

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique



Département : Maîtrise des risques industriels et environnementaux.

Filière : QHSE-GRI.

Entreprise : Bomare Company.

Mémoire de projet de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en QHSE-GRI.

**Rehaussement du taux de disponibilité d'une ligne de production
par une approche intégrée fiabilité et maintenance.**

**Cas : ligne de production des cartes électroniques de type SMT
de Bomare Company.**

Meriem AROUS.

Sous la direction de Mr. Amin BENMOKHTAR

Présenté et soutenu publiquement le 29/06/2024.

Composition du jury :

Président Mr. Hamid YOUSFI

Professeur, ENP

Examineur 1 Mr. Mohammed BOUBAKEUR

Maître Assistant A, ENP

Examineur 2 Mme. Karima BITCHIKH

Maître de conférences A ENP

Rapporteur Mr. Amin BENMOKHTAR

Maître de conférences A, ENP

Corapporteur Mr. Mohamed Amine TOUMI

Ingénieur de processus, Bomare Company.

ENP 2024

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique



Département : Maîtrise des risques industriels et environnementaux.

Filière : QHSE-GRI.

Entreprise : Bomare Company.

Mémoire de projet de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en QHSE-GRI.

**Rehaussement du taux de disponibilité d'une ligne de production
par une approche intégrée fiabilité et maintenance.**

**Cas : ligne de production des cartes électroniques de type SMT
de Bomare Company.**

Meriem AROUS.

Sous la direction de Mr. Amin BENMOKHTAR

Présenté et soutenu publiquement le 29/06/2024.

Composition du jury :

Président Mr. Hamid YOUSFI

Professeur, ENP

Examineur 1 Mr. Mohammed BOUBAKEUR

Maître Assistant A, ENP

Examineur 2 Mme. Karima BITCHIKH

Maître de conférences A ENP

Rapporteur Mr. Amin BENMOKHTAR

Maître de conférences A, ENP

Corapporteur Mr. Mohamed Amine TOUMI

Ingénieur de processus, Bomare Company.

ملخص.

الهدف من هذا العمل هو دراسة مدى توافر خط الإنتاج الإلكتروني داخل شركة بومار، استنادا إلى موثوقية وصيانة هذا النظام.

ويتألف هذا العمل من ثلاثة أجزاء رئيسية. الجزء الأول هو تحديد النظام المدروس، يليه حساب المعلمات الرئيسية مثل التوافر والموثوقية وأيضًا إستكشاف حالة الصيانة. نحدد أيضًا أنظمة فرعية مهمة مسؤولة عن الاضطرابات المحتملة في خط الإنتاج.

يركز الجزء الثاني على إدارة الاضطرابات المحددة، بهدف زيادة التوافر إلى أقصى حد عن طريق تقليل وقت تعطل خط الإنتاج.

باختصار، تهدف هذه الدراسة إلى تحسين الأداء التشغيلي من خلال التركيز على إدارة الموثوقية والصيانة الاستباقية، لضمان أقصى قدر من توافر خط إنتاج اللوحة الإلكترونية في شركة بومار.

الكلمات المفتاحية : SIPOC، CFD. WBS، التوافر، الموثوقية، الصيانة. Weibull، Abaque de noiret، Pareto، AMDEC، AHP.

Abstract.

The objective of this work is to study the availability of the electronic board production line within the Bomare Company, based on the reliability and maintenance of this system.

This work is structured in three main parts. The first part is to define the studied system, followed by the calculation of key parameters such as availability, reliability and also to explore the maintenance status. We also identify critical subsystems responsible for potential disruptions in the production line.

The second part focuses on the management of identified disruptions, aiming to optimize availability by reducing production line downtime.

In summary, this study aims to improve operational performance by focusing on proactive reliability and maintenance management, to ensure maximum availability of the electronic board production line at Bomare Company.

Key words: SIPOC, CFD. WBS, Availability, Reliability, Maintenance. Weibull, Noiret abacus, Pareto, AMDEC, AHP.

Résumé.

Le présent travail a pour objectif d'étudier la disponibilité de la ligne de production des cartes électroniques au sein de l'entreprise Bomare Company, en se basant sur la fiabilité et la maintenance de ce système.

Ce travail est structuré en trois parties principales. La première partie consiste à définir le système étudié, suivie du calcul des paramètres clés tels que la disponibilité, la fiabilité et aussi explorer l'état de la maintenance. Nous identifions également les sous-systèmes critiques responsables des perturbations potentielles dans la ligne de production.

La deuxième partie se concentre sur la gestion des perturbations identifiées, visant à optimiser la disponibilité en réduisant les temps d'arrêt de la ligne de production.

En résumé, cette étude vise à améliorer la performance opérationnelle en mettant l'accent sur la gestion proactive de la fiabilité et de la maintenance, afin d'assurer une disponibilité maximale de la ligne de production des cartes électroniques chez Bomare Company.

Mots clés : SIPOC, CFD. WBS, Disponibilité, Fiabilité, Maintenance. Weibull, Abaque de noiret, Pareto, AMDEC, AHP.

Dédicaces

À la mémoire de mes grands-mères.

*À mon pilier dans la vie, à celle qui m'a inculqué l'amour de l'excellence et de la distinction,
à toi ma chère combattante maman.*

*À celui qui a créé les conditions d'une vie heureuse et épanouissante, à celui qui a toujours
cru en mes compétences et m'a poussé vers le haut, à toi mon tendre papa.*

*À ma joie de vivre, mes rayons de soleil, ma source de bonheur et de réconfort, à vous mes
adorables sœurs Aya et Wafa.*

*À celui avec qui j'ai vécu les plus beaux souvenirs, celui qui m'a tant appris dans la vie, mon
cher frère Hamza.*

À celui qui m'a accompagné le long de ce parcours, mon cher fiancé Mehdi Souhil.

À tous les membres de mes familles AROUS et TOUIL.

À mes amies et tous les êtres proches à mon cœur.

Remerciements

Mes remerciements s'adressent tout d'abord à ALLAH Le Tout Puissant pour la force qu'il m'a donnée pour atteindre mon objectif et arriver où j'en suis à présent.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce rapport.

*En particulier, je remercie Monsieur **M A. TOUMI**, ingénieur de processus à Bomare Company, pour m'avoir accordé l'opportunité de réaliser mon projet au sein de l'entreprise. Sa confiance en l'efficacité et l'utilité du projet a été un moteur important pour moi, et son accompagnement tout au long de son déroulement m'a été précieux.*

*Je suis également reconnaissante envers Monsieur **M. RAHALI** et Monsieur **W. GHUEMMAL** grâce à leurs conseils et à leur expertise, j'ai pu mener à bien ce projet et atteindre les objectifs fixés.*

*Je remercie également Madame **S. MADENE** de m'avoir accueilli chaleureusement au sein de l'unité.*

Je leur suis sincèrement reconnaissante de leur aide précieuse.

*À Monsieur **A. BENMOKHTAR** Maître Assistant à l'ENP pour sa disponibilité, sa présence et ses conseils qui ont contribué à l'exceptionnel encadrement dont j'ai eu l'occasion de bénéficier.*

*À Monsieur **H. Yousfi** en qualité de président du jury, Monsieur **M. Boubakeur** et Madame **K. Bitchikh** en tant qu'examineurs pour l'effort prodigué afin de corriger et d'apporter la touche finale au projet.*

Je remercie également les employés de l'usine de Bomare Company qui ont contribué de près ou de loin à mon intégration au niveau de l'usine et à la réalisation de ce projet.

Je tiens aussi à adresser mes remerciements les plus sincères à toute l'équipe pédagogique qui nous a accompagnés tout au long de notre formation à l'École Nationale Polytechnique pour la qualité de l'enseignement prodigué et l'engagement dont ils ont fait preuve.

*Enfin, j'adresse mes plus sincères remerciements à Monsieur **R. BOURDJOL** qui a toujours été serviable et à la hauteur des attentes lors du besoin. À toutes ces personnes, je présente mes remerciements, mon respect et ma gratitude.*

Table des matières.

Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste des abréviations	
INTRODUCTION.....	12
Chapitre I : Mise en contexte, problématique et méthodologie.....	14
Chapitre 01: Mise en contexte, problématique et méthodologie.....	15
1.1. Généralités sur l'industrie de fabrication des cartes électroniques.....	15
1.2. Présentation de BOMARE COMPANY.....	16
1.2.1. Description de l'entreprise.....	16
1.2.2. Présentation des unités de production.....	22
1.2.2.1. Fonctionnement de ligne de production SMT.....	24
1.3. Problématique, objectifs et méthodologie.....	27
1.3.1. Problématique et objectifs.....	27
1.3.2. Méthodologie suivie.....	27
Chapitre II : Concepts et définitions sur la sureté de fonctionnement.....	31
2. Chapitre II : Concepts et définitions sur la sureté de fonctionnement.....	32
2.1. Arrêts machines.....	32
2.2. Sureté de fonctionnement.....	32
2.2.1. Historique.....	32
2.2.2. Définition de la SdF.....	34
2.2.3. Aspects liés à la sûreté de fonctionnement.....	34
2.2.3.1. Fonction requise.....	34
2.2.3.2. Fiabilité.....	34
2.2.3.3. Maintenabilité.....	36
2.2.3.4. Disponibilité.....	37
2.2.3.5. Sécurité.....	38
2.2.4. Autres concepts liés à la SdF.....	38
2.2.4.1. Défaillances.....	38
2.2.4.2. Maintenance.....	40
2.2.5. Méthodes et approches utilisées en SdF.....	48
2.2.5.1. Les méthodes qualitatives.....	48
2.2.5.2. Méthodes quantitatives.....	49
2.2.5.3. Retour d'expérience.....	52
Chapitre III: Définition du système étudié.....	53
3. Chapitre III : Définition du système étudié.....	54
3.1. Diagramme SIPOC.....	54

3.1.1.	Description globale de la ligne de production SMT.	55
3.1.2.	Élaboration du diagramme SIPOC de la ligne SMT.	57
3.2.	Cross functional diagram (CFD).....	58
3.3.	Work breakdown structures (WBS).....	59
3.3.1.	Organigramme technique (OT).	60
3.3.2.	Dictionnaire de l'organigramme technique.....	61
Chapitre VI :	Exploitation des données historiques de la ligne SMT.	66
4.	Chapitre VI : Exploitation des données historiques de la ligne SMT.....	67
4.1.	Détermination des machines critiques de la ligne SMT à partir du calcul et des paramètres liés à la SdF.	67
4.1.1.	Collecte de données.....	67
4.1.2.	Calcul de la disponibilité.	68
4.1.3.	Calcul du taux de fiabilité.....	69
4.1.4.	Exploitation des données de la maintenance de la ligne de production et application de la méthode de l'abaque de noiret.	79
4.1.4.1.	Collecte et interprétation des données concernant les interventions du département de maintenance sur la ligne SMT.	79
4.1.4.2.	Application de la méthode de l'abaque de noiret.	81
4.2.	Détermination des sous-systèmes et éléments critiques de la ligne SMT.	84
4.2.1.	Diagramme Pareto.	84
4.2.2.	Décomposition fonctionnelle et application de l'AMDEC.	88
4.2.2.1.	Décomposition fonctionnelle.....	88
4.2.2.2.	Application de la méthode AMDEC.....	91
Chapitre V :	Optimisation de la disponibilité de la ligne SMT et maitrise des perturbations.....	99
5.	Chapitre V : Optimisation de la disponibilité de la ligne SMT et maitrise des perturbations.	100
5.1.	Maitrise des perturbations sur le plan organisationnel.	100
5.2.	Maitrise des perturbations sur la plan pratique.....	104
5.2.1.	Constitution des modèles de plan d'actions amélioratifs.....	104
5.2.2.	Hiérarchisation de priorités des critères par la méthode AHP.....	106
5.2.3.	Mise en œuvre des plans d'actions amélioratifs.	110
5.2.3.1.	Modèle 01 : Nozzles.....	110
5.2.3.2.	Modèle 02 : Feeders.	118
5.3.	Évaluation de l'optimisation de la disponibilité de la ligne de production.	129
	CONCLUSION	131
	Références bibliographiques.	134
	ANNEXES.	136

Annexe 01 : Résultats de l'élaboration du diagramme SIPOC.	137
Annexe 02 : Schémas représentatifs du CFD.....	140
Annexe 03 : Données de l'historique de la ligne de production collectées.....	144
Annexe 04 : Données des temps de bon fonctionnement des machines de la ligne SMT.....	149
Annexe 05 : Données tracés de Weibull.	151
Annexe 06 : Tableau données du département de maintenance.	155
Annexe 07 : Critères de la méthode de l'abaque de noiret.....	158
Annexe 07 : Tableau représentatif des résultats de l'AMDEC.....	161
Annexe 09 : PV de formation et feuille de présence.....	169
Annexe 10 : Fichier de suivi de production.....	171
Annexe 11 : Procédure de nettoyage des nozzles.....	174
Annexe 12 : Inventaire des feeders.....	175

LISTE DES TABLEAUX.

Tableau 1- Facteurs influençant la maintenabilité.	37
Tableau 2- Classification des défaillances.	39
Tableau 3- Ligne SMT.	55
Tableau 4– Dictionnaire de l’organigramme technique de l’élément Loader.	61
Tableau 5– Dictionnaire de l’organigramme technique de l’élément DEK.	61
Tableau 6– Dictionnaire de l’organigramme technique de l’élément SPI.	62
Tableau 7– Dictionnaire de l’organigramme technique de l’élément Fuzion.	62
Tableau 8– Dictionnaire de l’organigramme technique de l’élément AOI-1.....	62
Tableau 9– Dictionnaire de l’organigramme technique de l’élément Oven.	62
Tableau 10– Dictionnaire de l’organigramme technique de l’élément AOI-2.....	63
Tableau 11- Temps du bon fonctionnement des machines de la ligne de production.	68
Tableau 12– Taux de disponibilité relative à chaque machine.	68
Tableau 13 - Paramètres de la loi Weibull.	72
Tableau 14– Paramètres de Weibull et calculs des indicateurs.....	78
Tableau 15- Critères de l'abaque de noiret.	82
Tableau 16- Classification selon de l'abaque de noiret.	82
Tableau 17- Recommandation du type de maintenance selon l'abaque de noiret.....	82
Tableau 18 - Machines critiques de la ligne SMT.	83
Tableau 19- Données relatives à la distribution des causes d’arrêt de la ligne SMT.....	85
Tableau 20– Grille de fréquence d’occurrence.	93
Tableau 21– Grille de cotation de gravité.	93
Tableau 22– Grille de détectabilité.....	93
Tableau 23– Grille de criticité.	94
Tableau 24-Description des feuilles du fichier de suivi de la production.	101
Tableau 25- Caractéristiques des modèles de plans d'action amélioratifs.....	106
Tableau 26–Perturbations de la ligne SMT dues aux nozzles durant la période 10/01/2024- 10/03/2024.	116
Tableau 27-Perturbations de la ligne SMT dues aux nozzles durant la période 10/03/2024- 10/05/2024.	117
Tableau 28– Valeurs des facteurs choisis pour le DoE.	121
Tableau 29– Séquence aléatoire d’exécution de l’expérience.....	122
Tableau 30– Interprétation du graphique de l’effet principal.	124
Tableau 31– Interprétation du graphique d’interaction.....	125
Tableau 32- Meilleure configuration des facteurs.	126
Tableau 33-Résultats de l’application du DoE : priorités de combinaisons des facteurs.	127

LISTE DES FIGURES.

