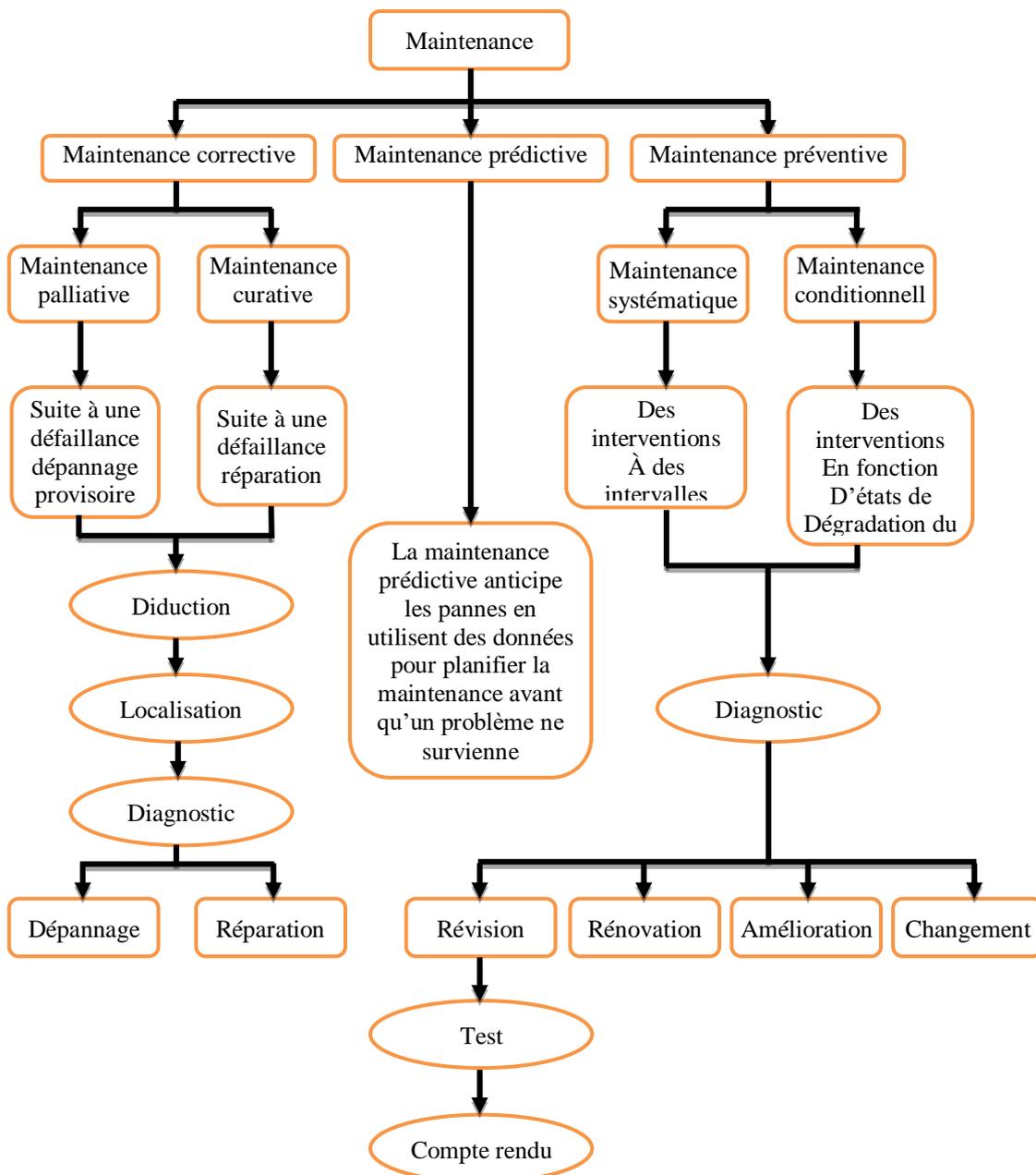


Figure II.1 Organigramme des différentes stratégies de maintenance

II.5 Niveaux de maintenance

La maintenance est caractérisée par une très grande variété de tâches que l'on peut différencier par rapport à leur nature, leur spécificité et leur durée. Une organisation des activités de la maintenance est comme indiqué ci-dessous (voir Tableau II.1) :

Tableau II.1 Niveaux de maintenance [4].

Niveau (TPM)	Niveau AFNOR	Type de travail	Personnel concerné	Moyens
Niveau I	1	Réglage simple d'équipements accessibles sans démontage ou échange d'éléments.	Opérateur système sur place.	Outillage léger défini dans la notice d'utilisation
	2	Réparation ou dépannage par échange standard.	Technicien habilité sur place	Outillage standard et pièces de rechange situés à proximité
Niveau II	3	Identification d'origines de pannes et l'échange de composants fonctionnels	Technicien spécialisé, sur place ou en atelier de maintenance.	Outillage et appareils de mesure
	4	Travaux importants de maintenance préventive et corrective	Équipe encadrée par un technicien spécialisé, en atelier central.	Outillage général et spécialisé
Niveau III	5	Travaux de rénovation, de reconstruction et de réparations importantes, confiés aux sous-traitants	Équipe polyvalente complète en atelier central	Moyens importants proches de ceux du constructeur

II.5.1 Stratégies de maintenance

Bien que l'objectif premier de la maintenance demeure l'optimisation de la rentabilité des équipements industriels, plusieurs approches stratégiques peuvent être envisagées pour y parvenir.

Parmi celles-ci, quatre grandes stratégies de maintenance se distinguent par leur mode de fonctionnement, et peuvent être déployées de manière indépendante ou complémentaire. Toutefois, il est souvent recommandé d'adapter la stratégie de maintenance en fonction des équipements, de leur valeur, et surtout de leur criticité.

Le choix parmi ces méthodes et s'inscrit dans le cadre de la politique de maintenance de l'entreprise, et doit être pris en concertation avec la direction, afin d'assurer une cohérence avec les objectifs organisationnels et économiques globaux [5].

II.6 Outils de la maintenance

La gestion de la maintenance industrielle peut parfois sembler être une question difficile pour un bon nombre d'entreprises.

Pourtant il est possible de la maîtriser parfaitement grâce à de nombreux outils et méthode, très facile à comprendre.

Cette gestion de la maintenance se base sur le sens de l'organisation et du management. C'est de cela que l'approche « Lean Management » est issu et tout ce qui en suit. Nous allons citer les méthodes les plus répandues dans les grandes entreprises :

- La TPM (Maintenance productive totale)
- L'AMDEC (Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur Criticité)
- Le PDCA Plan-Exécute-Vérifie-Adapte)
- Le Diagramme d'ISHIKAW (Diagramme à os de poisson ou Diagramme cause-Effet)
- PARETO ou l'analyse ABC (une méthode de priorisation des problèmes en fonction de leur fréquence et de leur impact)

Ils ont tous pour le but d'améliorer en continu les performances de la machine, réduire les pertes et donc d'optimiser les équipements à moindre coût.

II.7 Opérations de maintenance

Un pilier essentiel de la gestion des équipements industriels, visant à assurer leur bon fonctionnement et leur disponibilité optimale voici quelle qu'opération :

- **Visite** : Ce sont des opérations de surveillance qui dans le cadre de la maintenance préventive systématique, s'opèrent selon une périodicité prédéterminée. Ces interventions correspondent à une liste d'opérations définies au préalable qui peuvent entraîner des démontages de pièces et une immobilisation du matériel.
- **Inspection** : Ce sont des activités de surveillance consistant à relever périodiquement des anomalies et exécuter des réglages simples ne nécessitant pas d'outillage spécifique ni d'arrêt de l'outil de production ou des équipements.
- **Contrôle** : Ils correspondent à des vérifications de conformité par rapport à des données préétablies suivies d'un jugement. Le contrôle peut, comporter une activité d'information, inclure une décision, acceptation, rejet, ajournement, déboucher comme les visites sur opérations de maintenance corrective.
- **Dépannage** : C'est une action ou opération de maintenance corrective sur un équipement en panne en vue de la remettre en état de fonctionnement. Cette action de dépannage peut s'accommoder de résultats provisoires et de conditions de réalisation hors règles de

procédures, du coût et de qualité, et dans ce cas sera suivi de la réparation. Le dépannage peut être appliqué par exemple sur des équipements fonctionnant en continu dont les impératifs de production interdisent toute inspection ou intervention à l'arrêt.

- **Réparation** : C'est une intervention définitive et limitée de maintenance corrective après panne ou défaillance. L'équipement réparé doit assurer les performances pour lesquelles il a été conçu. La réparation peut être décidée, après décision, 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.
- **Révision** : Ensemble des actions d'examen, de contrôle et des interventions effectuées en vue d'assurer le bien contre toute défaillance majeure ou critique, pendant un temps ou pour un nombre d'unités d'usage donné. Il est d'usage de distinguer suivant l'étendue de cette opération les révisions partielles des révisions générales. Dans les deux cas, cette opération implique la dépose de différents sous-ensembles [6].

II.8 Coûts de maintenance

Le contrôle des coûts de maintenance est la base essentielle pour l'identification des équipements gros consommateurs de budget d'entretien et des pratiques opérationnelles trop coûteuses. Pour cela, la pratique d'une comptabilité analytique, par centre de coût, est indispensable pour traiter les informations sur les coûts et les présenter d'une manière exploitable pour la maintenance.

Le coût d'une panne ou intervention en entretien se décompose de trois éléments essentiels notamment :

Tableau II.2 Coûts de maintenance

La consommation des ressources		Le non-crédation des ressources
Coûts directs	Coûts indirects	Coûts indirects
Dépenses de main d'œuvre	Pénalités de retard	Manqué à gagner
Dépenses fixes	Travaux administratifs Imputable à la maintenance	Temps improductifs
Dépenses des consommables		
Dépenses externalisées		

II.9 Organisation d'un atelier de maintenance

Pour assurer l'organisation, l'efficacité des opérations de maintenance et la disponibilité des équipements industriels, l'atelier de maintenance (AdM) doit être constitué d'un ensemble de ressources humaines et matérielles qui assurent la pérennité des machines de production. L'AdM par son rôle correctif, détecte les défaillances existantes sur un équipement défectueux et procède au rétablissement de son fonctionnement (c'est la maintenance corrective). Aussi, et afin de réduire l'occurrence des défaillances, il est programmé des interventions régulières (c'est la maintenance préventive). Donc, l'objectif de l'Atelier de Maintenance « AdM » est de prévenir et d'empêcher l'arrêt du système de production et assurer à la machine une durée de vie plus longue avec des coûts d'intervention plus faibles [7].

II.10 Organisation structurelle du service maintenance

Les étapes de réalisation d'une maintenance corrective, peuvent être structurées, d'une manière globale, par la Figure II.3, où l'on constate que depuis la date effective t_0 d'une défaillance jusqu'à la date de l'intervention t_5 , la durée (t_0, t_5) est consacrée à la détection, localisation, diagnostic et à la préparation pour l'intervention. Pour améliorer la productivité, elle doit être optimisée par une gestion efficace des ressources de l'atelier, de la maintenance et d'une analyse du retour d'expérience du programme de maintenance.