Figure 1 - Localisation de Bomare Company. Réf Google maps	17
Figure 2-Certifications de Bomare Company. Réf document interne.....	18
Figure 3-Politique Qualité de Bomare Company. Réf document interne.	19
Figure 4- Distribution des exportations de Bomare Company dans le monde. Réf document interne. 20	
Figure 5- Produits de Bomare Company. Réf document interne.	20
Figure 6- Cartographie de Bomare Company. Réf document interne.	21
Figure 7- Organigramme de la direction de production. Réf document interne.	22
Figure 8– Organigramme de l’unité de production des cartes électroniques. Réf document interne. .23	
Figure 9 – Fonctionnement de la ligne de production SMT.	26
Figure 10 – Méthodologie suivie.	29
Figure 11– Taux de défaillance d’une série de composants : courbe en baignoire. [6].....	36
Figure 12– Vie d’un système : évolution dans le temps. [6]	38
Figure 13– Défaillances, Causes et effets. [7]	39
Figure 14– Schématisation de maintenance corrective. [9]	41
Figure 15– Schématisation de maintenance préventive. [9]	42
Figure 16– Relations entre les types de maintenance. [9].....	42
Figure 17– Organigramme structurel du département de maintenance. Réf document interne (manuel de maintenance).	43
Figure 18-Procédure de la maintenance curative. Réf document interne (manuel de maintenance). .45	
Figure 19– Procédure de la maintenance préventive. Réf document interne (manuel de maintenance).	46
Figure 20– Procédure d’analyse des pannes. Réf document interne (manuel de maintenance).	47
Figure 21– Méthodes d’une approche de sureté de fonctionnement.	48
Figure 22-Tableau type de l’AMDEC. [13]	49
Figure 23– Blocs-diagramme de fiabilité.	50
Figure 24– Représentation d’un arbre de défaillances.	51
Figure 25– Processus stochastique.....	51
Figure 26- Composition de la ligne SMT.	55
Figure 27– Forme de l’organigramme technique.....	60
Figure 28– Description des activités sur l’organigramme.	61
Figure 29– Distribution du temps de production entre les activités manuelles et les activités assurées par les machines.....	63
Figure 30– Représentant la disponibilité de la ligne de production.....	69
Figure 31– Différents types de graphiques représentés par le logiciel MiniTab.....	70
Figure 32– Coefficients de corrélation relatifs à chaque modèle mathématique.	71
Figure 33– Distributions du nuage de points relatives à chaque modèle mathématique.....	72
Figure 34– Nuage de points de la machine Loader.	74
Figure 35– Nuage de points de la machine DEK.	74
Figure 36– Nuage de points de la machine SPI.....	75
Figure 37– Nuage de points de la machine Fuzion 120-1.	75
Figure 38– Nuage de points de la machine Fuzion 120-2.	76
Figure 39– Nuage de points de la machine Fuzion-14.	76
Figure 40– Nuage de points de la machine Oven.	77
Figure 41– Nuage de points de la machine AOI.....	77
Figure 42– Distribution des interventions du personnel de maintenance sur les machines de la ligne SMT.....	79

Figure 43– Types de maintenance effectuées sur la ligne de production SMT.	80
Figure 44– Aperçu sur le bilan de maintenance de l'année 2023.	81
Figure 45– Diagramme Pareto représentant la distribution des causes d'arrêt de la ligne de production.....	86
Figure 46– Schéma récapitulatif des résultats du diagramme Pareto.....	87
Figure 47– Décomposition fonctionnelle de la machine d'insertion Fuzion Universal 120.....	89
Figure 48– Décomposition fonctionnelle de la machine de soudure -Oven-.....	91
Figure 49– Distribution des degrés de criticité des défaillances étudiées.	95
Figure 50– Distribution des éléments critiques de la ligne de production.....	96
Figure 51– Résultats de l'AMDEC.	96
Figure 52– Relation entre les résultats de Pareto et de l'AMDEC.....	97
Figure 53– Regroupement des lignes indiquant les arrêts dus aux nozzles.	104
Figure 54– Résultats de l'application du diagramme d'Ishikawa.....	111
Figure 55– Expérience du personnel du département de production.	112
Figure 56– Étape de choix de l'expérience sur le logiciel MiniTab.	121
Figure 57– Étape de sélection du type du design et saisie du nombre de facteurs sur le logiciel MiniTab.	122
Figure 58– Étape de définition des niveaux des facteurs sur le logiciel MiniTab.	122
Figure 59– Graphique de l'effet principal.	124
Figure 60– Graphique d'interaction.....	125
Figure 61– Illustration de l'étape de scan des feeders de la ligne de production.	128

LISTE DES ABREVIATIONS.

- AHP: Analytical Hierarchy Process
- AMDEC : Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité
- AOI: Automated optical inspection
- BOM: bill of materials
- CAD: Computer-aided design
- CE : Conformité Européenne
- CEI: Commission Électrotechnique Internationale
- DG: Direction Générale
- DoE: Design of Experiment
- EMS : services de fabrication électronique.
- HSE : Hygiène, Sécurité, Environnement
- ISO: International Organization for Standardization
- KPI: key performance indicator
- NF : Norme Française
- OT: Organigramme Technique
- PCB: Printed Circuit Board
- PIP : Partie Intéressées Pertinentes
- RH : Ressources Humaines
- RoHS : Restriction of Hazardous Substances
- SAV : Service Après-Vente
- SdF : Sûreté de Fonctionnement
- SIPOC: Suppliers, Inputs, Processes, Outputs, and Customers.
- SMQ : Système de Management de la Qualité
- SMT: Surface Mount Technology
- SPI: Solder Paste Inspection
- SWOT: Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats
- TTV: Test TV
- UPCE : Unité de production des cartes électroniques
- WBS: Work-Breakdown Structure

INTRODUCTION.

Les industries sont confrontées à des exigences réglementaires et doivent effectuer des investissements appropriés tout en garantissant la sécurité des opérateurs et des populations, la préservation de l'environnement, et la fiabilité de leurs installations pour un fonctionnement sécurisé. Cet objectif est primordial pour toute industrie.

Cependant, malgré ces précautions, de nombreuses défaillances et anomalies dans les systèmes de production peuvent entraîner des pertes financières considérables, avec des répercussions significatives à moyen et long terme sur l'économie de l'entreprise, même si elles n'ont pas d'impact direct sur la vie humaine ou l'environnement.

L'étude réalisée dans le cadre de ce projet s'est concentrée sur le site de la Bomare Company, spécifiquement dans son unité spécialisée dans la fabrication de cartes électroniques. Nous avons collecté des données sur la production, les processus de fabrication, la fiabilité et la maintenance des machines constituant la ligne de production. Ces données nous ont permis d'évaluer la situation actuelle de l'installation et d'analyser différents scénarios potentiels qui pourraient, dans certaines conditions, conduire à un arrêt total de la production, avec d'importantes conséquences financières pour l'entreprise.

La présente étude est constituée de cinq chapitres :

1. Le premier chapitre est consacré au contexte général de l'étude, notamment la présentation de l'entreprise et de l'industrie de fabrication des cartes électroniques en général, à la problématique abordée et à la méthodologie suivie dans la réalisation du projet.
2. Le second chapitre, traite les concepts généraux de la sûreté de fonctionnement et les différentes approches de cette dernière.
3. Le troisième chapitre, est consacré à la définition détaillée du système étudié par l'application de trois méthodes d'analyses :
 - ✓ Étude SIPOC ;
 - ✓ Cross Functional Diagram ;
 - ✓ Work-breakdown structures.
4. Le quatrième chapitre est dédié premièrement à la détermination des machines critiques de notre ligne de production à travers le calcul des aspects liés à la sûreté de fonctionnement. Ensuite on procède à la détermination des sous-systèmes et éléments critiques de la ligne de production qui feront l'objet du chapitre suivant.
5. Dans le dernier chapitre nous abordons les actions de maîtrise des perturbations de la ligne de production, sur le plan organisationnel et pratique dans le but de l'optimisation de la disponibilité de cette dernière.

À la fin de ce travail, nous serons en mesure de maîtriser les perturbations pertinentes du système étudié et de disposer de pistes d'améliorations futures.

Chapitre I : Mise en contexte, problématique et méthodologie.

Chapitre 01: Mise en contexte, problématique et méthodologie.

L'industrie est à la pointe de la technologie, cherchant à augmenter la production tout en réduisant les coûts pour rester compétitive dans un marché de plus en plus concurrentiel. Toute entreprise industrielle doit optimiser, automatiser et rentabiliser ses processus de production, et l'électronique propose un large éventail de solutions pour y parvenir. Par conséquent, investir dans des produits électroniques est crucial pour la survie et la croissance d'un grand nombre d'entreprises industrielles, quelle que soit leurs tailles ou leurs domaines d'activité.

Pour fonctionner, chaque machine électronique industrielle dépend d'une carte électronique (CE), accompagnée d'innombrables circuits et composants électroniques, forment la base de l'électronique industrielle et garantissent le bon fonctionnement de chaque composant, quel que soit son rôle dans le processus de production.

Dans le présent chapitre, après une présentation en cascade de l'industrie de fabrication des cartes électroniques dans le monde et une description détaillée de l'entreprise Bomare Company, nous présenterons le fonctionnement général de la ligne de production de type Surface Mount Technology (SMT), ainsi que les différentes machines qui la compose, pour connaître le système étudié.

Nous exposerons également la problématique soulevée par l'entreprise, ainsi que la méthodologie suivie pour atteindre les objectifs assignés.

1.1. Généralités sur l'industrie de fabrication des cartes électroniques.

L'industrie des cartes mères est un secteur important. Les cartes mères jouent un rôle crucial dans le bon fonctionnement de tous appareils électroniques.

Elles permettent la transmission du courant électrique entre les différents composants, assurant ainsi leur interconnexion. Grâce à ces connexions, les signaux électriques peuvent circuler librement et atteindre les composants nécessaires au bon fonctionnement de l'appareil.

Il existe différentes technologies utilisées dans la fabrication de carte électronique.

Les plus courantes sont les cartes à simple face, où les composants sont présents sur une seule face de la carte, et les cartes à double face, où les composants peuvent être présents sur les deux faces de la carte. Il existe également des cartes multicouches, qui contiennent plusieurs couches de cuivre superposées pour permettre un plus grand nombre de connexions.

Les cartes électroniques ont connu une évolution constante au fil du temps. Les avancées technologiques ont permis de réduire leur taille tout en augmentant leur capacité à supporter des composants toujours plus petits et puissants. Aujourd'hui, on trouve des cartes électroniques dans une grande variété d'appareils allant des téléphones portables aux ordinateurs en passant par les voitures et les équipements médicaux.

❖ Les principaux exportateurs.

En 2022, les principaux exportateurs de cartes mères dans le monde étaient principalement des entreprises technologiques basées en Asie [1], notamment :

- ✓ Taiwan : Des sociétés comme Asus, Gigabyte et MSI ont une présence importante sur le marché mondial des cartes mères et exportent une grande quantité de leurs produits vers divers pays.
- ✓ Chine : Des entreprises telles que Lenovo, Huawei et AS Rock ; produisent et exportent également des cartes mères à grande échelle ;
- ✓ Japon : Des entreprises comme Sony et Fujitsu ont également une part dans le marché mondial des cartes mères.

❖ Les principaux importateurs.

Les principaux importateurs de cartes mères dans le monde sont souvent les grands fabricants d'ordinateurs, les assembleurs de systèmes informatiques et les distributeurs. [2]. Voici quelques-uns des principaux importateurs :

- ✓ États-Unis : Les entreprises technologiques américaines telles qu'Apple, Dell, HP et IBM importent de grandes quantités de cartes mères pour leurs produits informatiques ;
- ✓ Europe : Les principaux importateurs de cartes mères en Europe sont des entreprises comme Lenovo, Acer, Asus, et d'autres fabricants d'ordinateurs et distributeurs de matériel informatique ;
- ✓ Asie : Les pays asiatiques importent également une quantité importante de cartes mères pour leur propre production d'ordinateurs et de périphériques informatiques. Les entreprises locales telles que Samsung, LG, et Xiaomi sont parmi les principaux importateurs ;
- ✓ Amérique du Sud : Les grandes entreprises informatiques sud-américaines importent également des cartes mères pour répondre à la demande locale de matériel informatique.

1.2. Présentation de BOMARE COMPANY.

BOMARE COMPANY, est une entreprise privée, dont le propriétaire est M. Ali BOUMEDIENE en 2001, bénéficie de son engagement total pour la hisser au statut de leader incontournable dans le secteur de l'industrie électronique, tant sur le plan national qu'international.

1.2.1. Description de l'entreprise.

C'est une entreprise algérienne en tête du marché des nouvelles technologies, se spécialisant dans la fabrication d'appareils électroniques à usage grand public et industriel, elle a réussi à constituer un capital social de 1 023 MD - DZ.

L'entreprise est située à Birtouta (Alger) comme l'indique la figure 1, s'étend sur 15000 m² dont 5500 m² de bâtis.



Figure 1 - Localisation de Bomare Company. Réf Google maps

Bomare company renforce sa position de leader en s'intéressant à la certification dans différents domaines, ce qui démontre l'engagement de la direction. La figure 2 englobe les certifications obtenues et en cours d'obtention par l'entreprise:

- ✓ Certification CE ;
- ✓ Certification RoHS ;
- ✓ Certification ISO 9001 : 2015 ;
- ✓ Certification ISO 17025 en cours pour la création d'un laboratoire d'étalonnage et la certification.

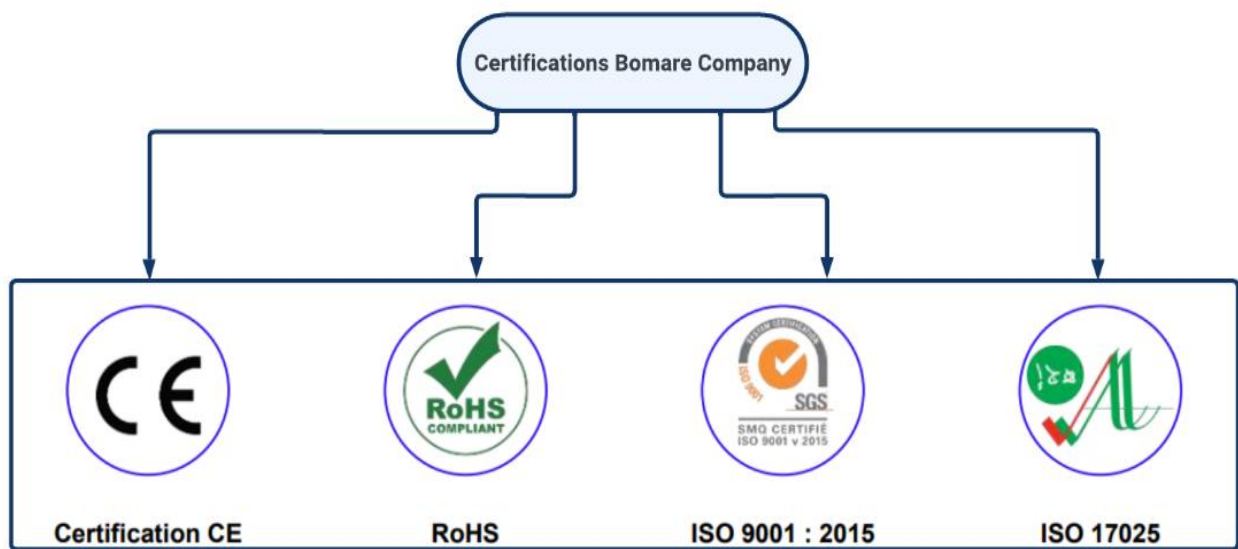


Figure 2-Certifications de Bomare Company. Réf document interne.

❖ **Politique qualité.**

Étant donné que l'entreprise est certifiée ISO 9001 v 2015 il évident qu'une politique qualité soit établie afin de démontrer l'engagement et le dévouement de la direction. Cette politique assure que les produits fournis par l'entreprise conduisent généralement à une plus grande satisfaction des clients et renforce la réputation de l'entreprise. La figure 3 donne le détail de cette politique.

Depuis sa création, **BOMARE COMPANY** a toujours été très active dans la recherche des opportunités qui lui permettent de préserver sa position de leader dans la filière électronique à l'échelle Nationale et de conserver toutes ses performances à l'export.

Le maintien de toutes ses positions acquises est assuré grâce à l'effort d'investissement aboutissant à l'amélioration constante de ses produits pour répondre aux exigences du marché et cela par une stratégie commerciale adaptée.

Le développement de ses activités d'exportation ainsi que le déploiement de son réseau de service Après-vente à l'international constituent pour **BOMARE COMPANY** une préoccupation majeure pour l'amélioration de ses acquis dans un contexte hautement concurrentiel.

Dans le contexte économique actuel, **BOMARE COMPANY** adopte une vision stratégique fondée sur la qualité de ses produits et services, une gestion opérationnelle efficace ainsi qu'une parfaite maîtrise des processus et l'acquisition de nouveaux équipements de haute technologie.

Cette vision permet à **BOMARE COMPANY** le maintien de sa force en tant que précurseur dans l'exportation des produits électroniques algériens vers l'Europe, et de constituer un modèle de proposition dans la définition de la nouvelle démarche économique du pays.

En adéquation avec cette stratégie, les objectifs de **BOMARE COMPANY** s'articulent autour des 04 axes principaux suivants :



Conformément au système de management de la qualité de **BOMARE COMPANY** et à la norme ISO 2015: 9001, chaque processus est mis à contribution pour l'atteinte des objectifs fixés.

BOMARE COMPANY déploie une approche qui repose sur l'évaluation des forces et des faiblesses ainsi que l'analyse des risques et des opportunités en plaçant l'amélioration continue et la satisfaction des clients ainsi que toutes les parties intéressées au cœur de sa stratégie.

BOMARE COMPANY réitère son engagement à développer et à améliorer en permanence son système de management de la qualité (SMQ), en fournissant les ressources (humaines, matérielles et techniques) nécessaires, afin que ce dernier soit pertinent et porteur de valeurs ajoutées.

BOMARE COMPANY compte sur la collaboration habituelle du responsable management qualité, des pilotes de processus ainsi que l'ensemble du personnel afin de poursuivre la mise en exergue de cette politique qualité.

BOMARE COMPANY vise également à s'engager pour accréditer son laboratoire d'étalonnage suivant la norme ISO IEC 17025 v 2017, cet engagement compte à garantir que le laboratoire exerce ses activités en toute impartialité et confidentialité, ces éléments sont des principes fondamentaux de notre laboratoire d'étalonnage, c'est pourquoi nous prenons toutes les dispositions nécessaires pour s'assurer :

- De la compétence de notre personnel;
- De la fiabilité des résultats du laboratoire par rapport aux exigences de la norme ISO/ CEI 17025 v 2017 et que les résultats fournis par le laboratoire ne peuvent être influencés.

NOS CERTIFICATIONS



6 FEV 2023
 Directeur exécutif
M. Ali BOUMEDIENE
 Executive Director
Ali BOUMEDIENE
 Direction Générale
 BOMARE COMPANY SYSTEMS
 011A-
 01 : 0000-000000 0000
 01 : 0000 0000 00 00
 Fax : 0000 00 00 00
 Quality Assurance & Control

Figure 3-Politique Qualité de Bomare Company. Réf document interne.

❖ **Exportation.** [3]

- ✓ 2007 : première opération d'exportation vers l'Europe ;
- ✓ 2016 : Contrat de 50 millions USD pour une durée de 05 ans Vers le marché Espagnol et le marché Portugais ;
- ✓ 2019 : Un contrat de 23 Millions de USD par an Vers le marché Italien ;
- ✓ 2020 : première opération d'exportation des TV LG fabriquées par BOMARE COMPANY vers l'Europe.



Figure 4- Distribution des exportations de Bomare Company dans le monde. Réf document interne.

Prévisions à l'export :

- ✓ Création d'un service après-vente en Allemagne
- ✓ Avec offre de 5 ans de garantie sur les TV STREAM.

❖ **Produits de l'entreprise.**



Figure 5- Produits de Bomare Company. Réf document interne.

❖ Cartographie de l'entreprise. [3]

L'entreprise est constituée principalement de trois niveaux dont chacun est divisé en plusieurs départements suivant la figure 6.

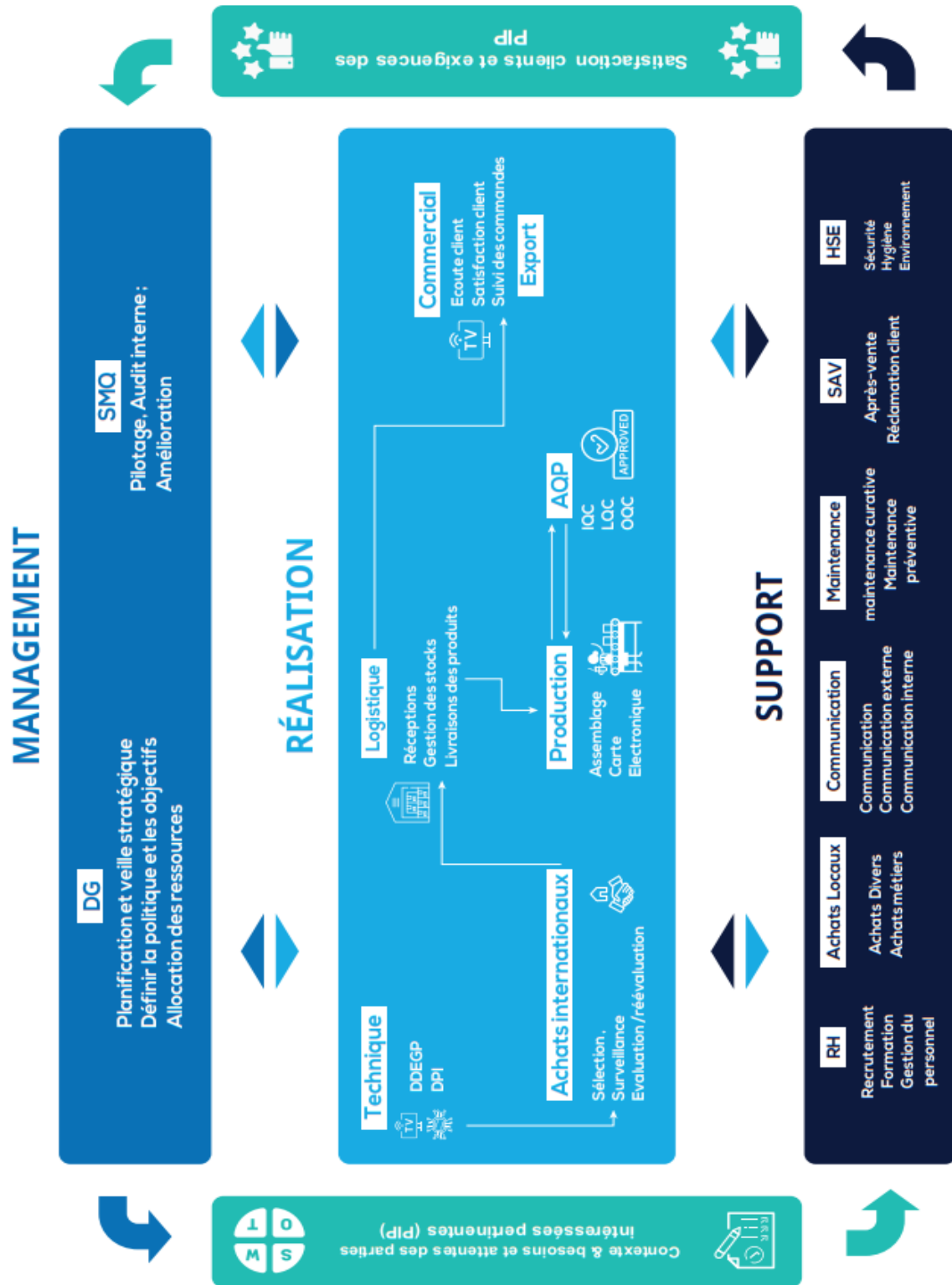


Figure 6- Cartographie de Bomare Company. Réf document interne.

1.2.2. Présentation des unités de production.

La figure 7 représente l'organigramme structurel du département de production :

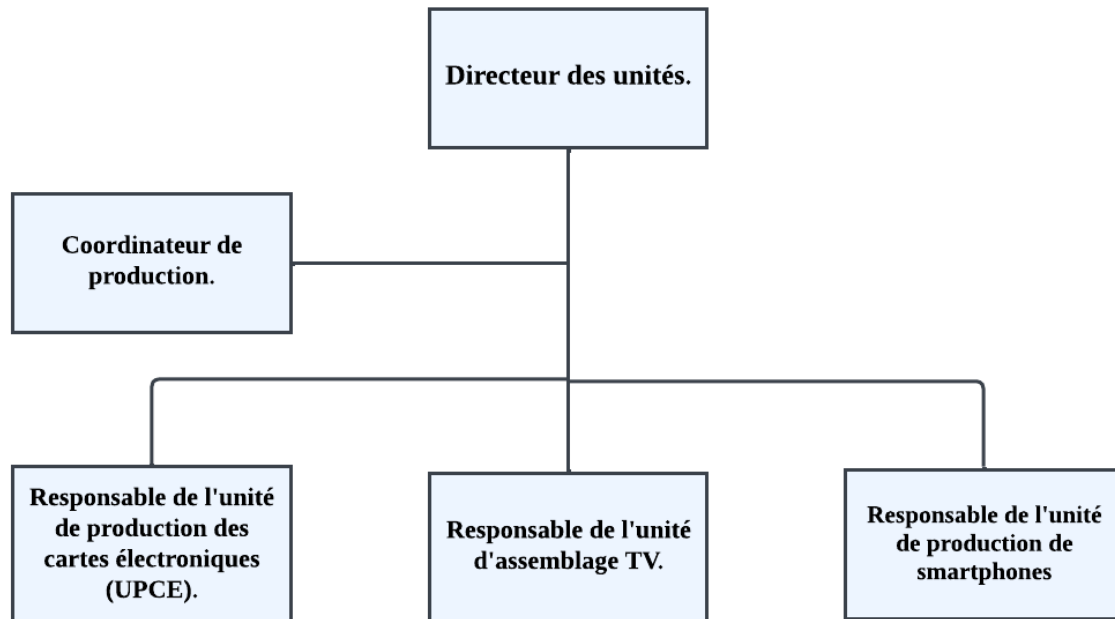


Figure 7- Organigramme de la direction de production. Réf document interne.

À partir de l'organigramme ci-dessus on distingue que l'entreprise est constituée principalement de trois unités de production :

❖ **Première unité de production des cartes électroniques (UPCE).**

Se dotant de nouveaux équipements à la pointe de la technologie, BOMARE COMPANY est capable aujourd'hui de produire tous types de cartes électroniques dans différents domaines : radiodiffusion, télécommunications, équipements médicaux, téléphones mobiles, ordinateurs...etc.

Cette unité est composée d'équipements automatiques de fabricants mondiaux, tous leaders dans leurs domaines respectifs tels que, l'Américain « UNIVERSAL INSTRUMENTS », l'Européen « DEK » et le Japonais « SAKI ».

L'UPCE est composée de différentes lignes de production :

- ✓ 02 lignes SMT haute qualité.
- ✓ Deux lignes de test de fonctionnement.
- ✓ Une ligne d'insertion manuelle (DIP) avec procédé de soudage à la vague.

❖ **Deuxième unité d'assemblage TV.**

03 lignes d'assemblage TV, toutes dimensions confondues, allant du 19 pouces au 86 pouces et de différentes technologies (LED, DLED, OLED...)

❖ **Troisième unité de production de smartphones.**

02 Lignes d'assemblage de smartphones et de tablettes avec des équipements de test de conformité Rohs et Schwarz contenus dans une salle blanche ISO 6.