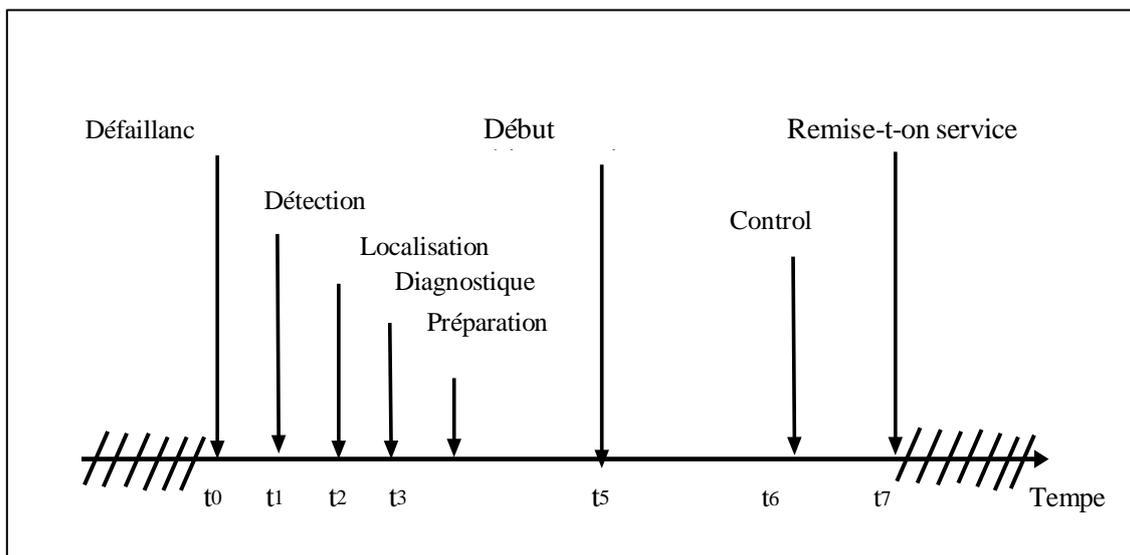


Figure II.2 Processus de déroulement d'une maintenance corrective d'un Équipement

II.11 Généralités sur la fiabilité

Cette partie explore la capacité d'un système à fonctionner de manière stable et prévisible, ce qui est déterminant pour la qualité et l'efficacité des entreprises et des technologies.

II.11.1 Fiabilité

C'est l'aptitude d'un système à accomplir une fonction donnée durant une période donnée et dans des conditions spécifiées d'exploitation. Les conditions sont toutes les contraintes externes, quelle que soit l'origine : humaine, climatique, physique. Elle se caractérise donc par quatre concepts et sa définition :

- **La probabilité** : C'est une évaluation du degré de vraisemblance d'un événement donné. En mathématiques, la probabilité est un nombre réel compris entre 0 et 1, où plus ce nombre est élevé, plus le risque ou la chance que l'événement se réalise est important
- **L'accomplissement d'une fonction** : Lorsqu'on étudie la fiabilité d'un dispositif, il est essentiel que ce dernier soit en état optimal pour remplir de manière satisfaisante la fonction requise.
- **Les conditions données** : Elles font référence aux contraintes physiques, chimiques, électroniques et mécaniques auxquelles un dispositif est soumis en raison de son environnement
- **Le temps** : C'est le temps exprimé au sens large. Généralement il exprime soit un nombre de cycles ou de caractéristiques de la durée de vie.

La fiabilité se distingue selon l'étape étudié de la vie du système :

- **La fiabilité prévisionnelle** : c'est celle qui est déterminée, durant la phase de conception, sur la base d'un modèle mathématique défini à partir des données de fiabilité de ses composantes.
- **La fiabilité estimée** : c'est la fiabilité mesurée après avoir conçu le système et ceci À l'aide d'un ensemble d'essais.
- **La fiabilité opérationnelle** : c'est la fiabilité mesurée sur un matériel en exploitation. Elle dépend des conditions réelles d'exploitations et du support logique.

II.10.2 Notions liés à la fiabilité

On va parler sur les différents principaux éléments de probabilités permettant de mesurer la fiabilité. La fiabilité d'un dispositif au bout d'un temps t correspond à la probabilité pour que ce dispositif n'ait pas de défaillance entre 0 et l'instant t .

En désignant par T la variable aléatoire caractérisant l'instant de défaillance du dispositif, la fiabilité s'exprime par la fonction $R(t)$:

$R(t)$ = Probabilité (qu'une entité E soit non défaillante sur la durée $[0 ; t]$, en supposant qu'elle n'est pas défaillante à l'instant $t = 0$) [16].

$$R(t) = P(T \geq t) = 1 - F(t) \quad (\text{II.1})$$

$F(t)$ est la fonction de répartition de la variable t . On note que, la variable "temps" doit être considérée comme une unité d'usage. En effet, dans le cas de certains dispositifs particuliers, il conviendra de considérer : une distance parcourue (kilomètre), nombre de tours, nombre de sollicitations, etc.

La fonction de fiabilité en général, la forme suivante (Figure II .2) :

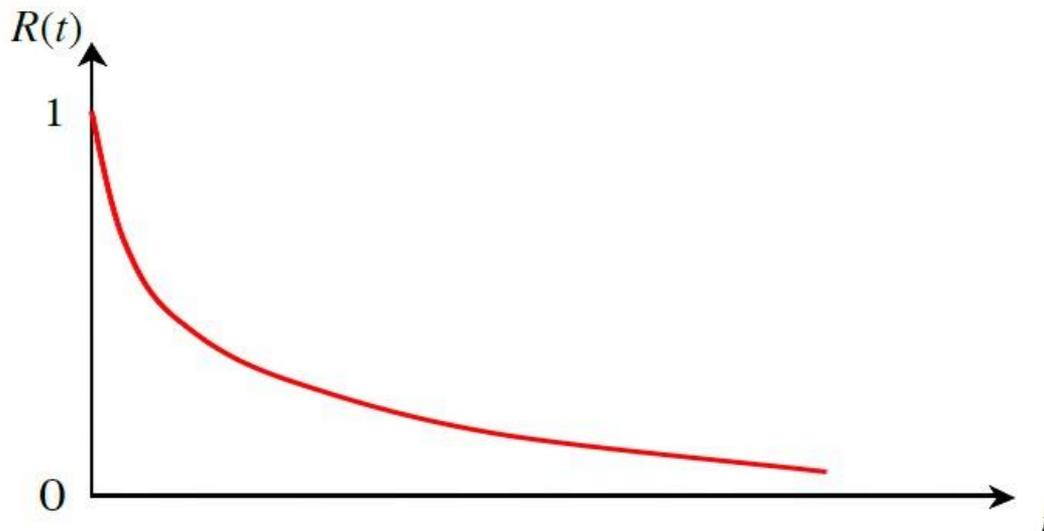


Figure II.3 Évolution de la fiabilité en fonction de temps [16].

a) Taux de défaillance instantané :

L'écriture mathématique du taux de défaillance à l'instant t , noté $\lambda(t)$, est la suivante [8].

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left(\frac{1}{\Delta t} \frac{R(t) - R(t - \Delta t)}{R(t)} \right) \quad (\text{II.2})$$

Physiquement le terme $\lambda(t) \Delta t$, mesure la probabilité qu'une défaillance d'un dispositif se produise dans l'intervalle de temps $[t, t+\Delta(t)]$ sachant que ce dispositif a bien fonctionné Jusqu'à l'instant t .

Le taux de défaillance d'un dispositif à l'instant t est donc défini par

$$\lambda(t) = -\frac{dR(t)}{dt} \cdot \frac{1}{R(t)} = \frac{dF(t)}{dt} \cdot \frac{1}{R(t)} = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (\text{II.3})$$

Le comportement temporel du taux de panne est représenté par la courbe « en baignoire de (La Figure II.3) Cette courbe comporte trois phases pour lesquelles on détaille les causes potentielles

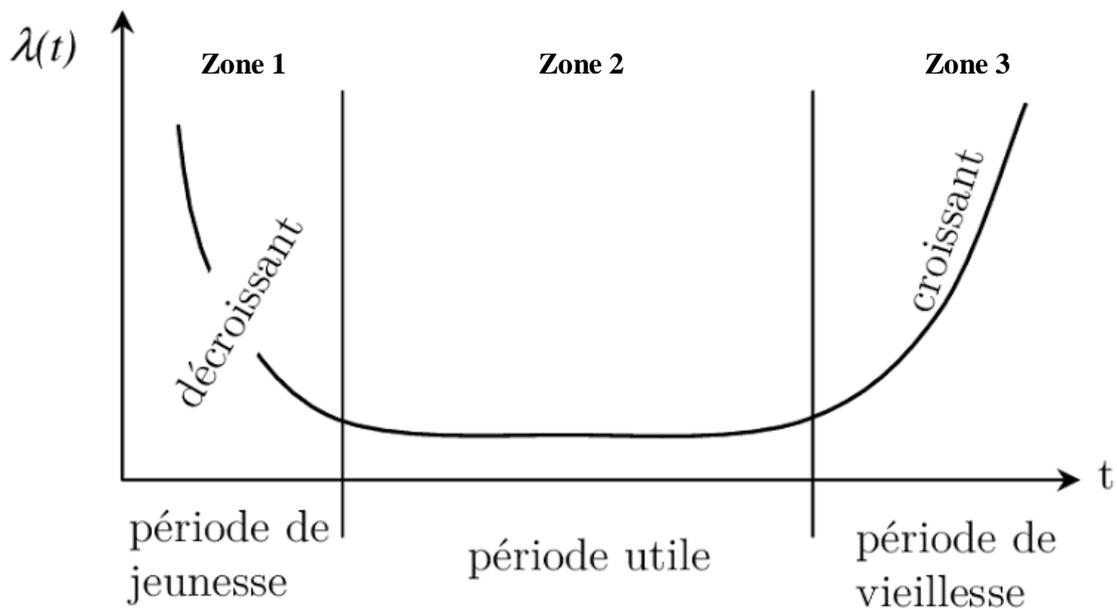


Figure II.4 Évolution du taux de défaillance en courbe « baignoire ».

Et les actions à entreprendre pour améliorer le comportement du système.

Tableau II.3 Description les trois zones de la courbe de baignoire

Zone 1	Période de défaillance précise ou période de jeunesse. Cette zone représente la période du début de fonctionnement, Le taux de défaillance décroît avec le temps, car les pannes précoces dues aux défauts de fabrication ou de conception sont de moins en moins nombreuses.
Zone 2	Zone de maturité ou période de défaillance utile à taux constant. Cette phase correspond à la période de maturité ou d'utilisation optimale. Et pour que le taux de défaillance demeure stable et la durant cette période, les pannes apparentes sont principalement aléatoires.
Zone 3	Période de défaillance par vieillissement, période de vieillesse ou zone d'usure. Cette zone représente la période d'usure où le taux de défaillance augmente avec le temps, vu que les pannes sont dues à l'usure croissante du produit.

b) Les indicateurs MTBF, MTTR

$$MTBF = \frac{\sum \text{des temps de fonctionnement satisfaisant}}{\text{Nombre de périodes de bon fonctionnement}} \quad (\text{II.4})$$

- MTTF : moyen de temps avant 1re défaillance.
- MTBF : moyen de temps entre 2e défaillances consécutives.

$$MTTR = \frac{\sum \text{des temps de réparation}}{\text{Nombre de réparations}} \quad (\text{II.5})$$

- MTTR : temps moyen de réparation.

II.12 Lois de probabilités en fiabilité

Nous présenterons quelques distributions de vie qui interviennent fréquemment dans l'analyse des données de vie. Nous parlerons en particulier des lois continues. Nous énoncerons les principales propriétés de ces lois (densité de probabilité, fonctions fiabilité et taux de défaillance).

II.12.1 Loi exponentielle

Cette loi a de nombreuses applications dans plusieurs domaines. C'est une loi simple, très utilisée en fiabilité dont le taux de défaillance est constant. Elle décrit la vie des matériels qui subissent des défaillances brutales.

- **Propriétés de la loi exponentielle**

Elle se retrouve à partir de la loi fondamentale de la fiabilité avec (λ) constant. La probabilité

de survie entre 0 et (t) devient

$$R(t) = e^{-\int \lambda(t)dt} = e^{-\lambda t} \quad (\text{II.6})$$

- Densité de probabilité

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (\text{II.7})$$

- Fonction de répartition

$$F(t) = 1 - R(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (\text{II.8})$$

- Espérance mathématique

$$E(t) = \frac{1}{\lambda} = MTBF \quad (\text{II.9})$$

- **Domaine d'utilisation de la loi exponentielle**

La courbe en baignoire relative à la durée de vie d'un système fait apparaître une période de maturité plus ou moins longue pendant laquelle le taux de défaillance d'un système est sensiblement constant. C'est le champ d'application de la loi exponentielle qui repose sur l'hypothèse ($\lambda = \text{constante}$), donc :

$$(MTBF = \frac{1}{\lambda}) \quad (\text{II.10})$$

Les équipements électroniques se prêtent bien à l'utilisation de la loi exponentielle lorsque les composants sont déterminés.

- **Représentation graphique de λ**

La relation linéaire de la loi exponentielle s'obtient sur un simple papier semi-logarithmique.

La droite ayant pour pente la valeur de $\lambda / 2,3$ ou la valeur $1/\lambda$. Si

- $R(t) = e^{-\lambda t}$
- $R(t) = -\lambda t$
- $\log R(t) = \frac{-\lambda}{2,3} t$
- $(Ln10 = 2,3)$

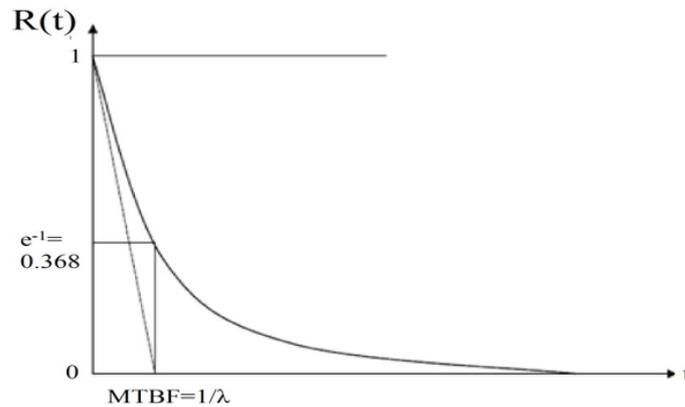


Figure II.5 Représentation graphique de la loi exponentielle : Échelle linéaire.

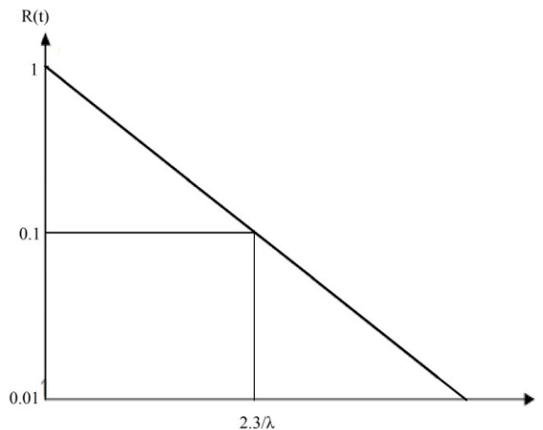


Figure II.6 Représentation graphique de la loi exponentielle : Échelle semi-logarithmique

II.12.2 Analyse de la fiabilité à partir du modèle de "WEIBULL"

C'est la plus populaire des lois, utilisée dans plusieurs domaines (électronique, mécanique,). Elle permet de modéliser en particulier de nombreuses situations d'usure de matériel. Elle caractérise le comportement du système dans les trois phases de vie : période de jeunesse, période de vie utile et période d'usure ou vieillissement. Dans sa forme la plus générale, la distribution de WEIBULL dépend des trois paramètres suivants :

β , η et γ . La densité de probabilité d'une loi de WEIBULL a pour expression [9]

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)} \quad (\text{II.11})$$

- β est le paramètre de forme ($\beta > 0$)
- Si $\beta < 1$ alors le taux de défaillance décroît, période de jeunesse (rodage).
- Si $\beta = 1$ alors le taux de défaillance est constant, nous sommes en zone de maturité. On retrouve la loi exponentielle.
- Si $\beta > 1$ le taux de défaillance croît, nous sommes en phase de vieillesse, avec :
- Si $1,5 < \beta < 2,5$ dégradations dues à la fatigue.

- Si $3 < \beta < 4$ dégradations essentiellement dues à l'usure ou la corrosion.
- Si $\beta = 3,5$ on retrouve la loi normale.

Est le paramètre d'échelle ($\eta > 0$)

γ est le paramètre de position ($\gamma \geq 0$)

La fonction fiabilité s'écrit :

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (\text{II.12})$$

Fonction de répartition s'écrit :

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (\text{II.13})$$

Le taux de défaillance est donné par :

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (\text{II.14})$$

Moyenne des temps de bon fonctionnement s'écrit :

$$MTBF = \gamma + \left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \eta \quad (\text{II.15})$$

Durée de vie associée à un niveau de fiabilité

$$t = \gamma + \left(\ln \frac{1}{R(t)}\right)^{\frac{1}{\beta}} \eta \quad (\text{II.16})$$

Suivant les valeurs de β , le taux de défaillance est soit décroissant ($\beta < 1$) soit constant ($\beta = 1$), soit croissant ($\beta > 1$). La distribution de WEIBULL permet donc de représenter les trois périodes de la vie d'un dispositif décrites par la courbe en baignoire.

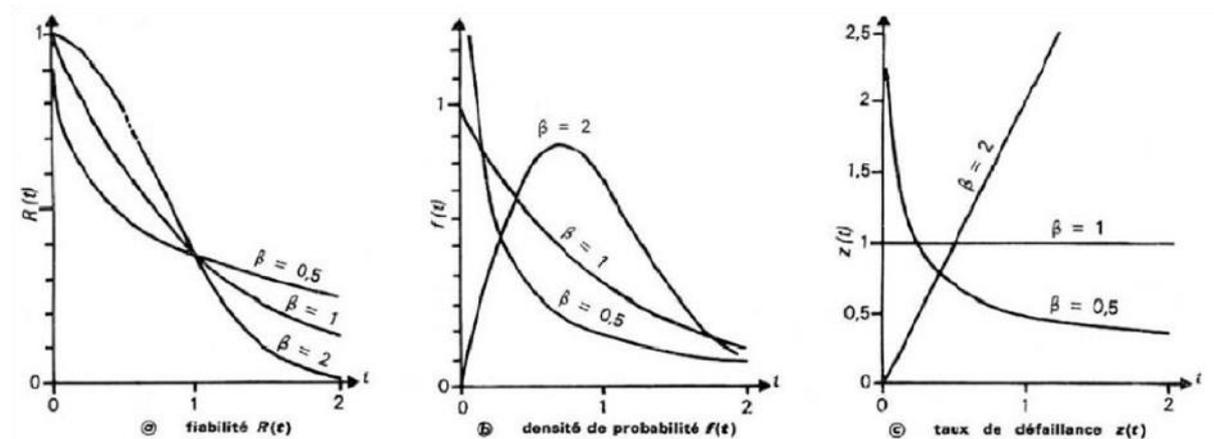


Figure II.7 Principales propriétés de la distribution de WEIBULL [10].

II.13 Maintenance basée sur la fiabilité (MBF)

La MBF est un outil permettant d'optimiser les actions de maintenance programmées. Les critères pris en compte sont généralement la sécurité, la disponibilité (tenant compte d'un consensus fiabilité-maintenabilité) et le coût de maintenance. Lorsqu'il s'agit de produits fabriqués, la notion de qualité est, elle aussi, prise en compte la MBF a pour objectifs de :

- Définir et de justifier en conception les actions de maintenance programmée à mettre en place.
- Redéfinir en exploitation les actions de maintenance programmée.
- Assurer et d'augmenter les performances de l'outil de production en matière de sûreté de fonctionnement.
- Déterminer les recommandations relatives aux enjeux technico-économiques (investissements, rénovation, procédure, justification).
- L'application de cet outil provoque des effets positifs indirects :
- Il permet une meilleure connaissance de son système sur le plan statique et dynamique
- (Comportement dans le temps).
- Il permet de mieux appréhender l'environnement dans lequel système évolue.
- Il responsabilise le personnel.
- Il assure une cohésion entre différentes entités de l'entreprise (production, maintenance.
- Qualité, services économiques et direction) et amorce une nouvelle organisation dans un axe TPM.
- Il agit sur la sécurité des biens et des personnes.
- Il valide les modifications réalisées au fur et à mesure de la vie du produit ou du procès [11].

La MBF est un outil fédérateur, tous les acteurs sont concernés :

- Le personnel de maintenance
- La production
- Le service après-vente pour les retours clients
- La qualité
- Les services économiques
- La direction.

II.13.1 Outils de la MTBF :

Cette approche MBF intègre divers outils provenant de méthodes établies, tels que la matrice de criticité, les grilles d'analyses des modes de défaillances, de leurs effets et de leur criticité (AMDEC), ainsi que le logigramme de décision :

- La matrice de criticité permet d'apprécier l'impact des défaillances des équipements sur des critères tels que la sécurité, la disponibilité et la qualité.
- La grille AMDEC définit l'importance relative des défaillances, de leurs causes et de leurs effets.
- Le logigramme de décision sert, en fonction du type de défaillance, à identifier le type de conséquence sur les équipements et à définir le niveau des actions de maintenance à mettre en œuvre.

L'application de la MBF nécessite une bonne connaissance des équipements ainsi que de leurs défaillances, de même que l'impact de ces défaillances. C'est pourquoi l'implication de l'ensemble des opérateurs, techniciens et experts de l'entreprise est indispensable pour obtenir les résultats souhaités et souhaitables tant au niveau de la sûreté de fonctionnement, de la sécurité que des coûts globaux.

II.14 Conclusion

On conclut que l'étude des concepts fondamentaux de la maintenance, de la fiabilité et de la méthode de Weibull offre une base théorique solide pour comprendre les principes qui sous-tendent l'analyse de la fiabilité des équipements industriels. Cette section aborde notamment :

- La définition de la fiabilité et ses différents types.
- Les indicateurs clés comme le MTBF (Mean Time Between Failures) et le MTTR (Mean Time To Repair).
- Les lois de probabilité utilisées en fiabilité, les lois exponentielles et de Weibull

Cette base conceptuelle est essentielle pour appliquer ces méthodes à la machine d'ensilage de sucre .

Chapitre III

Machine d'ensachage

III.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons décrire le processus élaboré, et l'appareillage de l'installation de la section ensachage.

Avec les évolutions méthodologiques et technologiques des dispositifs constituant les systèmes automatisés ainsi que la complexité de plus en plus grande des applications qui conduisent à multiplier les prises de mesures. En effet, ces processus ont besoin pour contrôler, valider, commander leurs actions, de connaître à tout instant un grand nombre d'informations internes nécessaires à leurs fonctionnements, ses informations sont obtenues par des mesures directes ou par déduction (technique d'observation), la chaîne d'instrumentation doit donc prendre en compte les spécificités du processus physique mesuré.

III.2 Cycle de maturation

Ce que l'on nomme habituellement « le sucre » est une « substance de saveur douce », il peut se rapporter à une saveur sucrée que l'on a dit être une des quatre saveurs de base, d'où le plaisir qui lui est associé. La section maturation se compose principalement de :

- **Circuit de stockage** : transport du sucre de la section séchage aux silos de maturation.
- **Circuit de dépoussiérage** : aspiration de la poussière de sucre.
- **Installation de l'air conditionné** : élimination de l'humidité dans le sucre pour maintenir sa fluidité.
- **Circuit d'ensachage** : transport du sucre vers les trémies d'ensachage.

III.3 Circuit d'ensachage

Avant qu'il soit ensaché dans des sacs de 1Kg et embarquer dans des semi-remorques, le sucre doit arriver dans deux raffineries différentes la 2000T ou 3000T ou il était stocké dans des trémies de 80T, il doit passer dans un circuit complexe qui contient des vannes, des vis, des élévateurs et des moteurs, etc., pour qu'il soit mis dans quatre trémies qui sont à leurs tour remplis avec une priorité établie, et qui servent comme distributeur dans six quais différents. Il se compose de :

Zone verte :

Partie de convoyage qui est constitué de :

- Deux Convoyeurs à bande.
- Élévateur à godets.

- Deux transporteurs à chaînes.
- Deux convoyeurs à vis.

Zone jaune :

C'est la partie qui est responsable d'éliminer des débris ferromagnétiques

Il consiste à :

- **Un aimant permanent** : pour éliminer les débris ferromagnétiques.
- **Un crible (tamis)** : élimine les particules dépassant le diamètre fixé par les normes de production.
- **Un convoyeur** : sert à remonter le sucre du bas vers le haut de la machine pour déposer le sucre sur les tapis

Zone rouge :

C'est la partie responsable a alimenté les lignes d'ensachage, elle est constituée de :

Quatre trémies de stockage qui sont utilisées pour alimenter 6 lignes d'ensachage, leur remplissage est jusqu'ici se fait d'une manière manuelle.