J'ai effectué mon stage au sein de l'unité 2 spécialisée dans la fabrication des cartes électroniques utilisées lors de l'assemblage au sein de l'unité 1 et d'autres types de cartes électroniques.

Le choix d'effectuer mon stage au sein de la ligne SMT revient à ce que cette unité représente le cœur de l'entreprise en fournissant les cartes mère qui servent de matière première pour les autres unités de production avec un objectif de 40000 cartes par mois ce qui augmente l'importance d'assurer le bon fonctionnement des machines de la ligne de production et à minimiser leurs temps d'arrêt en optimisant leur fiabilité et disponibilité ce qui représente le thème de mon projet.

Cette unité est organisée d'après l'organigramme représenté dans la figure 8.

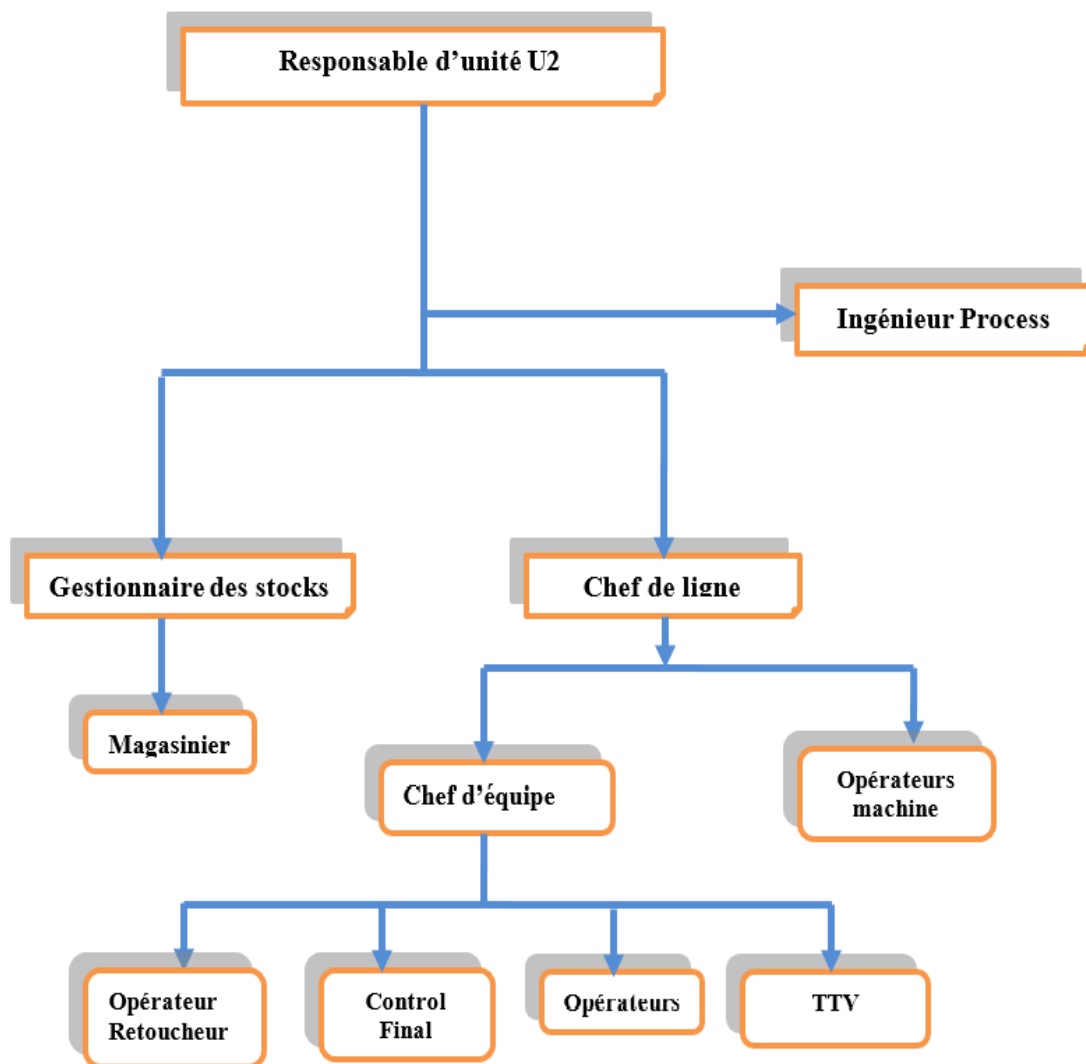


Figure 8– Organigramme de l'unité de production des cartes électroniques. Réf document interne.

1.2.2.1. Fonctionnement de ligne de production SMT.

La fabrication électronique utilisant la technologie SMT signifie simplement que les composants électroniques sont assemblés à l'aide de machines automatisées qui placent les composants sur la surface d'une carte (carte de circuit imprimé, PCB).

Le montage électronique comprend non seulement le placement et le soudage de composants sur le circuit imprimé, mais également les étapes de production suivantes :

- ✓ Application de pâte à braser ;
- ✓ Placement et assemblage des composants ;
- ✓ Soudage des cartes avec un processus de refusion ;
- ✓ AOI et vérification visuelle.

Ainsi, on aborde chaque étape séparément afin de mieux comprendre le fonctionnement de la ligne :

✓ **Application de pâte à braser.**

La pâte à souder est "imprimée" sur les cartes en utilisant la méthode de la sérigraphie. En fonction de la conception du carton, différents pochoirs en acier inoxydable pour "imprimer" la pâte sur le carton et diverses pâtes spécifiques au produit sont utilisés.

Une fois que la pâte à souder est sur les cartes, une inspection de la pâte à souder 2D est effectuée afin de s'assurer que la pâte est appliquée uniformément et correctement. Une fois que la précision de l'application de la pâte à braser a été confirmée, les cartes sont transférées sur la chaîne de montage SMT, où les composants seront soudés.

✓ **Placement et assemblage des composants.**

Les composants électroniques à assembler sont livrés dans des plateaux ou des bobines, qui sont ensuite chargés dans la machine SMT.

Au cours du processus de chargement, les systèmes logiciels intelligents garantissent que les composants ne sont ni commutés ni chargés par inadvertance. La machine d'assemblage SMT retire ensuite automatiquement chaque composant avec une pipette à vide de son plateau ou de sa bobine et le place à sa position correcte sur le tableau en utilisant les coordonnées XY préprogrammées précises. Les machines sont capables d'assembler jusqu'à 25 000 composants par heure. Une fois l'assemblage SMT terminé, les cartes sont déplacées vers les fours de refusion pour la soudure, qui applique les composants sur la carte.

✓ **Soudage des cartes avec un processus de refusion.**

Les cartes sont placées dans une atmosphère d'azote et sont progressivement réchauffées avec de l'air chauffé jusqu'à ce que la pâte à souder fonde et que le flux se vaporise, ce qui fusionne les composants avec le PCB. Après cette étape, les planches sont refroidies. Au fur et à mesure que l'étain dans la pâte à souder durcit, les composants sont définitivement fixés à la carte et le processus d'assemblage SMT est terminé.

✓ AOI et vérification visuelle.

La soudure est l'avant-dernière étape du processus d'assemblage de l'outil SMT. Afin de garantir la qualité des cartes assemblées ou de détecter et de corriger une erreur, des inspections visuelles AOI sont effectuées pour la quasi-totalité des ordres de production en série. En utilisant plusieurs caméras, le système AOI vérifie automatiquement chaque carte et compare l'apparence de chaque carte à l'image de référence correcte prédéfinie.

S'il y a des écarts, l'opérateur de la machine est informé du problème potentiel, qui corrige ensuite l'erreur ou retire la carte de la machine pour une inspection plus approfondie. Le contrôle visuel AOI assure la cohérence et la précision du processus de production de l'assemblage SMT. La figure 9 synthétise le fonctionnement décrit ci-dessus.

SCHEMA DE FONCTIONNEMENT DE LA LIGNE DE PRODUCTION SMT

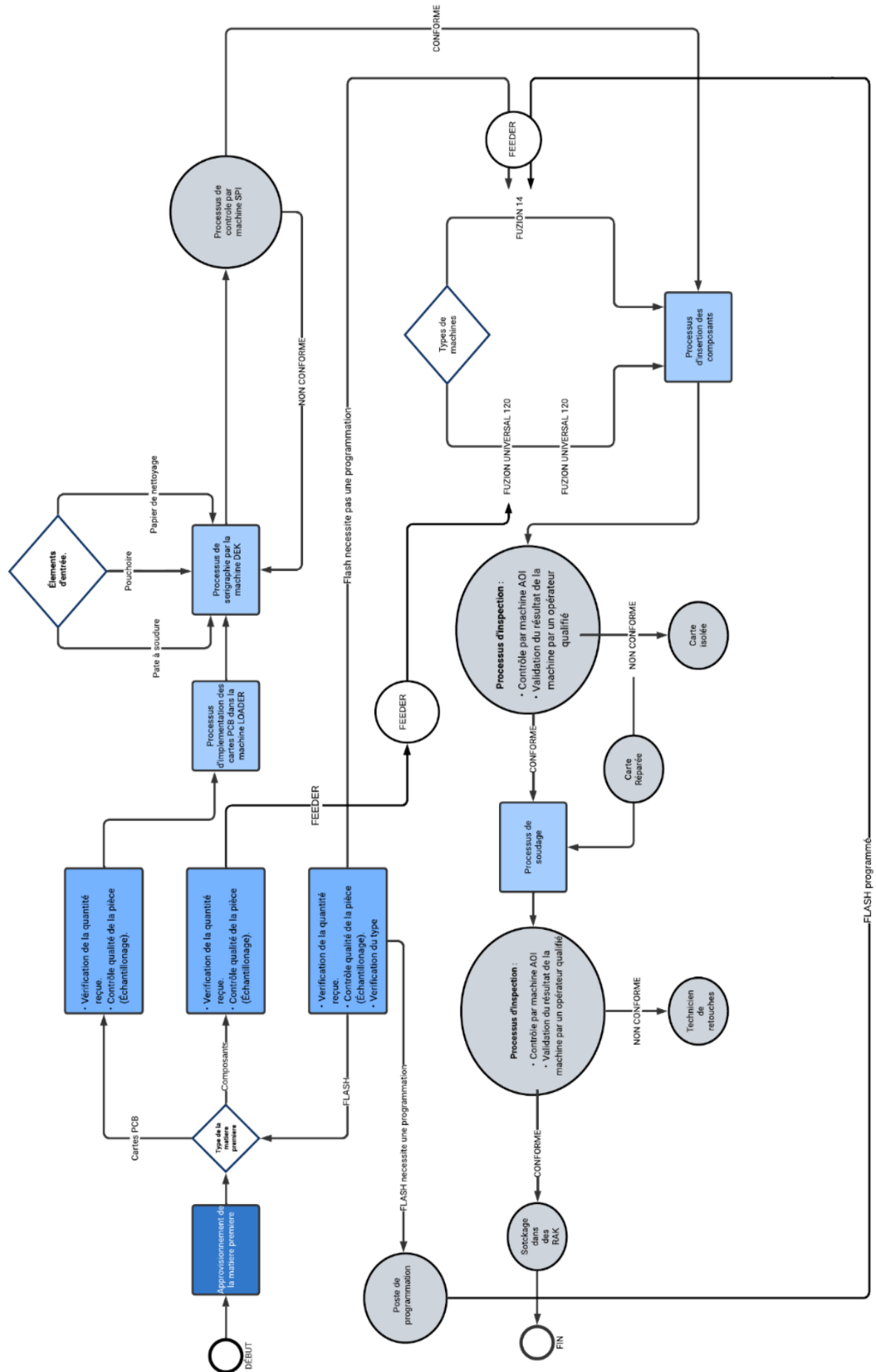


Figure 9 – Fonctionnement de la ligne de production SMT.

1.3. Problématique, objectifs et méthodologie.

1.3.1. Problématique et objectifs.

Le marché de fabrication des cartes électroniques a connu une évolution remarquable au cours de ces dernières années en Algérie ce qui entraîne l'apparition d'une concurrence entre les leaders de ce domaine dont l'entreprise Bomare Company en fait partie.

Afin d'augmenter le taux d'intégration de ses produits, Bomare Company a enrichi la gamme de ses produits et soustraite même la fabrication des cartes mères aux entreprises ce qui l'a poussé à se procurer une nouvelle ligne de production en 2017.

Au début de l'année 2020 l'objectif de production de l'entreprise a connu une hausse remarquable ce qui a fait que les arrêts de la nouvelle ligne de production, dont l'occurrence devient de plus en plus inquiétante, sont devenus apparents avec une incidence directe sur le bénéfice de l'entreprise. Pour cela, Bomare Company souhaite réduire les temps d'arrêts des machines de la ligne de production SMT.

Ainsi notre problématique se résume à travers les deux questions suivantes :

- ✓ Comment pouvons-nous optimiser la disponibilité d'une chaîne de production à partir de ses sous-systèmes ? et ou intervenir dans ces sous-systèmes pour l'augmenter?
- ✓ Que pouvons-nous faire en dehors de la maintenance pour assurer le renforcement des sous-systèmes de la ligne de production afin de réduire le temps d'arrêts et détecter les causes des pannes ?

1.3.2. Méthodologie suivie.

La méthodologie suivie afin de résoudre cette problématique et atteindre les objectifs est représentée dans la figure 10, dont les étapes sont les suivantes :

❖ **Étape 01 : Définir le système étudié**

Cette étape définit le système sur lequel portera l'étude à partir de :

- ✓ Mise en place de l'étude Fournisseurs, Entrées, Processus, Sorties et Client (SIPOC) qui permet de décomposer le système en spécifiant les inputs, outputs, fournisseurs, clients et les étapes du processus de fabrication des cartes électronique afin de donner une vue globale du système étudié qui servira par la suite à la mise en place de la méthode du WBS ce dernier est détaillé dans la deuxième étape de la réalisation du projet.
- ✓ Élaboration d'un Cross Functional Diagram (CFD) permettant de détailler les relations entre les agents de production et les machines ce qui nous permet de connaître les principaux responsables de production et s'en servir de leur retour d'expérience concernant les causes et l'occurrence des arrêts machines.
- ✓ En concertation avec les agents de la production de l'entreprise nous allons procéder à l'élaboration d'un Work Breakdown Structures (WBS) qui détaille les

activités du processus de fabrication abordé dans le SIPOC en termes de temps et complexité. Cette étape permet de cerner les activités critiques qui influencent sur le temps de production.

❖ **Étape 02 : Calcul des aspects liés à la sûreté de fonctionnement et détermination des sous-systèmes et éléments critiques.**

Cette étape est divisée en deux parties :

- ✓ Partie 01 : Détermination des machines critiques de la lignes de production à travers :
 - Calcul de la disponibilité ;
 - Calcul de la fiabilité selon le modèle Weibull ;
 - Diagnostic de l'état de maintenance et application de la méthode de l'abaque de noiret pour définir le type de maintenance adéquat pour chaque machine.
- ✓ Partie 02 : Détermination des sous-systèmes et éléments critiques appartenant aux machines constatées dans la première partie de cette étape, par le biais de la mise en place d'un diagramme Pareto et une analyse des modes de défaillance et leurs effets et criticité.

❖ **Étape 03 : Maitrise des perturbations de la ligne de production et optimisation de la disponibilité de la ligne de production.**

L'amélioration de la disponibilité d'une machine est liée à plusieurs critères et paramètres, afin de bien structurer cette partie déterminante de notre projet on a schématisé sous la forme d'un tableau chaque piste d'amélioration pertinente sous la forme d'un modèle en déterminant tous les critères qui lui sont liés. L'ordre de priorité de ces modèles a été effectué à l'aide de la méthode multicritères Processus Analytique Hiérarchique AHP.

En dehors des modèles opérationnels, on propose des solutions organisationnelles qui permettent l'amélioration de l'état de l'unité de production de manière générale.

Au final dans le but d'évaluer l'efficacité des mesures prises, on calcule le taux d'augmentation de la disponibilité de la ligne de production.

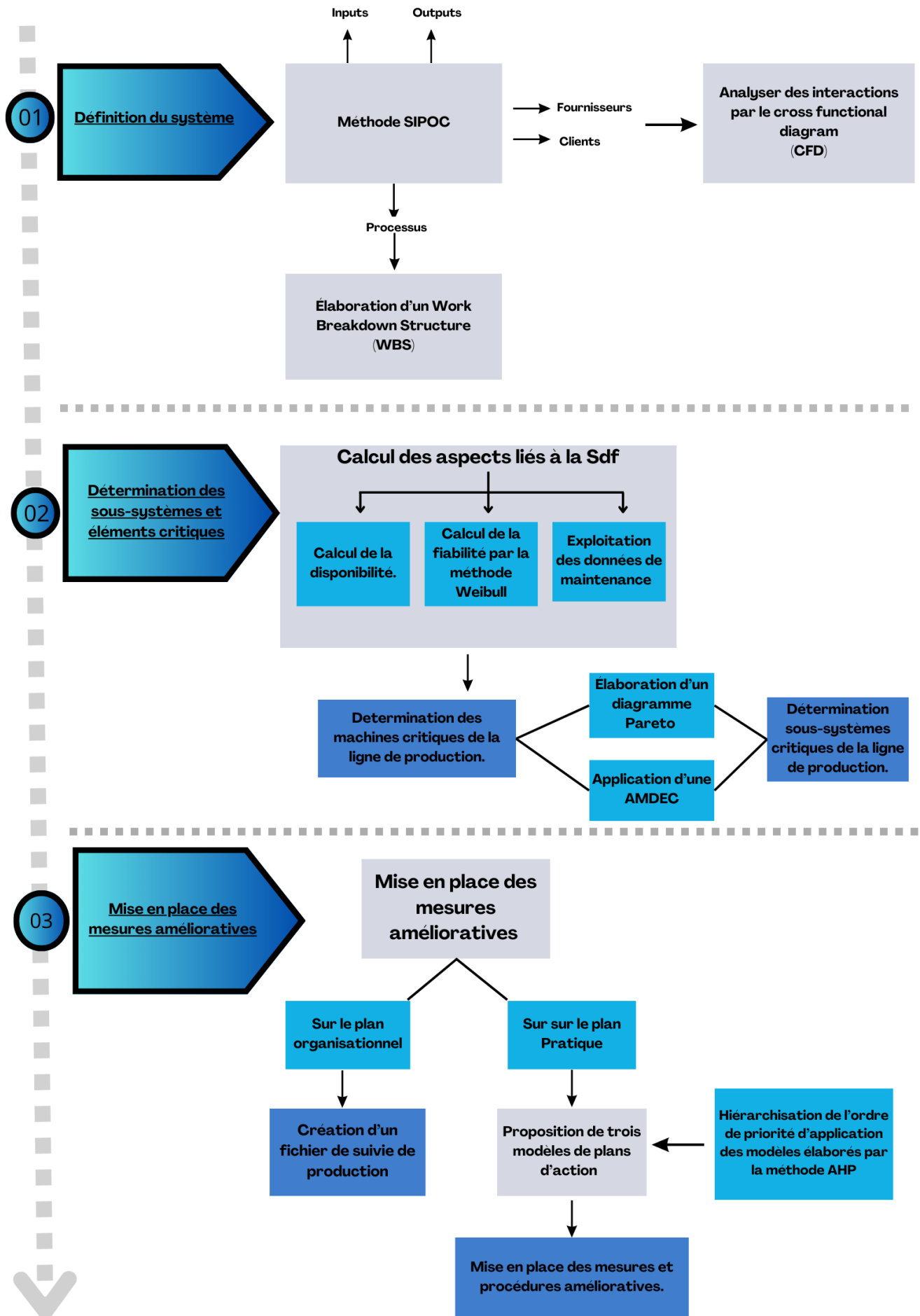


Figure 10 – Méthodologie suivie.

Dans ce premier chapitre, nous avons abordé les différentes caractéristiques de l'industrie de fabrication des cartes électroniques dans le monde, qui connaît de nos jours un développement remarquable et une concurrence accrue, ce qui incite les entreprises à vouloir se démarquer.

En effet, dans le but de bien cerner les enjeux qui menacent la position de BOMARE COMPANY on s'est intéressé en premier lieu à ses différentes structures, spécialement l'unité de fabrication des cartes électroniques.

Cette première immersion dans l'entreprise ainsi que ses besoins explicites, nous a permis de cerner la problématique qui est l'objet de notre étude, et ainsi nous avons élaboré une méthodologie de résolution afin d'atteindre les objectifs assignés par BOMARE COMPANY.

Dans le but de résoudre cette problématique, nous allons mettre en avant dans le chapitre suivant l'explication des différents aspects liés à la sûreté de fonctionnement ainsi que les différents outils associés.

Chapitre II : Concepts et définitions sur la sureté de fonctionnement.

Chapitre II : Concepts et définitions sur la sureté de fonctionnement.

Dans le présent chapitre, nous allons aborder en premier lieu la relation entre le concept de sureté de fonctionnement et des arrêts machines le cœur de notre étude. Cette relation nous permet de développer les aspects pertinents caractérisant la sureté de fonctionnement.

On outre, nous allons mettre en avant toutes les informations concernant les trois piliers de la sureté de fonctionnement, en projetant ces dernières sur la ligne SMT. On conclut ce chapitre en abordant les multiples approches de ce domaine d'étude.

2.1. Arrêts machines.

Un avantage concurrentiel décisif pour les entreprises de fabrication est de connaître les raisons des arrêts de leurs machines. En effet, ces arrêts machines non souhaités peuvent coûter cher : Les arrêts de production signifient des pertes de revenus et des coûts de maintenance plus élevés.

Pendant un temps d'arrêt, un système ne peut pas être. Ce sont des temps d'arrêt planifiés pour la maintenance ou les réparations.

Les équipes d'usine doivent avant tout connaître les temps d'arrêt imprévus des machines. Ce n'est qu'en connaissant les causes des temps d'arrêt non planifiés que l'on peut réduire ces temps d'arrêt, augmenter la fiabilité des installations et réduire les coûts de maintenance afin d'assurer une disponibilité optimale. La réduction des temps d'arrêt entraîne une augmentation de la capacité et contribue de manière mesurable à une productivité et rentabilité plus élevées.

Les temps d'arrêt des installations peuvent être classés en deux catégories :

- ✓ Les temps d'arrêt non planifiés
- ✓ Les pauses de fonctionnement planifiées.

Il est important de comprendre comment les différents arrêts impactant le fonctionnement d'une installation. Pour ce faire, les temps d'arrêt des machines devraient être surveillés systématiquement.

La compréhension et la catégorisation des causes des arrêts d'une installation donnée sont essentielles. Ainsi, le calcul et la description des différents aspects caractérisant le système ou l'installation est une étape primordiale.

2.2. Sureté de fonctionnement.

2.2.1. Historique.

À partir de la deuxième guerre mondiale, une discipline développée sous le nom de « théorie de la fiabilité ». Les décennies 1940 et 1950 sont caractérisées par la découverte de l'efficacité d'une approche probabiliste appliquée à l'électronique dans l'aéronautique, la défense et le nucléaire. [4]

Cette période fut aussi celle d'un développement rapide de l'électronique qui introduit des composants nombreux dont les défaillances individuelles sont imprévisibles à ce stade des connaissances, mais dont les défaillances collectives présentent des régularités statistiques ; sur un lot de composants homogène, on sait prédire avec une bonne confiance le nombre de défaillances par unité de temps qui vont se produire alors qu'on reste totalement incapable de prédire quel composant va tomber en panne et quand.

Les décennies 1960 et 1970 sont marquées par les tentatives de généraliser cette approche probabiliste si réussie à d'autres « composants » : mécaniques, hydrauliques, électriques, puis aux hommes, aux logiciels... et l'extension de l'approche au retour à la normale (à la fiabilité vient s'ajouter la maintenabilité).

Ces activités, dès leur prime jeunesse, ont dû maîtriser les risques d'accidents. Elles ont développé des approches déterministes très poussées et se sont essentiellement appuyées sur le surdimensionnement, la redondance et l'analyse logique pour assurer la sécurité.

L'apport des approches probabilistes permet de chercher à ajuster les mesures de prévention des événements aléatoires au lieu de rester abrité derrière des normes de dimensionnement larges et coûteuses.

À partir de la décennie 1980, les efforts entrepris dans tant de directions s'approfondissent, mais aussi tendent à se rejoindre pour constituer cette discipline d'application très étendue qu'est aujourd'hui la sûreté de fonctionnement. On note les développements suivants :

- ✓ Constitution de bases de données de fiabilité ;
- ✓ Début de normalisation en matière de sûreté de fonctionnement ;
- ✓ Développement des méthodes d'analyse, de modélisation, de représentation des systèmes complexes ;
- ✓ Développement de logiciels de calculs ;
- ✓ Développement de logiciels de modélisation ;
- ✓ Campagnes d'essais pour recueillir des données de fiabilité ;
- ✓ Utilisation de la sûreté de fonctionnement pour maîtriser tout type de risque industriel (et peu à peu des risques juridiques, individuels, financiers, etc.) et non seulement la sécurité ;
- ✓ Apparition et développement des clauses contractuelles de sûreté de fonctionnement et des exigences légales et réglementaires de sûreté de fonctionnement ;
- ✓ Besoin croissant de connaissances pointues dans les domaines scientifiques concernés dans les systèmes complexes : systèmes programmés, sciences humaines et sociales.

Aujourd'hui, le terme « sûreté de fonctionnement » (SdF) recouvre l'ensemble des moyens qui permettent de se donner et de transmettre une confiance justifiée dans le succès d'un projet, d'une activité et son innocuité.

2.2.2. Définition de la SdF.

C'est l'aptitude d'une entité à satisfaire une ou plusieurs fonctions requises dans des conditions données.

On notera que ce concept peut englober la fiabilité, la disponibilité, la maintenabilité, la sécurité, la durabilité... ou des combinaisons de ces aptitudes. Au sens large, la SdF est considérée comme la science des défaillances et des pannes. [5]

La SdF est souvent définie comme :

- ✓ Fiabilité, disponibilité, maintenabilité et sécurité ;
- ✓ Science des défaillances ;
- ✓ Maintien de la qualité dans le temps.

Chacune de ces définitions est porteuse de beaucoup du contenu de la SdF, mais chacune est cependant réductrice, trop étroite.

Ainsi on peut dire que la sûreté de fonctionnement consiste à évaluer les risques potentiels, prévoir l'occurrence des défaillances et tenter de minimiser les conséquences des situations catastrophiques lorsqu'elles se présentent.

2.2.3. Aspects liés à la sûreté de fonctionnement.

2.2.3.1. Fonction requise.

Fonction, ensemble de fonctions ou totalité des fonctions d'un système, considérées comme nécessaires pour satisfaire à une exigence donnée.

2.2.3.2. Fiabilité.

Selon l'Afnor (NF X 06-501) : « La fiabilité est l'aptitude d'un produit à accomplir une fonction requise dans des conditions données et pendant une période donnée ». On distingue successivement trois types de fiabilité. [6]

❖ Fiabilité prévisionnelle (phase de conception) :

Elle est calculée sur des modèles analytiques d'architectures propres au projet, et des taux élémentaires de défaillance issus de banques de données composants. Ces taux sont paramétrés en fonction des contraintes internes/ externes subies et des caractéristiques technologiques de construction et de sélection.

L'analyse prévisionnelle peut fournir à partir de nomenclatures ou de schémas électriques, respectivement deux types de bilans :

- ✓ La fiabilité « fondamentale », est le critère prévisionnel d'un lancement réalisé en conditions « nominales ».

✓ La fiabilité « en mission », formalise la probabilité de réussite, pour un « profil » d'environnements et de durées fixés.

❖ Fiabilité intrinsèque ou estimée (phases de développement/ production) :

On la mesure au cours d'essais spécifiques, conduits dans le cadre d'un programme entièrement défini, sinon contractuel. Elle induit le comportement probable d'une entité dans des conditions plus variées que celles effectivement simulées, et fournit un bilan calculé sur une implantation physique (prototypes, présérie).

❖ Fiabilité opérationnelle (phase d'exploitation) :

Elle résulte du traitement statistique, a posteriori, des données recueillies par les exploitants, dans des conditions réelles d'utilisation (au sein d'un système) ; sans que celles-ci (environnement, fréquence et durées de sollicitations) soient toujours parfaitement connues. Aussi est-il indispensable – pour pouvoir progresser – que ce bilan soit évalué sur un retour d'expérience, convenablement organisé.