L'objectif de ce travail est d'automatiser cette opération de remplissage :

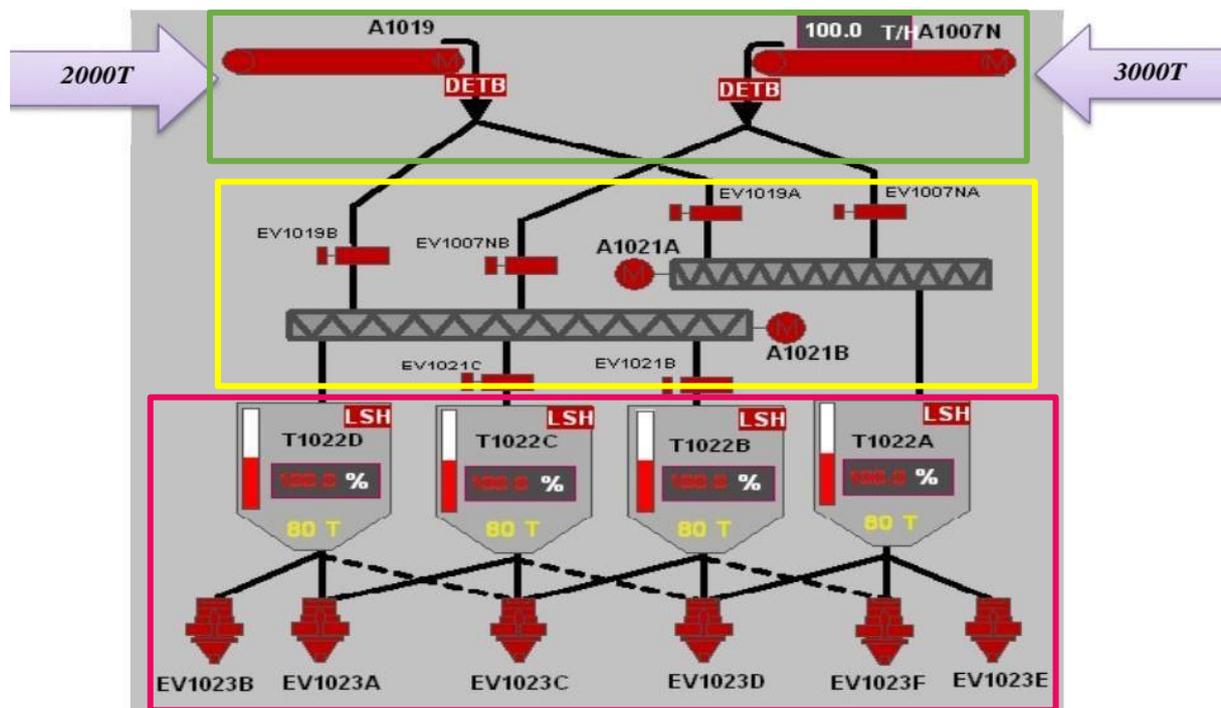


Figure III.1 Circuit d'ensachage.

III.4 Calibrage de machine d'ensachage

La calibration de la trieuse pondérale ne peut être effectuée que par du personnel autorisé d'ICA S.p.A, un inspecteur du bureau métrologique compétent ou des laboratoires accrédités. Le logiciel de la trieuse permet un calibrage numérique du système de mesure, sans besoin de réglages analogiques. Cependant, cette fonction est bloquée par un sélecteur lié, qui doit être retiré pour accéder au menu de calibrage. Le calibrage doit être réalisé uniquement lors de l'installation de la trieuse, après le remplacement de composants ou en cas de mauvaise calibration. Toutes les opérations de calibrage et de configuration des caractéristiques de mesure sont entièrement numériques et peuvent être effectuées via des commandes simples. Pour calibrer, les sceaux du sélecteur doivent être retirés et un mot de passe doit être entré, une tâche réservée au personnel autorisé. En cas de retrait des sceaux par un utilisateur non autorisé, le bureau métrologique compétent ou le service client d'ICA S.p.A doit être contacté pour une nouvelle vérification et l'application de nouveaux scellés. Avant la production, l'opérateur peut vérifier la nécessité de réinitialiser le système et contrôler le calibrage en utilisant un poids étalon certifié. Si le système n'est pas calibré, il est recommandé de contacter le service client d'ICA S.p.A. Une fois la réinitialisation effectuée, la production peut commencer [12].

III.5 Procédure de calibrage

La page de calibrage est accessible seulement à travers le mot de passe niveau 7 et elle est visible seulement avec le sélecteur lié inséré. Le calibrage de l'instrument s'effectue en définissant deux points dans la plage de portée que le système interprétera comme "Début d'échelle" et "Fin d'échelle". On commande à l'instrument un autoapprentissage sur la valeur de début d'échelle et un sur la valeur de fin d'échelle. Ces deux opérations exécutées, le système est calibré. En pratique, pour effectuer le calibrage, le personnel autorisé doit dérouler les actions suivantes. Tout d'abord il vide et il nettoie soigneusement le récepteur de la charge, et par la touche de fonction appropriée présente dans la page de calibrage, exécute la commande "Début d'échelle". Il met ensuite un poids égal à la valeur du poids de référence imposé sur le récepteur de la charge, et par la touche de fonction appropriée présente dans la page de calibrage, il exécute la commande "Fin d'échelle".

Donc, pour le calibrage, procéder de la façon suivante :

1. Positionner le sélecteur lié en position "ON" en enlevant les scellés.
2. Insérer le mot de passe correct.
3. Sélectionner la valeur de sensibilité à 2 mV/V (mV/V signifie millivolt par volt et est

une unité de mesure de la sensibilité d'un capteur, en particulier les capteurs à jauges de contrainte comme les cellules de charge).

4. Sélectionner le filtre initialement à 2 Hz.
5. Insérer une valeur de poids de référence égale au poids étalon utilisé.
6. Avec le récepteur de la charge vide et nettoyé, presser la touche "Début Échelle" et vérifier que la valeur mesurée se mette à zéro.
7. Mettre le poids étalon sur le récepteur de la charge, presser la touche "Fin d'échelle" et vérifier que la valeur mesurée soit égale à la valeur du poids étalon.
8. Vérifier de nouveau le zéro et la fin d'échelle et, si non corrigés, répéter la procédure décrite.
9. Entre une commande de calibrage et la suivante, il est nécessaire d'attendre 5 secondes [13].

III.6 Composent de machine d'ensachage

Le tableau suivant représente les composants de la machine d'ensachage d'après le manuel officiel de la machine :

Tableau III.1 Composent de machine d'ensachage.

N°	Nom de composent
1	Groupe porte-bobine
2	Groupe pneumatique réglage pression
3	Réglage plan de glissement
4	Dateur
5	Dispositif pour la jonction de la bobine
6	Pistole pour gonfler le mandrin
7	Photocellule impression centrée
8	Tableau électrique
9	Doseurs ou peseuses
10	Format (conformateur et embase)
11	Groupe courroies entrainement film
12	Groupe mâchoire soudure verticale
13	Groupe mâchoire soudure transversale et couteau séparateur
14	Groupe formation du fond (soufflets)
15	Cassette vibre (à format)
16	Groupes traitement tête

17	Groupe sorti paquets finis
18	Panneau opérateur
19	Chaine
20	Groupe cassettes (à format)
21	Plan de glissement des paquets
22	Protection avec alarme

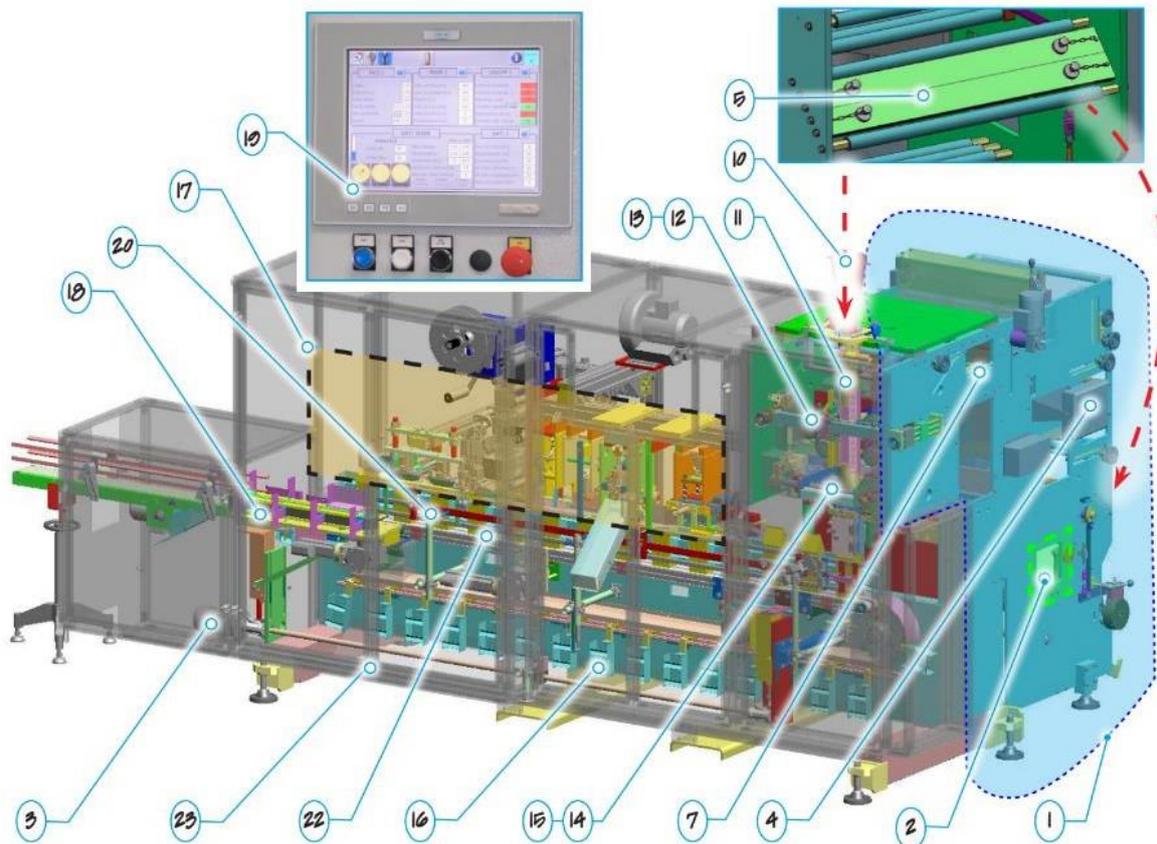


Figure III.2 Machine d'ensachage et si composant

III.7 Capteur de machine d'ensachage

Un capteur transforme une grandeur physique en une grandeur normée, généralement électrique, qui peut être interprétée par un dispositif de contrôle/commande, il produit une information qui permet au système automatisé de déclencher des actions. Pour contrôler un Système, il nous faut des consignes et quelque règle qu'il faut respecter et ce dernier consiste à satisfaire la consigne du programmeur, et pour arriver à cette satisfaction il faut intégrer dans notre programme des capteurs de tout genre afin d'arriver à cette satisfaction de chacun. Les capteurs se divisent en deux groupes : les capteurs logiques (le thermostat, le pressostat, capteurs de position, le capteur de rotation, etc.), et les capteurs analogiques (le capteur de température, Capteurs de couple, le débit mètre, le capteur de pression, etc.) [14].

III.7.1 Capteur logique

Ce type de capteur permet de détecter un événement ou un objet lié au fonctionnement du système technique. Le signal électrique en sortie de ce capteur est de type logique, niveau logique (0) ou niveau logique (1).

III.7.2 Capteur LSH

Le capteur LSH est un capteur logique (TOR), il détecte un seuil pouvant délivrer un contact ouvert au repos (normalement ouvert) ou un contact fermé au repos (normalement fermé).



Figure III.3 Capteur LSH utilisé dans les trémies

Une plaque métallique à l'extrémité de la sonde, à l'intérieur de l'isolation, et l'environnement (par exemple : les parois du silo, comme dans notre système), forment les deux armatures du condensateur, si la sonde est découverte ou recouverte par le produit en vrac, la capacité change, et le capteur commute.

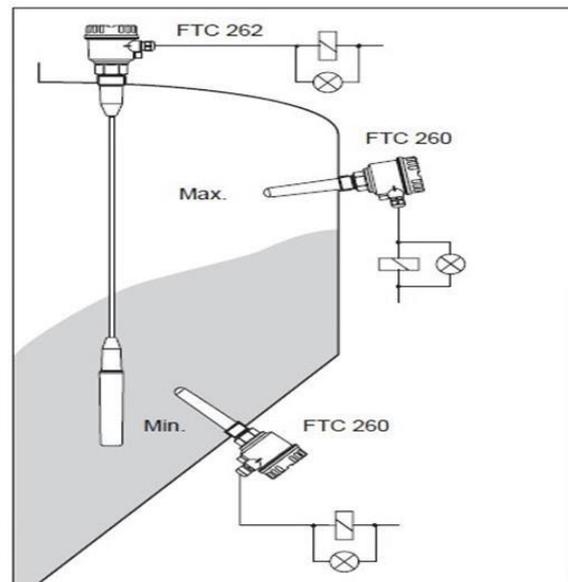


Figure III.4 Emplacement capteur LSH dans les silos contenant des solides.

III.7.3 Détecteur de bourrage

Les détecteurs de bourrage sont des instruments simples et économiques pour le contrôle des niveaux de produits en vrac dans des silos par mise en marche ou arrêt des systèmes d'alimentation. Ils sont utilisés dans le contrôle des niveaux minimum et maximum de produit en vrac, poussiéreux, granuleux ou poudreux. Le montage d'un seul détecteur peut suffire dans le cas où l'on ne désire obtenir qu'une seule indication (niveau minimum ou maximum). Dans ce cas, le palpeur allume un voyant ou déclenche un système sonore ou tout autre dispositif électrique. Ce capteur, on peut l'utiliser en haut du silo ou tout à fait en bas, ou bien comme dans notre système, à l'extrémité du convoyeur.

III.7.4 Détecteur de fin de course

Un contact de fin de course est un dispositif électromécanique utilisé pour déterminer le positionnement et les applications du contrôle en mécanique et en ingénierie des systèmes.

Il est utilisé pour détecter aisément la présence ou l'absence d'objets dans les zones où le contact physique est autorisé, il peut être monté sur un actionneur pneumatique muni ou non d'un positionneur pneumatique ou électropneumatique, il peut aussi être utilisé pour des valves où l'extension de la tige de robinet déclenche le contact de fin de course, indiquant une position ouverte ou fermée comme dans notre cas, il est monté sur les vannes guillotine.



Figure III.5 Détecteur de fin de course

III.7.1 Capteur analogique

La sortie du capteur analogique peut prendre n'importe quelle valeur entre deux extrêmes. À chaque valeur de la grandeur physique doit correspondre une valeur en sortie. Une variation de la grandeur physique d'entrée du capteur produit une variation de la caractéristique électrique du capteur (courant, tension, fréquence, valeur moyenne, rapport cyclique,).

III.7.5 Détecteur de niveau

Le capteur utilisé pour ce système est un capteur analogique, détecteur de niveau compact, mise en service sans étalonnage également pour zones à poussières inflammables, il est conçu pour la détection de niveau dans les solides en vrac légers.



Figure III.6 Capteur de niveau

C'est un transmetteur utilisant le principe de la mesure du temps de parcours, la distance du point de référence à la surface du produit est mesurée. Des impulsions haute fréquence sont émises et guidées le long d'une sonde, elles sont réfléchies par la surface du produit, captées par l'unité d'exploitation et converties en information de niveau

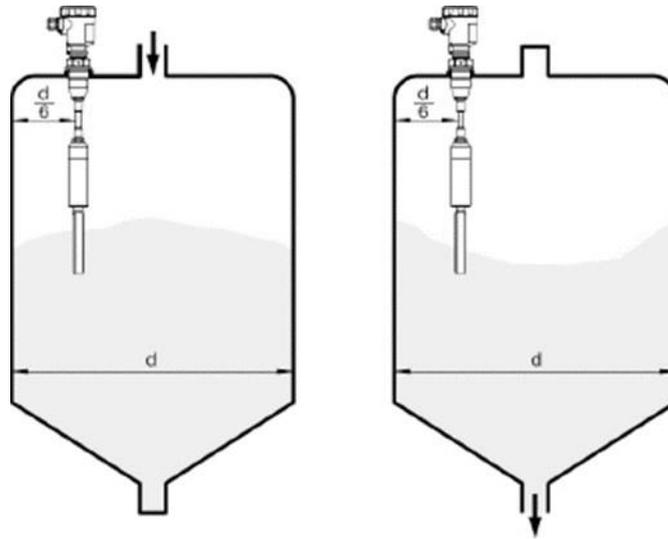


Figure III.7 Emplacement du capteur de niveau dans les trémies

III.7.6 Paramètre des capteurs

Comme beaucoup de composants ou ensembles électroniques, il existe un certain nombre de paramètres électriques communs à tous les capteurs, ils caractérisent les performances et donc leurs utilisations dans un environnement donné.

- **Précision** : La précision d'un capteur est caractérisée par l'incertitude absolue obtenue sur la grandeur électrique obtenue en sortie du capteur. Elle s'exprime en fraction de la grandeur physique mesurée.
- **Sensibilité** : Ce paramètre caractérise l'aptitude du capteur à détecter la plus petite variation de la grandeur à mesurer.
- **Étendue de mesure** : cette caractéristique donne la plage de fonctionnement du capteur pour la grandeur à mesurer. Elle est souvent notée E.M.
- **Linéarité** : Un capteur est dit linéaire s'il présente la même sensibilité sur toute l'étendue de sa plage d'emploi.
- **Fidélité** : Un capteur est dit fidèle si le signal qu'il délivre ne varie pas pour une série de mesures concernant la même valeur de la grandeur d'entrée

III.8 Automates de machine d'ensachage

L'automate SIEMENS constitue une plate-forme d'automatisation universelle pour toutes les applications, il offre une gamme échelonnée de CPU. Parmi les avantages de cet automate, nous relevons, entre autres, sa construction compacte et modulaire ainsi que la large gamme de CPU adaptée à toutes les demandes de performances, il est répandu beaucoup plus dans les industries automobiles. Il a un câblage pratique et fiable lui permet d'être installé en toute circonstance avec la solution. La figure suivante nous montre un automate programmable

SIEMENS :



Figure III.8 Automate SIEMENS S7-300.

III.9 Conclusion

En conclusion, la machine d'ensilage de sucre équipée de capteurs et d'un système de calibrage représente une avancée remarquable dans l'industrie de l'emballage alimentaire. L'intégration de capteurs permet une surveillance en temps réel des processus de pesée et d'emballage, garantissant une précision maximale et une conformité aux normes de qualité les plus strictes.

De plus, le système de calibrage assure une régularité et une précision constantes dans le remplissage des sacs de sucre, ce qui minimise les erreurs et les pertes de produit. En combinant ces technologies avancées, la machine d'ensilage de sucre offre non seulement une efficacité opérationnelle accrue, mais aussi une qualité et une fiabilité inégalée dans le processus d'emballage.

Chapitre IV

Étude de la maintenance sur la machine d'ensachage

IV.1 Introduction

Les méthodes et les stratégies utilisées pour assurer son bon fonctionnement, en mettant l'accent sur la détection précoce des défaillances potentielles et la minimisation des temps d'arrêt imprévus

IV.2 Fiabilité opérationnelle

La machine de remplissage de sucre est un élément essentiel de la chaîne de production alimentaire. Pour assurer sa on va appliquer la fiabilité opérationnelle à partir de l'historique de cette dernière

IV.1.2 Exploitation de l'historique

Pour assurer bien la mise en place de plan de maintenance préventive le service planification et organisation de la maintenance élaborer des fichiers historiques pour chaque équipement pour la détermination du temps de fonctionnement normal et travail sur la réduction de temps d'arrêt ; l'historique de panne (la machine d'ensachage) :

Parmi les pannes plus communes pendant une période d'une année on constate que la poussière de sucre a une grande influence sur la TBF et le TA de ma machine

(Voir annexe 02).

Le traitement des données brutes de l'historique (Tableau IV.1), passe par :

- Le calcul des heures d'arrêt suite à des pannes (TA) qui résultent des différences entre les dates d'arrêt et de démarrage.
- Le calcul des heures de bon fonctionnement (TBF), qui résultent des différences entre deux pannes successives.
- Le calcul des heures techniques de réparation (TTR).

Tableau IV.1 Historique des pannes.

N° d'ordre	Date de démarrage	Date d'arrêt	TBF (h)	TA (h)	TTR q(h)
1	11.06.2021	04.07.2021	552	24	1
2	04.07.2021	06.08.2021	768	24	2
3	07.08.2021	20.09.2021	1032	24	4
4	02.09.2021	01.10.2021	696	24	1
5	04.01.2022	01.03.2022	1368	24	2
6	01.03.2022	04.03.2022	72	24	1
7	01.10.2022	04.10.2022	72	24	6
8	04.10.2022	16.11.2022	1008	24	3
9	16.11.2022	13.12.2022	648	24	1
10	14.12.2022	17.12.2022	72	24	3
11	17.12.2022	30.01.2023	624	24	2

Le tableau suivant comporte les TBF classés par ordre croissant, et les $F(t_i)$ calculés par la méthode des rangs médians

$$F(t_i) = \frac{N_i - 0.3}{N_{tot} + 0.4} \quad (IV.1)$$

(Dans notre cas $N = 11 \leq 20$).

Après le calcul de $F(t_i)$ ont calculé la fiabilité et le taux de défaillance $\lambda(t_i)$ par les équations suivantes :

$$R(t_i) = 1 - F(t_i) \quad (IV.2)$$

$$\lambda(t_i) = \frac{F'(t)}{R(t)} = \frac{F(t+\Delta t) - F(t_i)}{R(t_i)} \quad (IV.3)$$

$$\lambda(t_i) = \frac{0.938596 - 0.061404}{0.938596} = 0.093458 * 10^{-1}$$

Tableau IV.2 Valeurs de $F(t_i)$, $R(t_i)$ et $\lambda(t_i)$.

TBF(h)	Ni	F(ti)	F(ti)%	R(ti)	$\lambda(\text{ti}) * 10^{-1}$
72	1	0,061404	6,140351	0,938596	0,093458
72	2	0,149123	14,91228	0,850877	0,103093
72	3	0,236842	23,68421	0,763158	0,114943
552	4	0,324561	32,45614	0,675439	0,12987
624	5	0,412281	41,22807	0,587719	0,149254
648	6	0,5	50	0,5	0,175439
696	7	0,587719	58,77193	0,412281	0,212766
768	8	0,675439	67,54386	0,324561	0,27027
1008	9	0,763158	76,31579	0,236842	0,37037
1032	10	0,850877	85,08772	0,149123	0,588235
1368	11	0,938596	93,85965	0,061404	1,427721
$\Sigma = 6912$	$N_{tot} = 11$				

➤ Calcul les indicateurs MTBF, MTTR, Di

De faire comme suite :

Exemple de calcul

$$MTBF = \frac{\Sigma \text{ des temps de fonctionnement satisfaisant}}{\text{Nombre de périodes de bon fonctionnement}} \quad (IV.4)$$

Si Lambda Is constant

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{\text{Lambda}} \quad (IV.5)$$

$$MTTR = \frac{\Sigma \text{ de tempe de reparation}}{\text{Number de reparation}} \quad (IV.6)$$

On calcule :

$$MTBF = \frac{\Sigma TBF}{N_{tot} + 1} = \frac{6912}{12} = 576 \text{ h}$$

$$MTTR = \frac{\Sigma TTR}{N_{tot}} = \frac{26}{11} = 2.3636 \text{ h}$$

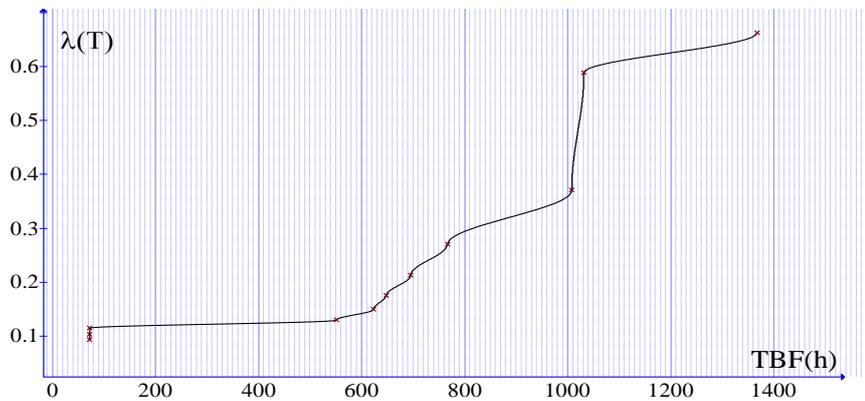


Figure IV.1 La Courbe de taux de défaillance $\lambda(t)$.