D'autre part, on trouve la fonction de fiabilité $R(t)$:

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(x) dx} \quad (1)$$

Où : λ est l'indicateurs de fiabilité tel que :

$$\lambda = \frac{\text{nombre total de défaillance pendant le service}}{\text{durée totale de bon fonctionnement}} \quad (2)$$

Cet indicateur est lié au Temps Moyen de Bon Fonctionnement : Le MTBF (Mean Time Between Failure) est souvent traduit comme étant la moyenne des temps de bon fonctionnement mais représente la moyenne des temps entre deux défaillances. En d'autres termes, il correspond à l'espérance de la durée de vie (t) :

$$MTBF = \int_0^{\infty} R(t) \quad (3)$$

Physiquement le MTBF peut être exprimé par le rapport des temps :

$$MTBF = \frac{\text{Somme des temps de fonctionnement entre les } (n) \text{ défaillances}}{\text{Nombre d'intervention ou de maintenance avec immobilisation}} \quad (4)$$

Si λ est constant :

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \quad (5)$$

Par définition le MTBF est la durée de vie moyenne du système.

La courbe représentée dans la figure 11 montre l'évolution du taux des défaillances pour les différentes entités.

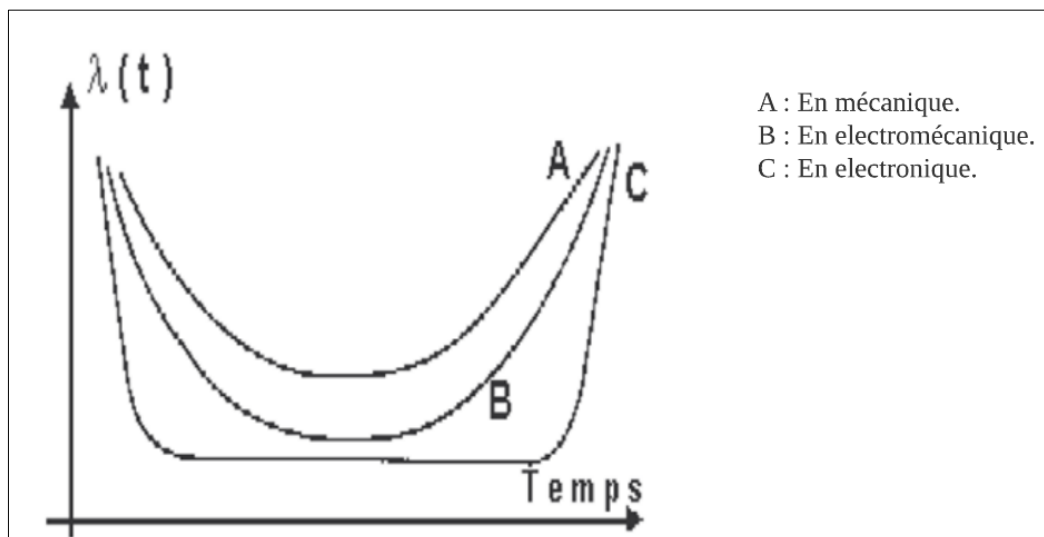


Figure 11– Taux de défaillance d'une série de composants : courbe en baignoire. [6]

2.2.3.3. Maintenabilité.

Dans des conditions données, la maintenabilité est l'aptitude d'un bien à être maintenu ou rétabli dans un état où il peut accomplir une fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, en utilisant des procédures et des moyens prescrits.

Maintenabilité = être rapidement dépanné

C'est aussi la probabilité de rétablir un système dans des conditions de fonctionnement spécifiées, en des limites de temps désirées, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, en utilisant des procédures et des moyens prescrits.

On trouve plusieurs types de maintenabilité :

- ❖ La maintenabilité intrinsèque : elle est « construite » dès la phase de conception à partir d'un cahier des charges prenant en compte les critères de maintenabilité (modularité, accessibilité, etc.).
- ❖ La maintenabilité prévisionnelle : elle est également « construite », mais à partir de l'objectif de disponibilité.
- ❖ La maintenabilité opérationnelle : elle sera mesurée à partir des historiques d'interventions.

L'analyse de maintenabilité permettra d'estimer le Mean Time To Repair (MTTR) ainsi que les lois probabilistes de maintenabilité.

En effet, la maintenabilité dépend de plusieurs facteurs, synthétiser dans le tableau 1.

Tableau 1- Facteurs influençant la maintenabilité.

Facteurs influençant la maintenabilité.		
Facteurs liés à l'équipement	Facteurs liés au constructeur	Facteurs liés à la maintenance
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Documentation ; ✓ Aptitude au démontage ; ✓ Facilité d'utilisation. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Conception ; ✓ Qualité du service après-vente ; ✓ Disponibilité des pièces de rechange ; ✓ Cout des pièces de rechange. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Formation du personnel ; ✓ Moyens adéquats ; ✓ Maintenance améliorative.

D'autre part, la fonction de répartition est notée $M(t)$ donnée par :

$$M(t) = 1 - e^{-\mu t} \quad (6)$$

Où : (μ) est le taux de réparation tel que cet indicateur est lié au MTTR, donné par :

$$MTTR = \frac{\text{Somme des temps d'intervention pour } n \text{ pannes}}{\text{Nombre de pannes}} \quad (7)$$

$$MTTR = \tau = \frac{1}{\mu} \quad (8)$$

Les calculs prévisionnels de maintenabilité reposent sur l'hypothèse exponentielle, signifiant ici que le taux de réparation est supposé constant. La répartition des TTR est alors exponentielle.

2.2.3.4. Disponibilité.

Connue par l'aptitude d'une entité à être en état d'accomplir les fonctions requises dans les conditions données. Elle se caractérise par la probabilité $A(t)$ ou $D(t)$ d'être en état, à l'instant t , d'accomplir les fonctions requises.

La disponibilité est une synthèse de la fiabilité et de la maintenabilité ; c'est la proportion du temps passé en état de remplir les fonctions requises dans les conditions données.

La disponibilité peut se mesurer :

- ✓ Sur un intervalle de temps donné (disponibilité moyenne),
- ✓ À un instant donné (disponibilité instantanée),
- ✓ À la limite, si elle existe, de la disponibilité instantanée lorsque $t \rightarrow \infty$ (disponibilité asymptotique)

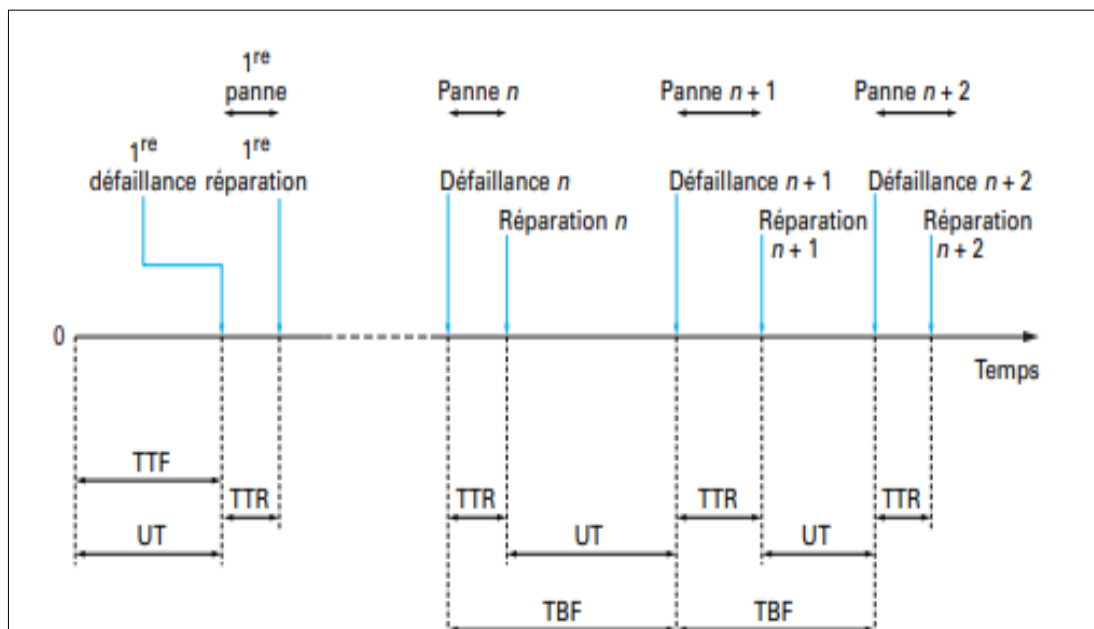


Figure 12– Vie d'un système : évolution dans le temps. [6]

2.2.3.5. Sécurité.

C'est l'aptitude d'une entité à ne pas causer de dommages dans des conditions données ou à ne pas faire apparaître, dans des conditions données, des événements critiques ou catastrophiques.

2.2.4. Autres concepts liés à la SdF.

2.2.4.1. Défaillances.

Selon la norme CEI-271-1974, la défaillance est la cessation de l'aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise. Elle peut être classée de la manière suivante :

- ✓ Défaillance à taux constant : apparaît avec un taux de défaillance sensiblement constant pendant la durée de vie utile de l'entité. Cette défaillance est généralement catalectique.
- ✓ Défaillance de commande : défaillance d'une entité dont la cause est la défaillance d'une autre entité et pour laquelle cette entité a été qualifiée et dimensionnée.
- ✓ Défaillance d'usure : apparaît avec un taux de défaillance rapidement croissant par suite de processus inhérents à l'entité.
- ✓ Défaillance non pertinente : une défaillance à exclure pour l'interprétation ou l'évaluation d'une mesure de la SdF.
- ✓ Défaillance par dégradation : à la fois progressive et partielle, à la longue, défaillance peut devenir une défaillance complète.
- ✓ Défaillance pertinente : à prendre en compte pour interpréter ou évaluer une mesure de la SdF.
- ✓ Défaillance de cause commune : dépendante ayant pour origine la même cause directe.

On peut également classer une défaillance selon le tableau 2. [7]

Tableau 2- Classification des défaillances.

Classification des défaillance		
Selon la cause	Selon le degré	Selon la vitesse d'apparition
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Causes intrinsèques ; ✓ Causes extrinsèques. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Complete ; ✓ Partielle ; ✓ Permanente ; ✓ Fugitive ; ✓ Intermittente. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Soudaine ; ✓ Progressive.

D'autre part, la défaillance est caractérisée par un caractérisée par des modes de défaillance ayant des origines (ou causes) qui induisent des conséquences (ou effets).

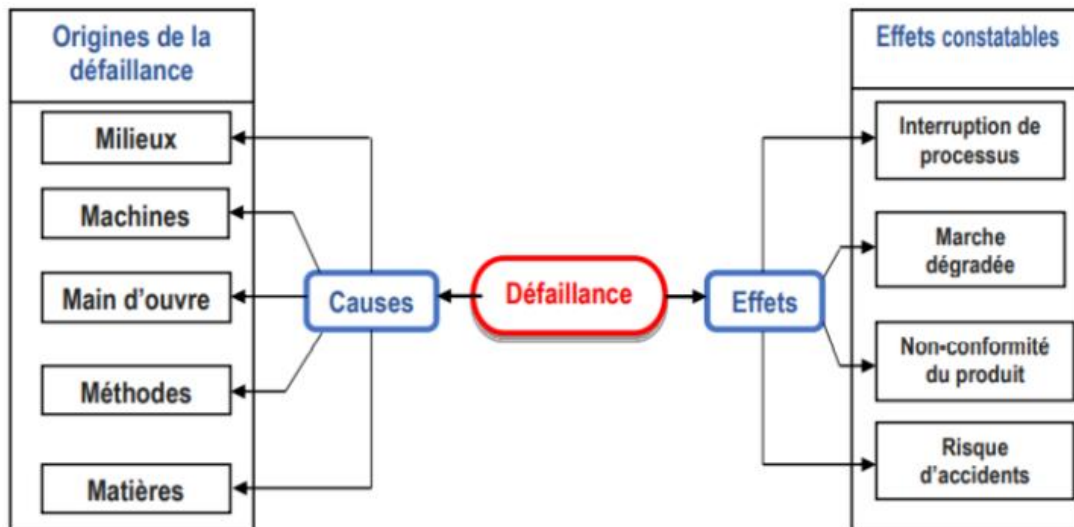


Figure 13- Défaillances, Causes et effets. [7]

❖ Mode de défaillance.

On entend par mode de défaillance, la manière dont une entité technique vient à ne pas fonctionner. Ils sont relatifs à la fonction de service devant être assurée par l'entité en question. Pour une entité technique donnée, sa fonction de service présente quatre situations différentes :

- ✓ La fonction cesse de se réaliser, dans ce cas, le système ne fonctionne plus ;
- ✓ La fonction ne se réalise pas lorsqu'on la sollicite, dans ce cas, le système ne fonctionne pas.
- ✓ La fonction ne se réalise pas parfaitement (altération de performance), dans ce cas, le système marche de moins en moins bien.
- ✓ La fonction se réalise lorsqu'elle n'est pas sollicitée, dans ce cas, le système marche de temps en temps.

Pour une entité considérée, les modes de défaillance sont d'une part fonction de leurs interactions avec leur environnement immédiat, et d'autre part fonction de leurs propriétés et de leurs caractéristiques intrinsèques.

Dans la phase de fonctionnement retenue, on peut identifier les modes de défaillance de l'élément en relation avec les fonctions à assurer. [8]

Il existe trois types de causes amenant le mode de défaillance :

- ✓ Causes internes liées à l'entité étudiée.
- ✓ Causes externes liées à l'environnement, au milieu et à l'exploitation de l'entité étudiée.
- ✓ Causes externes liées à la main d'œuvre.

❖ **Origines des défaillances (causes).**

On entend par origine de défaillance, la cause qui l'a fait apparaître ou qui a provoqué son occurrence. Les origines de la défaillance sont en relation directe avec les facteurs suivants : milieux, machines, main-d'œuvre, matière, méthode.

❖ **Conséquences de la défaillance.**

On entend par conséquences de défaillance, les effets, les résultats ou la suite logique d'un fait, ou d'une action, observables ou constatables sur l'entité étudiée suite à une défaillance. Les effets qui peuvent émaner lors de l'occurrence d'une défaillance, peut être classés comme suit :

- ✓ Effets mineurs : légère dégradation des caractéristiques de l'entité étudiée.
- ✓ Effets significatifs : dégradation notable des marges de sécurité et des qualités de performance de l'entité.
- ✓ Effets critiques : dégradation dangereuse des marges de sécurité.

- ✓ Effets catastrophiques : bris de machine et / ou mort d'hommes.

2.2.4.2. Maintenance.

Depuis la fin de la deuxième guerre mondiale la machine industrielle tourne à une cadence infernale afin de rétablir ce que cette guerre a démolie. Les besoins de l'homme en produits de consommation divers ont augmenté et se sont amplifiés d'une année à l'autre. La complexité et le coût croissant des appareils de production ont entraîné une forte augmentation de leur intensité d'utilisation mettant en évidence le besoin d'une bonne maintenance afin d'assurer une meilleure performance des installations et machines. [9]

D'après l'AFNOR (NF X 60-010) : « Ensemble des actions permettant de maintenir ou rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé ». L'objectif des équipes de maintenance est de maintenir les installations de production en parfait état et d'assurer le rendement global maximum tout en optimisant le coût. Ces objectifs peuvent changer avec le temps, une révision des objectifs et de la politique de l'entreprise doit avoir lieu tous les deux ans.