➤ Analyse de courbe de taux de défaillance

Figure présente l'évolution de la fonction de taux de défaillance $\lambda(t)$. D'après cette figure on remarque que le taux de défaillance et croissant en fonction de temps à l'instant **TBF=90h** à **TBF=1390h**. Donc, une augmentation des risques de pannes et d'arrêts imprévus de la production, une baisse de la fiabilité des équipements, des coûts de maintenance plus élevés

IV.3 Fiabilité prévisionnelle

Dans cette partie, on utilise la loi de WEIBULL comme modèle pour estimer une loi de fiabilité.

IV.3.1 Calcul des paramètres de WEIBULL

Le tableau suivant présente les TBF classés par ordre croissant, et les $F(t_i)$ calculés par la méthode des ranges médians.

$$F(t_i) = \frac{N_i - 0.3}{N_{tot} + 0.4} \quad (IV.7)$$

Après le calcul de $F(t_i)$ % nous avons porté les couples de points (t_i) ; $F(t_i)$ dans notre cas

$N = 11 \leq 20$) et on trace la courbe de WEIBULL :

Tableau IV.3 Valeurs de F(ti) et R(ti) en%.

TBF(h)	TBF%	F(ti)	F (ti)%	R(ti)	R(ti) %
72	0.72	0,061404	6,140351	0,938596	93,85965
72	0.72	0,149123	14,91228	0,850877	85,08772
72	0.72	0,236842	23,68421	0,763158	76,31579
552	5.52	0,324561	32,45614	0,675439	67,54386
624	6.24	0,412281	41,22807	0,587719	58,77193
648	6.48	0,5	50	0,5	50
696	6.96	0,587719	58,77193	0,412281	41,22807
768	7.68	0,675439	67,54386	0,324561	32,45614
1008	10.08	0,763158	76,31579	0,236842	23,68421
1032	10.32	0,850877	85,08772	0,149123	14,91228

- **Papier de WEIBULL**

D'après le tableau (IV.3), on a tracé le graphe sur papier de WEIBULL (on a utilisé le logiciel weibull++ pour trace le graphe)

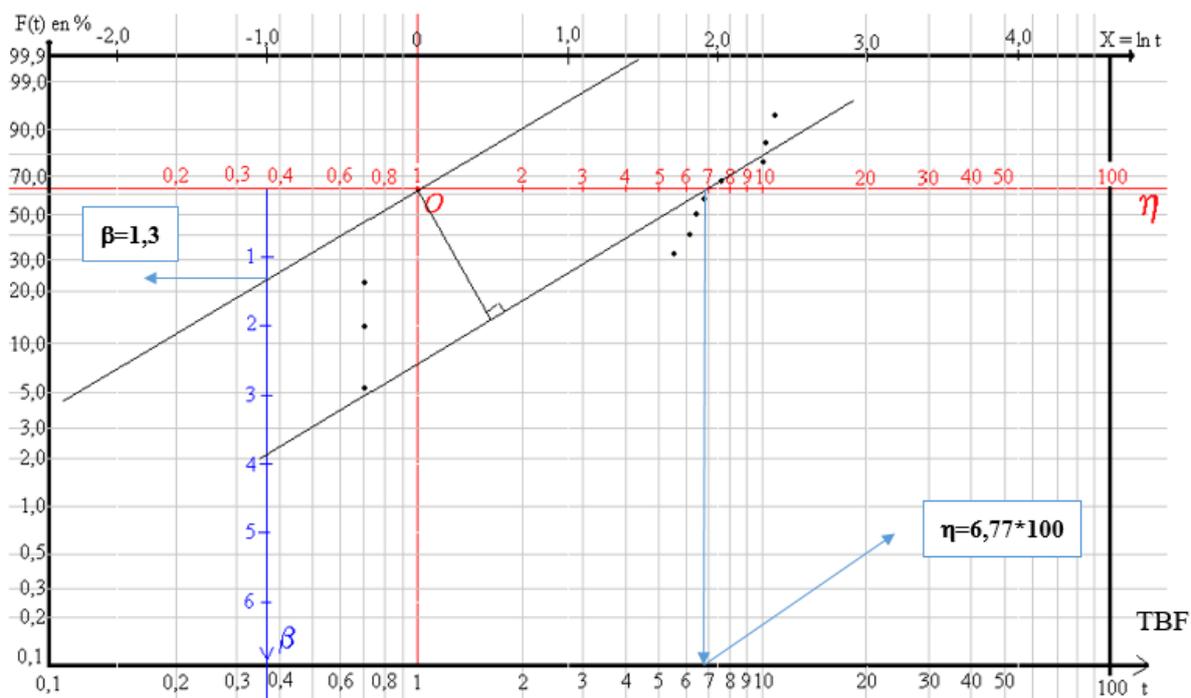


Figure IV.2 Détermination graphique des paramètres de la loi de WEIBULL [17].

À partir du papier de WEIBULL on a obtenu les valeurs suivantes :

$$\eta = 677,612$$

$$\beta = 1,3415$$

$$\gamma = 0$$

Exploitation des paramètres de WEIBULL

- Le MTBF :

Le tableau de MTBF donne $A=0.9236$, $B=0,716$ (**voir annexe 03**)

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

$$MTBF = 0.9236 * 677,612 + 0 = 625,84 h$$

$$MTBF = 625,84h.$$

- La densité de probabilité en fonction de MTBF :

$$f(t = MTBF) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - \lambda}{\eta} \right)^{\beta-1} * e^{-\left(\frac{t-\lambda}{\eta}\right)^\beta}$$

$$f(t = MTBF) = \frac{1.3415}{677.612} * \left(\frac{625.84}{677,612} \right)^{0.3415} * e^{-\left(\frac{625.84}{677.612}\right)^{1.3415}}$$

$$f(t = MTBF) = 0.008 = 0.8 \%$$

- La fonction de défaillance en fonction de MTBF :

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

$$F(t = MTBF) = 1 - e^{-\left(\frac{625.84}{677.612}\right)^{1.3415}}$$

$$F(t = MTBF) = 0.71 = 71\%$$

- La fiabilité en fonction de MTBF

$$R(t = MTBF) = 1 - F(t = MTBF)$$

$$R(t = MTBF) = 1 - 0.71$$

$$R(t = MTBF) = 0.29 = 29\%$$

- Le taux de défaillance en fonction de MTBF

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

$$\lambda(t = MTBF) = \frac{1.3415}{677,612} * \left(\frac{625,84}{677,612} \right)^{0.3415}$$

$$\lambda(t = MTBF) = 16.99 \text{ panne}/(AN)$$

- Calcul du temps souhaitable pour une intervention systématique

$$R(t) = 80\% \rightarrow t = ?$$

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

$$\ln R(t) = -\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta = \ln(0.8)$$

$$-[\ln R(t)]^{\frac{1}{\beta}} = \frac{t}{\eta}$$

$$t = \eta \left[\ln \left(\frac{1}{R(t)} \right) \right]^{\frac{1}{\beta}}$$

$$t = 677.612 \left[\ln \left(\frac{1}{0.8} \right) \right]^{\frac{1}{1.4315}}$$

$$t = 221.51h$$

Pour garder la fiabilité de machine d'ensachage 80% il faut intervenir chaque temps systématique 221.51h

IV.4 Étude de modèle de WEIBULL

Le modèle de Weibull est largement utilisé dans divers domaines, y compris l'électronique et la mécanique, pour modéliser des situations d'usure de matériel. Il permet de caractériser le comportement d'un système à travers ses différentes phases de vie : période de jeunesse, période de vie utile et période de vieillissement

IV.4.1 Fonction de la densité de probabilité

$$f(t = MTTR) = \frac{\beta}{\eta} * \left(t - \frac{\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} * e^{-\left(t - \frac{\gamma}{\eta} \right)^{\beta}} \quad (IV.8)$$

$$f(t) = R(t) * \lambda(t) \quad (IV.9)$$

Tableau IV.4 Valeurs de f(t).

N°	TBF (h)	f(t)10 ⁻³
1	72	0.8759
2	72	0.8759
3	72	0.8759
4	552	0.8538
5	624	0.7858
6	648	0.7600
7	696	0.7082
8	768	0.6327
9	1008	0.4125
10	1032	0.3937
11	1368	0.2008

D'après le tableau (IV.4) , on a représenté la courbe comme suivante :

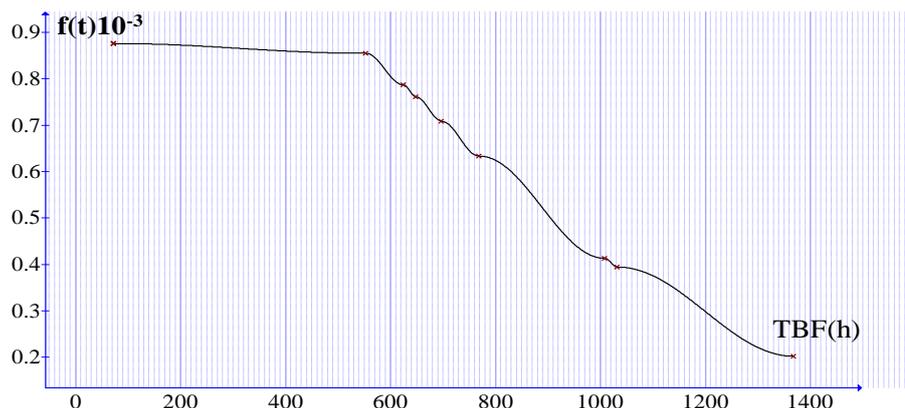


Figure IV.3 La Courbe de densité de probabilité

La figure IV.4 présente l'évolution de la fonction répartition. Cette courbe est décroissante en fonction de temps à l'instant **TBF=72h** à **TBF=1368h** et pour $t=MTBF$, $F(MTBF)=0,64=64\%$ cela signifie que la probabilité de bon fonctionnement augmente avec le temps. Lorsque le temps atteint la valeur du MTBF (Temps Moyen Entre Pannes), la probabilité de bon fonctionnement est de 0,64, ce qui signifie que 64% des équipements devraient fonctionner sans défaillance jusqu'à ce point.

IV.4.2 Fiabilité

La fonction fiabilité de celle de répartition : $R(t) = 1-F(t)$, après calcul la fiabilité de machine d'ensilage aux temps $t=MTBF$, on déduit que la valeur n'est pas satisfaisante donc on peut dire que la machine n'est pas fiable à $t=MTBF$.

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

$$R(t = MTBF) = 0.66$$

Tableau IV.5 Calcul de la fiabilité.