✓ Objectifs financiers

- Réduire au minimum les dépenses de la maintenance.
- Augmenter au maximum les profits.
- Avoir des dépenses de maintenance en fonction de l'âge des installations et de son taux d'utilisation.

✓ Objectifs opérationnels

- Maintenir les équipements.
- Assurer la disponibilité maximale des installations et des équipements.
- Fournir un service qui élimine la panne à tous les moments à tout prix.
- Pousser à la dernière limite la durée de vie de l'installation.
- Assurer une performance (rendement) de haute qualité.

D'autre part, il existe plusieurs types de maintenance, dont les principaux sont :

- ✓ La maintenance corrective : L'action de maintenance se fait à posteriori, quand une panne se produit sur l'équipement. L'équipement est immobilisé le temps de la réparation. La production s'arrête.
 - Palliative : dépannage.
 - Curative : réparation.

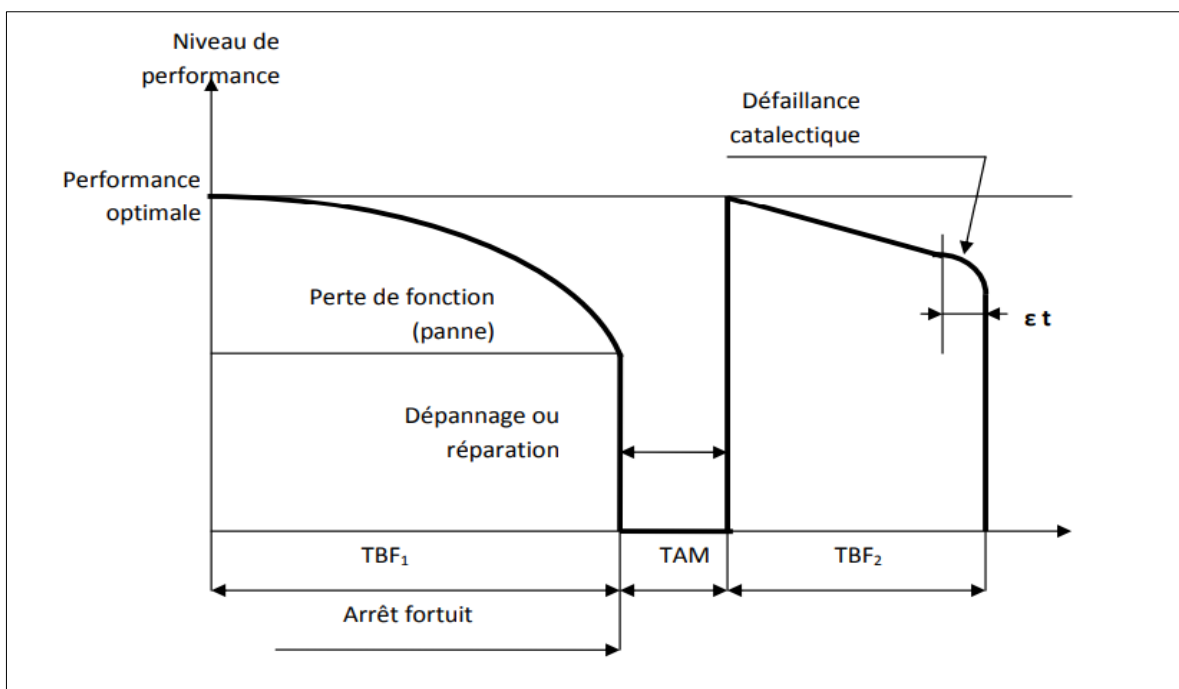


Figure 14– Schématisation de maintenance corrective. [9]

- ✓ La maintenance préventive : L'action de maintenance se fait à priori, pendant les phases où l'équipement n'est pas utilisé:
 - Systématique: Les pièces d'usure sont remplacées avant de casser selon une période définie par un planning.
 - Conditionnelle : selon l'état d'un indicateur d'usure.

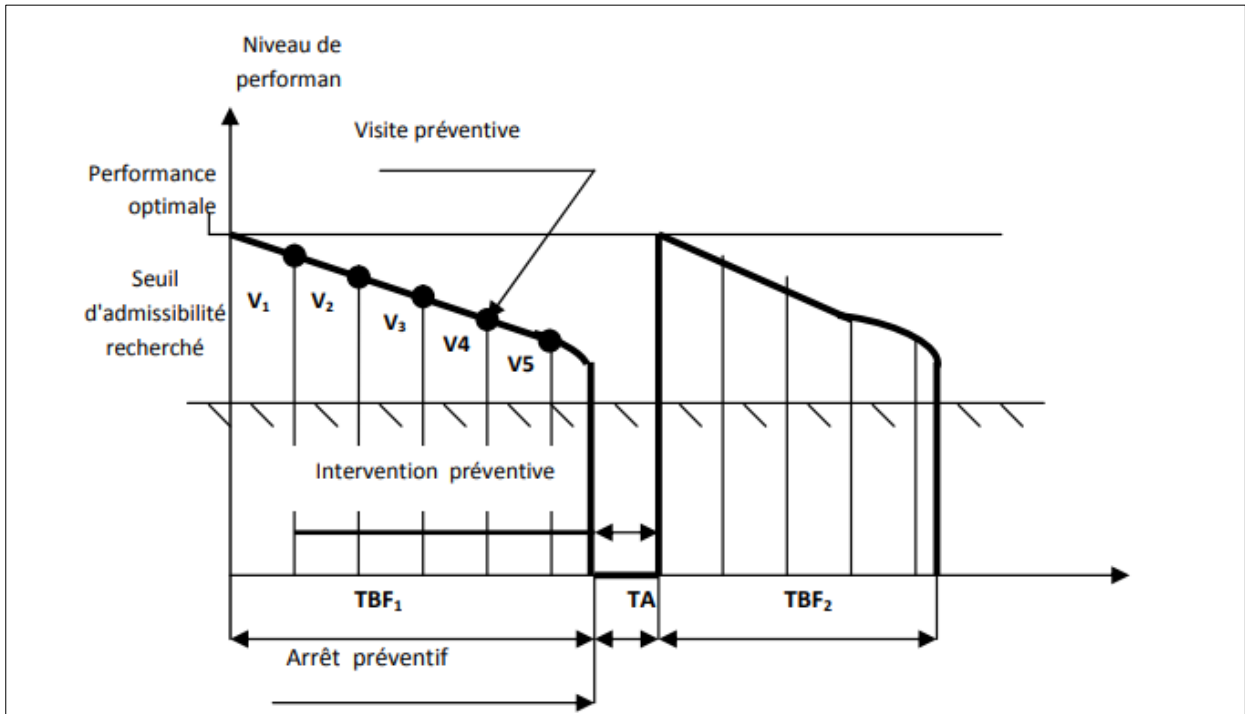


Figure 15– Schématisation de maintenance préventive. [9]

Afin de synthétiser les types de maintenance et la relation entre ces dernières on se base sur la figure 16.

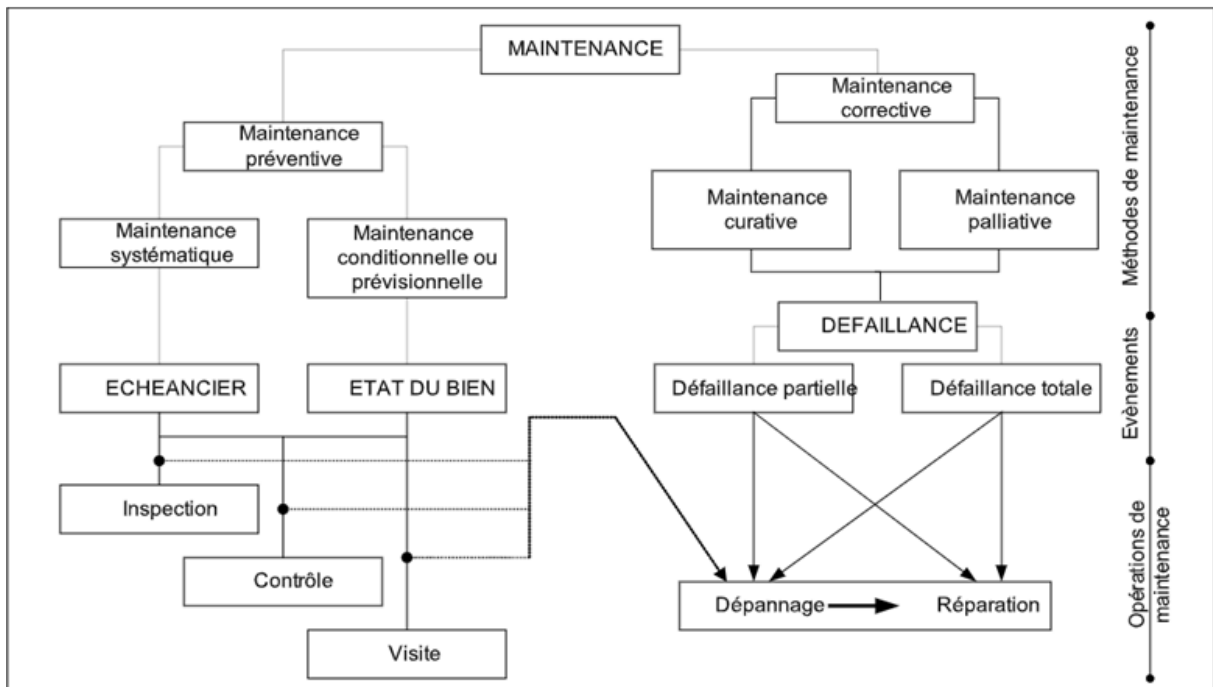


Figure 16– Relations entre les types de maintenance. [9]

❖ **Présentation du département maintenance de BOMARE COMPANY. [10]**

Au cœur de BOMARE COMPANY, le département maintenance se positionne comme un pilier essentiel, garantissant la fluidité des opérations et la longévité des équipements. Dans cette partie de notre étude, nous explorerons les divers aspects liés à l’organisation de

ce département, y compris sa structure, ses fonctions principales, et son importance stratégique.

Le département de maintenance est structuré selon l'organigramme représenté dans la figure 17.

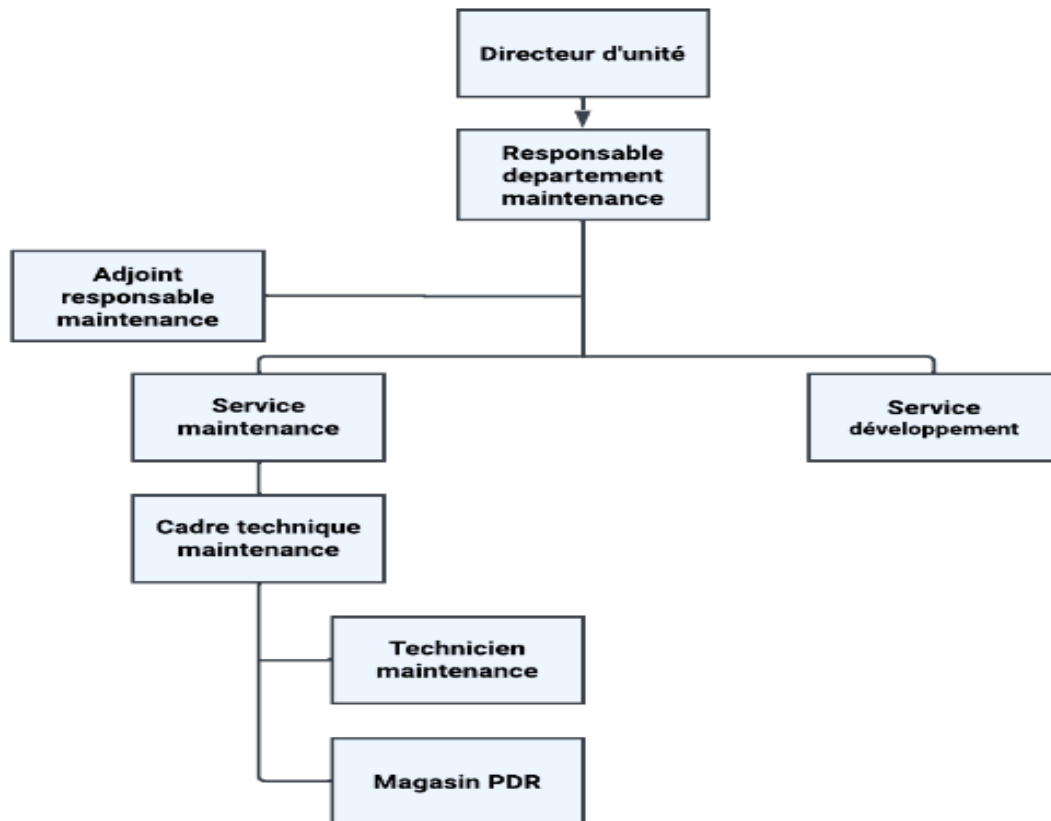


Figure 17– Organigramme structurel du département de maintenance. Réf document interne (manuel de maintenance).

L'organigramme est organisé de manière hiérarchique, avec le directeur d'unité au sommet, suivi du responsable du département maintenance, de l'adjoint au responsable maintenance, et des différents services du département.

- **Directeur d'unité** : Le directeur d'unité est responsable de l'ensemble du département maintenance. Il définit la stratégie du département, supervise les activités et alloue les ressources.
- **Responsable du département maintenance** : Le responsable du département maintenance est responsable de la gestion quotidienne du département. Il met en œuvre la stratégie du directeur d'unité, dirige l'équipe de maintenance et assure la liaison avec les autres départements de l'entreprise.
- **Adjoint au responsable maintenance** : L'adjoint au responsable maintenance assiste le responsable dans ses tâches quotidiennes. Il peut également être responsable de la gestion d'un service spécifique du département.
- **Service maintenance** : Le service maintenance est responsable de l'entretien et de la réparation des équipements de l'entreprise. Il comprend des techniciens de maintenance, des spécialistes en maintenance préventive et des ingénieurs de maintenance.

- Service développement : Le service développement est responsable de l'amélioration des processus de maintenance et de l'intégration de nouvelles technologies. Il comprend des ingénieurs et des techniciens spécialisés dans la maintenance.