N°	TBF (h)	R(t)
1	72	0.9517
2	72	0.9517
3	72	0.9517
4	552	0.4627
5	624	0.4084
6	648	0.3899
7	696	0.3546
8	768	0.3063
9	1008	0.1820
10	1032	0.1723
11	1368	0.0798

Vu que les résultats de la fiabilité $R(t)$ en fonction de $TBF(h)$ trouvé on à la courbe comme suite :

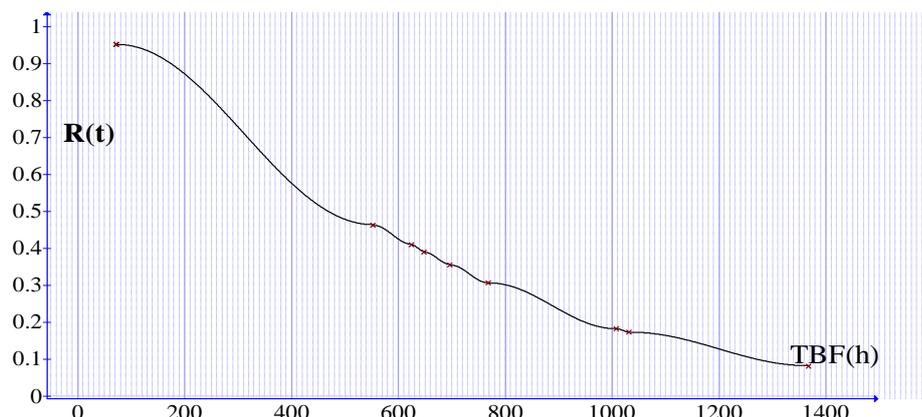


Figure IV.4 La Courbe de la fonction de Fiabilité

Le graphe décroissant de **TBF=72h** à **TBF=1368h** ce qui fait expliquer par le phénomène de dégradation par tel que l'usure. L'amélioration de la fiabilité de la machine d'ensachage reste toujours à l'entretien de faire le dépoussiérage par exemple l'accumulation de la poussière au niveau des capteurs ou les tapis

IV.4.3 Taux de défaillance

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (\text{IV.10})$$

Tableau IV.6 Valeurs de taux de défaillance $\lambda(t)$.

N°	TBF (h)	$\lambda(t) \times 10^{-3}$
1	72	0.9204
2	72	0.9204
3	72	0.9204
4	552	1.8454
5	624	1.9243
6	648	1.9493
7	696	1.9974
8	768	2.0657
9	1008	2.2668
10	1032	2.2850
11	1368	2.5165

Selon les valeurs de taux de défaillance $\lambda(t)$. en fonction de TBF(t) on trouve la courbe suivante :

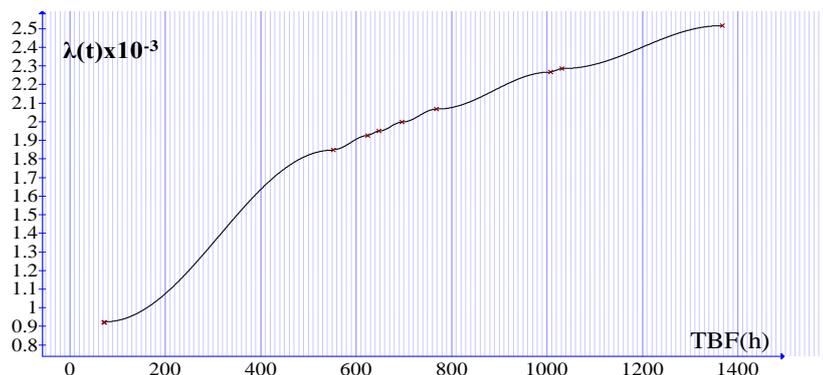


Figure IV.5 La Courbe de la fonction de taux de défaillance

La figure présente l'évolution de la fonction de taux de défaillance. On remarque que la courbe est croissante en fonction de temps à l'instant **TBF=72h** à **TBF=1368h**

IV.5 Calcul de la maintenabilité et la disponibilité

Ces calculs fournissent des indicateurs clés pour optimiser la planification des opérations de maintenance, améliorer la fiabilité des systèmes et garantir une utilisation efficace des ressources.

IV.5.1 Calcul de la maintenabilité de la machine d'ensilage

D'après l'historique des pannes

$$MTTR = \frac{\sum TTR}{N} \quad (IV.11)$$

- TTR : temps de réparation.
- N : nombre de panne.

$$MTTR = \frac{26}{11} = 2.363$$

Le taux de défaillance en fonction de MTBF

Taux de réparation (μ)

$$\mu = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{2.363} = 3679 \text{ intervention/AN}$$

La fonction de maintenabilité

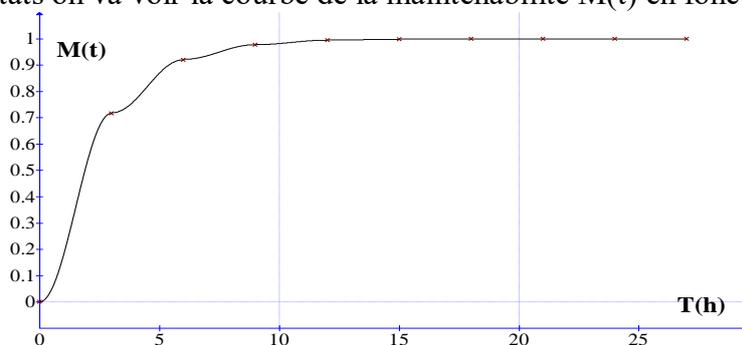
$$M(t) = 1 - e^{-\mu t}$$

$$M(t) = 1 - e^{-0.42 \cdot 3} = 0.7163$$

Tableau IV.7 Valeurs de la maintenabilité

T(h)	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27
M(t)	0	0,7163	0,9195	0,9771	0,9935	0,9981	0,9994	0,9998	0,9999	0,9999

D'après ses résultats on va voir la courbe de la maintenabilité $M(t)$ en fonction de temps $T(h)$

**Figure IV.6** Courbe de la maintenabilité.

La figure présente l'évolution de la fonction de maintenabilité. D'après cette figure on remarque que la Maintenabilité est croissant en fonction de temps à l'instant $T=0h$ à $TBF=24h$ et constant de $T=24h$ à $T=27h$ et la maintenabilité est de 99,99%. À l'instant $T=27h$

IV.5.2 Calcul de la disponibilité de la machine d'ensachage

La disponibilité (D) est définie comme la probabilité que la machine soit en état de fonctionner de manière satisfaisante dans des conditions données à un instant donné. Elle dépend de la fiabilité et de la maintenabilité

- **Disponibilité intrinsèque à l'asymptotique**

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

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

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} = \frac{1}{576} = \mathbf{0.4231}$$

$$\mu = \frac{1}{\mu} \rightarrow \mu = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{2.363} = \mathbf{0.15}$$

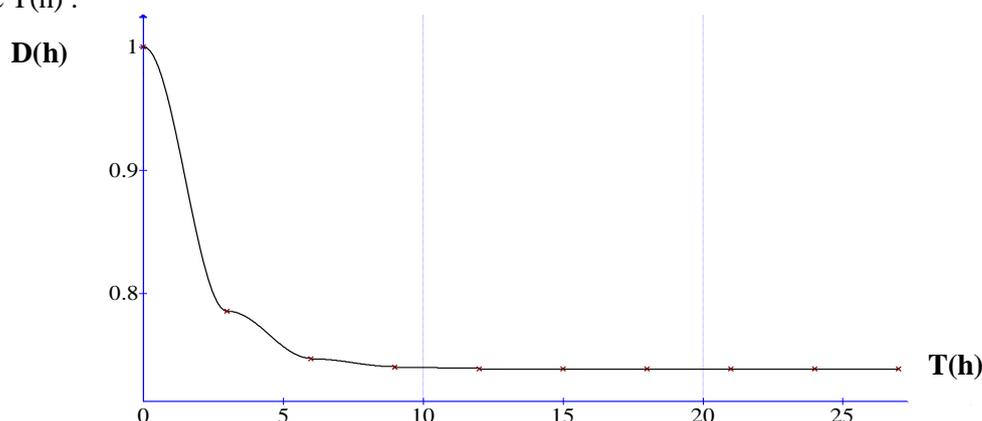
$$\mu + \lambda = 0.15 + 0.42319 = \mathbf{0.5731}$$

$$D(t) = \frac{0.42319}{0.5731} + \frac{0.15}{0.5731} e^{-t(0.5731)}$$

Tableau IV.8 Valeurs de la disponibilité instante

T(h)	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27
D(h)	1	0.7853	0.7468	0.7399	0.7387	0.7385	0.7384	0.7384	0.7384	0.7384

On va représenter dans une courbe le tableau de variation de la disponibilité instante D(h) pendant une période T(h) :

**Figure IV.7** Courbe de disponibilité.

La disponibilité est décroissante de **0h** jusqu'au **18h** et constant de **18h** à **27h**, donc on peut dire que la machine d'ensachage est disponible la majorité de temps et elle prend une valeur constante avec le temps et pour augmenter la disponibilité d'une machine consiste à diminuer le nombre de ses arrêts (augmenter sa fiabilité) et réduire le temps nécessaire pour résoudre les causes de ceux-ci.

IV.6 Conclusion

Dans ce chapitre, on a concentré nos efforts sur l'application pratique des concepts de fiabilité et de la méthode de Weibull à la machine d'ensachage de sucre. L'objectif est d'optimiser les actions de maintenance pour assurer le bon fonctionnement de la machine et réduire les temps d'arrêt imprévus.

Dans un premier temps, on a fait l'étude de la fiabilité opérationnelle qui s'appuie sur l'exploitation de l'historique des pannes de la machine d'ensachage et l'analyse des données brutes a permis de calculer les heures d'arrêt suite à des pannes (TA), les heures de bon fonctionnement (TBF) et les heures techniques de réparation (TTR). Ces calculs ont mis en évidence l'impact significatif de l'accumulation de poussière de sucre sur le TBF et le TA de la machine.

Ensuite la fiabilité prévisionnelle qui utilise la loi de Weibull comme modèle pour évaluer une loi de fiabilité. Les TBF ont été classés par ordre croissant et la fonction de répartition $F(t)$ a été calculée par la méthode des rangs médians. Les paramètres de forme β et d'échelle η de la loi de Weibull ont été déterminés graphiquement.

Les résultats montrent que la machine d'ensachage de sucre est caractérisée par une fiabilité faible de 25%, avec une disponibilité de 99,6% et une maintenabilité de 95,2%. Ces derniers nous ont permis de tracer les courbes de densité de probabilité $f(t)$, de fiabilité $R(t)$, de taux de défaillance $\lambda(t)$, de maintenabilité $M(t)$ et de disponibilité $D(t)$

En conclusion malgré que le system a un problème de la poussière de sucre le system reste toujours disponible en raison de la surveillance constante par les maintenances et les opérateurs qui travaille 24h/7 et d'après l'application des outils de fiabilité et de la méthode de Weibull il nous a permis d'analyser en détail le comportement de la machine d'ensachage de sucre. Les résultats obtenus sont ont contradiction mais ils nous démontrent l'importance de l'intégration d'éléments mathématiques dans la maintenance pour optimiser les actions de maintenance programmées. L'étude a également mis en évidence la nécessité de mettre en place une politique de maintenance préventive adaptée pour réduire les temps d'arrêt et améliorer la fiabilité et la disponibilité de l'équipement.

Conclusion générale

Conclusion générale

Le domaine de la maintenance est vaste et offre une multitude de techniques pour son implémentation. Dans le cadre de ce mémoire, l'étude de la maintenance de la machine d'ensilage de sucre a permis de mettre en évidence l'importance cruciale des approches corrective et préventive pour optimiser les performances opérationnelles à travers une analyse détaillée de la Fiabilité, de la Maintenabilité et de la Disponibilité (F.M.D), ainsi que l'utilisation d'outils comme le diagramme de Weibull, permettent de définir une politique de maintenance optimale. Cette démarche vise à réduire significativement les temps d'arrêt et l'indisponibilité de la machine, contribuant ainsi à l'amélioration de la productivité et de la compétitivité de l'entreprise.

D'après l'analyse des données historiques de pannes et de réparations, il nous a permis de déterminer les paramètres de la loi de Weibull, qui ont été utilisés pour estimer la fiabilité, le taux de défaillance et la maintenabilité de la machine. Comme ci-dessous :

- Ces valeurs de fiabilité, maintenabilité et disponibilité ne sont pas rationnelles et cohérentes entre elles. Une fiabilité de 25% devrait se traduire par une disponibilité bien plus faible que 95% et ces chiffres ne correspondent pas à ce qui est généralement observé dans la pratique pour la plupart des machines industrielles donc pour :

- Une fiabilité de 25% est très faible. Cela signifie que la machine à 75% de risque de tomber en panne sur une période donnée. Donc ce n'est généralement pas acceptable pour la plupart des applications industrielles.

- Une maintenabilité de 95.2% est extrêmement élevée. Cela signifierait que les réparations sont toujours réussies et que la machine est remise en état de fonctionnement presque à coup sûr. C'est peu réalisé en pratique.

- Une disponibilité de 99.6% avec une fiabilité de 25% et une maintenabilité de 95.2% n'est pas cohérente mathématiquement. La disponibilité dépend à la fois de la fiabilité et de la maintenabilité. Une fiabilité aussi faible devrait entraîner une disponibilité bien inférieure à 95.2%.

En conclusion, cette étude a démontré que

- L'application des stratégies de maintenance à nous démontre qu'il y-a une contradiction entre les résultats de la fiabilité et la disponibilité de système dans l'application de la loi de wiebull pour estimer la loi de fiabilité prévisionnelle

- D'après les paramètres de wiebull on avait trouvé que beta est supérieur à 1 sa indique que le système est dans la période de vieillesse

- Ces résultats soulignent l'importance stratégique de la maintenance dans la gestion efficace des équipements industriels et dans la pérennité des activités de l'entreprise

Références bibliographiques

Références bibliographies

- [1] Salerio_Présentation 16-9ème GRD LABELLE 02-2020_REV004
- [2] "Manuel de maintenance", NAPHTOGAZ, HMD, (2001).
- [3] <http://Equipe Zinc - PRT 2009 - politiques de maintenance>.
- [4] Ahmad Alali Alhouaij, « Contribution à l'optimisation de la maintenance dans un contexte distribué ». Engineering Sciences- INPG, 2010
- [5] REFERENCE INTERNET « <https://metgroupe.fr/strategies-maintenance> »
- [6] S. BENZAADA/D. FELIACHI. « La maintenance industrielle ». Office des publications universitaires, (Alger) 2002.
- [7] « Contribution à la mise en œuvre d'une maintenance centralisée : Conception et Optimisation d'un Atelier de Maintenance » écrit par Rosa Abbou
- [8] Ouahiba TEBBI, Estimation des lois de fiabilité en mécanique par les essais accélérés, Thèse, 09 Mars 2005.
- [9] F. Guerin, Estimation de la Fiabilité par les essais, Université d'Angers, Thèse de Doctorat, 2005.
- [10]. Pierre Chapouille, Fiabilité et maintenabilité. Les techniques de l'ingénieur ; traité de l'entreprise industrielle, Edition Eyrolles 1999.
- [11] Daniel RICHET, Marc GABRIEL, Denis MALON et Gaëtan BLAISON, « Maintenance Basée sur la Fiabilité, un outil pour la certification », Édition MASSON, 1996.
- [12] MANUEL D'INSTRUCTIONS LIGNE ICA CSV40 PAKET REV. :4.0 - 04/2014
- [13] INFORMATIONS POUR LA MANUTENTION V1.0 (Document unique et exclusif du Client - ICA SPA interdit la reproduction et la divulgation à des tiers)
- [14] F. Baudoin, M. Lavabre, « Capteurs » : Principes et utilisations, Édition. Castilla 2007.

Sites

- [15] « <https://www.cristal-union.fr/un-groupe-cooperatif/developpement-et-partenariats/> »
- [16] https://fac.umc.edu.dz/fstech/cours/G%20Transport/G%20Transport/MIMST/Poly%20FIA%20MAINTENANCE_MIMST.pdf».
- [17] <https://www.hbkworld.com/fr/products/software/analysis-simulation/reliability/weibull-life-data-analysis-software>

Annexes

Annexe 01

Photo réelle de la machine d'ensachage (ICA) :



Annexe 02

Tableaux 01			
N°	Date et heure de début de panne	Date et heure de fin de panne	Description de la panne
1	11/06/2021 09 :00 :00	11/06/2021 10 :00 :00	Le capteur qui contrôle l'alimentation du produit a relevé l'absence de produit pour un temps plus élevé que le temps établi
2	20/06/2021 09 :00 :00	20/06/2021 09 :30 :00	La graisse dans le réservoir du graisseur automatique de la chaîne est terminée
3	26/06/2021 09 :00 :00	26/06/2021 11 :00 :00	Le piston qui déplace le paquet du poste de pesage n'est pas en position quand un auto-tarage est demandé, c'est à dire qu'il n'est pas retourné dans son logement avant la phase de contrôle.
5	04/07/2021 09 :00 :00	04/07/2021 10 :00 :00	Le relais thermique placé comme protection d'un moteur s'est déclenché.
6	14/07/2021 09 :00 :00	14/07/2021 11 :00 :00	Les contrôles automatiques des cartes électroniques qui règlent les points de thermo-contrôle ont relevé une anomalie électrique dans le circuit qui les connecte à une sonde ou à la résistance correspondante.
7	27/07/2021 09 :00 :00	27/07/2021 12 :00 :00	La trieuse pondérale a signalisé une erreur
8	28/07/2021 09 :00 :00	28/07/2021 13 :00 :00	La palette qui ferme le tuyau de déchargement pour éviter que le produit sorte hors phase soit bloqué et maintient le tuyau arrêté pendant la phase de déchargement aussi.
10	06/08/2021 09 :00 :00	06/08/2021 10 :00 :00	Accumulation de poussière ou niveau des capteurs
12	30/08/2021 10 :00 :00	30/08/2021 11 :30 :00	Le vérin qui pousse les sachets surpoids a mal fonctionné
13	31/08/2021 09 :00 :00	31/08/2021 14 :00 :00	Le formateur mobile (à géométrie variable) n'est pas retourné dans la position de repos avant la rotation du carrousel.
14	01/09/2021 09 :00 :00	01/09/2021 14 :00 :00	L'actionnement qui contrôle le moteur décrit par l'arrêt a relevé un fonctionnement non correct.
15	20/09/2021 09 :00 :00	20/09/2021 13 :30 :00	Le vérin qui pousse les sachets surpoids a mal fonctionné
16	22/09/2021 10 :15 :00	22/09/2021 11 :30 :00	Accumulation de poussière ou niveau des capteurs
17	26/09/2021 09 :00 :00	26/09/2021 11 :30 :00	Surcharge ou niveau de Détecteur métallique
18	28/09/2021 09 :00 :00	28/09/2021 10 :00 :00	Accumulation de bourrage ou niveau de soudure
20	01/10/2021 09 :00 :00	01/10/2021 13 :00 :00	Lors du redémarrage de la chaîne, le dispositif d'introduction des paquets n'était pas encore rentré dans sa position
21	20/10/2021 10 :00 :00	20/10/2021 15 :00 :00	La pression du circuit d'alimentation de l'air comprimé du groupe à vide gv a baissé au-dessous de la limite minimum pour le fonctionnement correct de la machine (4.5 ATM environ).
22	06/11/2021 09 :00 :00	06/11/2021 12 :00 :00	Un paquet mou a été relevé par le dispositif placé avant l'extraction des paquets de la chaîne.
23	07/12/2021 10 :15 :00	07/12/2021 12 :15 :00	L'actionnement qui contrôle le moteur de l'arbre à cames du soufflet âge a relevé un fonctionnement non correct.
24	04/01/2022 09 :00 :00	04/01/2022 11 :00 :00	Accumulation de bourrage ou niveau de soudure
25	18/02/2022 09 :00 :00	18/02/2022 10 :00 :00	Accumulation de poussière ou niveau des capteurs
27	26/02/2022 09 :00 :00	26/02/2022 12 :00 :00	Le vérin qui pousse les sachets surpoids a mal fonctionné
28	29/02/2022 08 :00 :00	29/02/2022 09 :30 :00	La graisse dans le réservoir du graisseur automatique de la chaîne est terminée
29	01/03/2022 10 :00 :00	01/03/2022 11 :00 :00	Un paquet mou a été relevé par le dispositif placé avant l'extraction des paquets de la chaîne.
30	15/05/2022 09 :00 :00	15/05/2022 12 :00 :00	Accumulation de bourrage ou niveau de soudure
31	16/07/2022 11 :00 :00	16/07/2022 13 :15 :00	Le vérin qui pousse les sachets surpoids a mal fonctionné
33	02/09/2022 09 :00 :00	02/09/2022 10 :00 :00	Accumulation de poussière ou niveau des capteurs
34	01/10/2022 10 :30 :00	01/10/2022 11 :00 :00	La graisse dans le réservoir du graisseur automatique de la chaîne est terminée
35	14/10/2022 09 :00 :00	14/10/2022 09 :15 :00	Changement de bobinage de film
37	23/11/2022 10 :00 :00	23/11/2022 15 :15 :00	Un paquet mou a été relevé par le dispositif placé avant l'extraction des paquets de la chaîne.
38	28/11/2022 09 :00 :00	28/11/2022 16 :00 :00	Le relais thermique placé comme protection d'un moteur s'est déclenché.
39	14/12/2022 09 :00 :00	14/12/2022 11 :00 :00	Le formateur mobile (à géométrie variable) n'est pas retourné dans la position de repos avant la rotation du carrousel.
40	15/12/2022 11 :15 :00	15/12/2022 12 :30 :00	Accumulation de bourrage ou niveau de soudure
41	16/12/2022 08 :30 :00	16/12/2022 11 :15 :00	Accumulation de la poussière qui niveau des capteurs
42	17/12/2022 09 :00 :00	13/01/2023 10 :15 :00	Le vérin qui pousse les sachets surpoids a mal fonctionné

Annexe03

Distribution de Weibull : valeurs des coefficients A et B en fonction du paramètre de forme :

β	A	B	β	A	B	β	A	B
0,2	120	1 901	1,5	0,9027	0,613	4	0,9064	0,254
0,25	24	199	1,55	0,8994	0,593	4,1	0,9077	0,249
0,3	92,625	50,08	1,6	0,8966	0,574	4,2	0,9086	0,244
0,35	5,291	19,98	1,65	0,8942	0,556	4,3	0,9102	0,239
0,4	33,234	10,44	1,7	0,8922	0,54	4,4	0,9146	0,235
0,45	24,686	6,46	1,75	0,8906	0,525	4,5	0,9125	0,23
0,5	2	4,47	1,8	0,8893	0,511	4,6	0,9137	0,226
0,55	17,024	3,35	1,85	0,8882	0,498	4,7	0,9149	0,222
0,6	1,546	2,65	1,9	0,8874	0,486	4,8	0,916	0,218
0,65	13,663	2,18	1,95	0,8867	0,474	4,9	0,9171	0,214
0,7	12,638	1,85	2	0,8862	0,463	5	0,9162	0,21
0,75	11,906	1,61	2,1	0,8857	0,443	5,1	0,9192	0,207
0,8	1,133	1,43	2,2	0,8856	0,425	5,2	0,9202	0,203
0,85	1,088	1,29	2,3	0,8859	0,409	5,3	0,9213	0,2
0,9	10,522	1,17	2,4	0,8865	0,393	5,4	0,9222	0,197
0,95	1,0234	1,08	2,5	0,8873	0,38	5,5	0,9232	0,194
1	1	1	2,6	0,8882	0,367	5,6	0,9241	0,191
1,05	0,9803	0,934	2,7	0,8893	0,355	5,7	0,9251	0,186
1,1	0,9649	0,878	2,8	0,8905	0,344	5,8	0,926	0,165
1,15	0,9517	0,83	2,9	0,8919	0,334	5,9	0,9269	0,183
1,2	0,9407	0,787	3	0,893	0,316	6	0,9277	0,18
1,25	0,99314	0,75	3,1	0,8943	0,325	6,1	0,9266	0,177
1,3	0,9236	0,716	3,2	0,8957	0,307	6,2	0,9294	0,175
1,35	0,917	0,667	3,3	0,897	0,299	6,3	0,9302	0,172
1,4	0,9114	0,66	3,4	0,8984	0,292	6,4	0,931	0,17
1,45	0,9067	0,635	3,5	0,8997	0,285	6,5	0,9316	0,168
1,5	0,9027	0,613	3,6	0,9011	0,278	6,6	0,9325	0,166
1,55	0,8994	0,593	3,7	0,9025	0,272	6,7	0,9335	0,163
1,6	0,8966	0,574	3,8	0,9083	0,266	6,8	0,934	0,161
1,65	0,8942	0,556	3,9	0,9051	0,26	6,9	0,9347	0,15