L'organigramme montre également les liens hiérarchiques entre les différents postes du département maintenance. Par exemple, le responsable du département maintenance est responsable de l'adjoint au responsable maintenance et des chefs des services maintenance et développement.

Le département de maintenance exécute une série de missions essentielles pour maintenir l'entreprise à son plus haut niveau de performance, et pour cela des procédures internes de maintenance ont été élaborées.

- ✓ Procédure de maintenance curative : la maintenance curative consiste à intervenir sur un équipement après qu'il soit tombé en panne. Bien qu'elle soit souvent la solution la plus coûteuse et la plus perturbatrice, elle reste parfois nécessaire pour remédier à des défaillances imprévues. La figure 18 montre la procédure à suivre pour effectuer de la maintenance curative au sein de BOMARE COMPANY.
- ✓ Procédure de maintenance préventive : La maintenance préventive est une stratégie proactive qui consiste à entretenir régulièrement les équipements et les installations pour prévenir les pannes imprévues et coûteuses. La figure 19 montre la procédure à suivre pour effectuer de la maintenance préventive au sein de BOMARE COMPANY.
- ✓ Procédure d'analyse des pannes : L'analyse des pannes est une démarche méthodique visant à identifier la cause première d'un dysfonctionnement ou d'une défaillance d'un système, d'un équipement ou d'un processus. La figure 20 montre la procédure à suivre pour effectuer l'analyse des pannes au sein de BOMARE COMPANY.

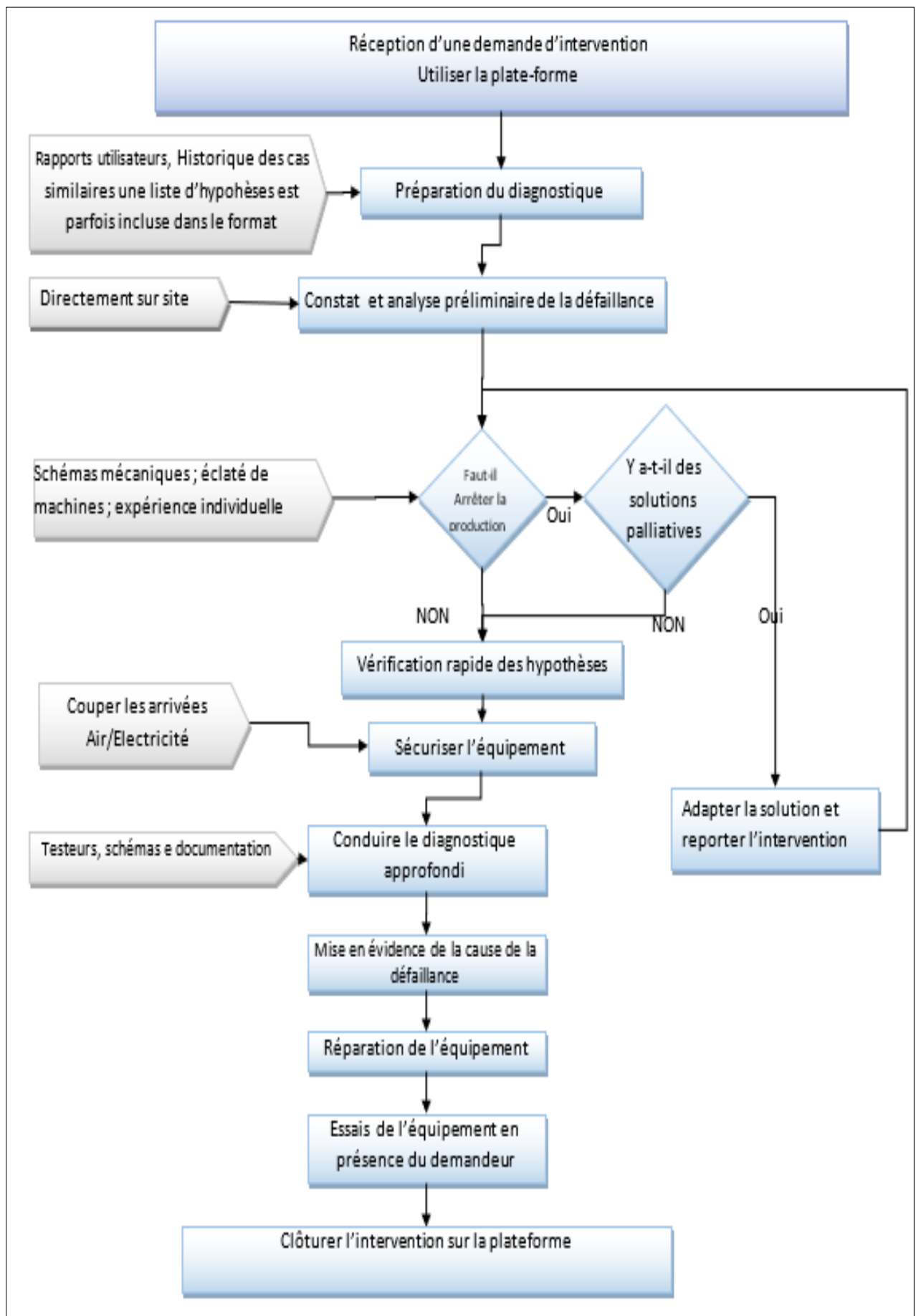


Figure 18-Procédure de la maintenance curative. Réf document interne (manuel de maintenance).

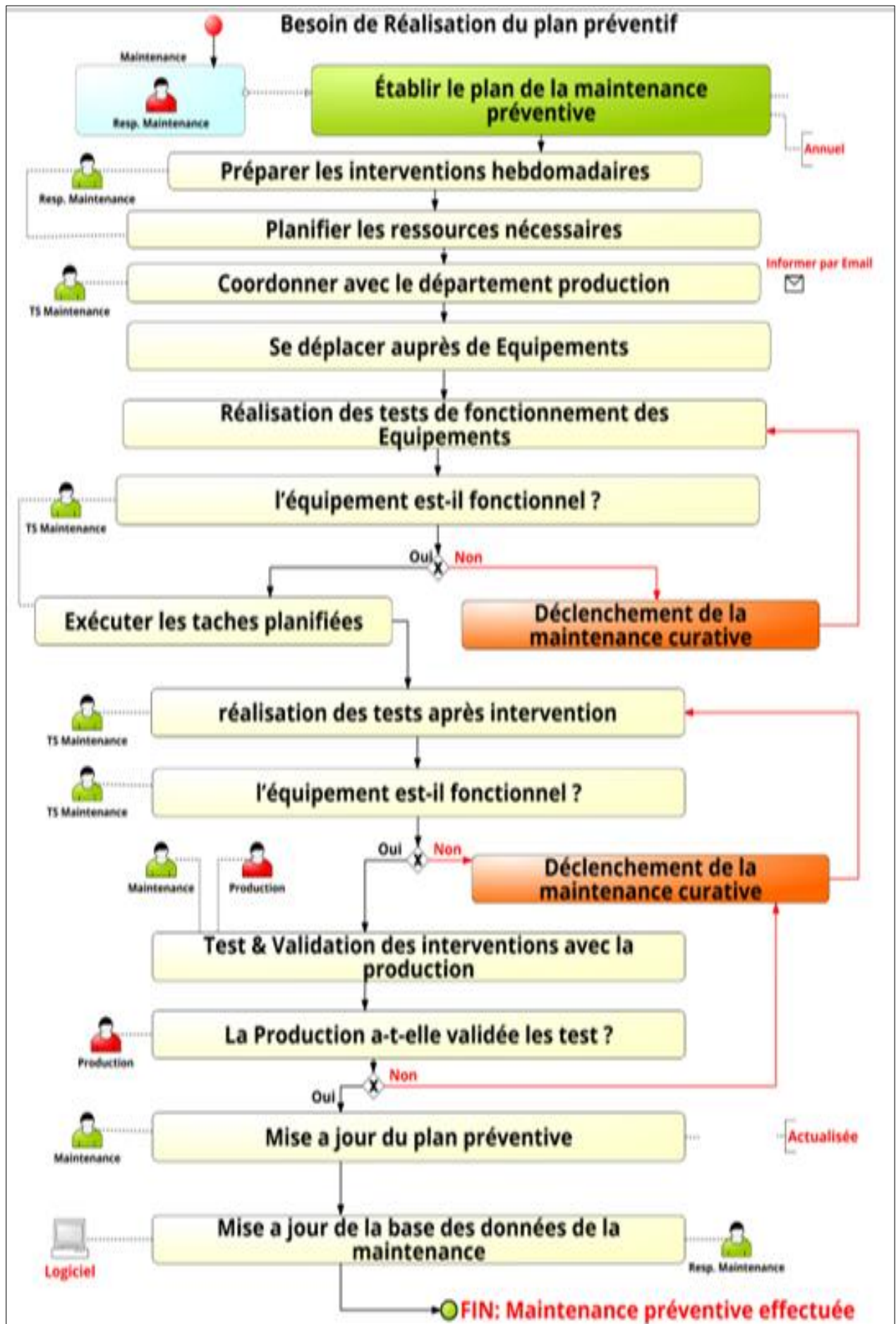


Figure 19– Procédure de la maintenance préventive. Réf document interne (manuel de maintenance).

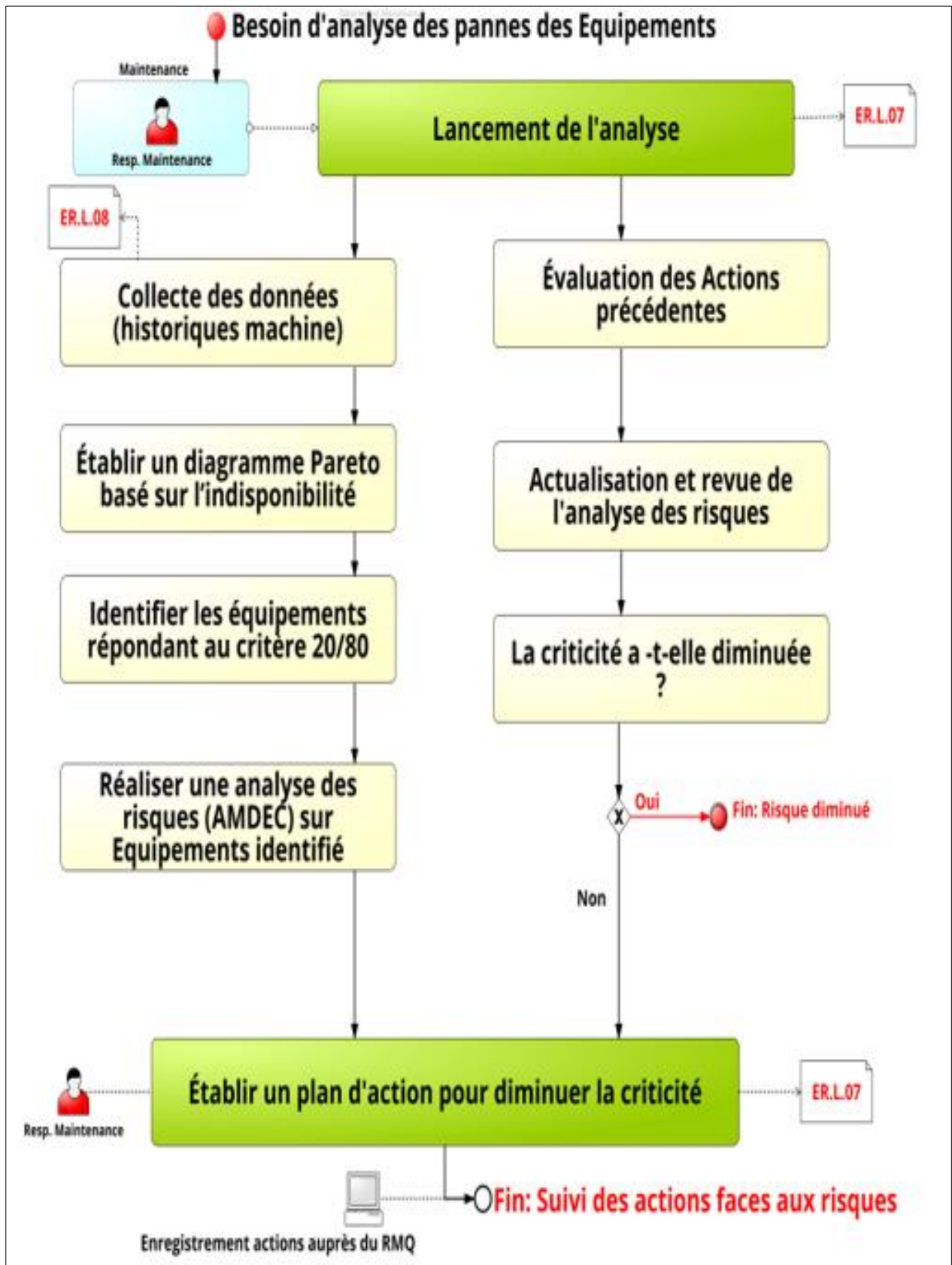


Figure 20– Procédure d'analyse des pannes. Réf document interne (manuel de maintenance).

Le département de maintenance n'est pas seulement un support technique, mais aussi un contributeur clé à la compétitivité de BOMARE COMPANY. En optimisant les performances des équipements et en réduisant les coûts opérationnels, la maintenance influence directement la productivité et la rentabilité de l'entreprise.

2.2.5. Méthodes et approches utilisées en SdF.



Figure 21– Méthodes d'une approche de sûreté de fonctionnement.

L'évaluation de la SdF repose sur deux méthodes principales : les méthodes qualitatives et les méthodes quantitatives. Ces deux approches sont alimentées en grande partie par l'expérience pratique accumulée au fil du temps. [11]

2.2.5.1. Les méthodes qualitatives.

Les méthodes qualitatives s'appuient sur des techniques telles que l'analyse fonctionnelle (AF) et L'analyse des modes de défaillances et leurs effets et criticité (AMDEC).

❖ L'analyse fonctionnelle.

L'AF est une démarche qui consiste successivement à mettre en évidence les fonctions du produit répondant aux besoins exprimés ; c'est l'AF externe et à établir les relations entre les fonctions et les solutions techniques permettant de les réaliser, c'est l'AF interne. [11]

L'AF permet de :

- ✓ S'assurer que les besoins exprimés sont bien pris en compte ;
- ✓ Comprendre et formaliser le fonctionnement d'un système ;
- ✓ Intégrer dans la réflexion les contraintes de conception, de fabrication, de coût ;
- ✓ Introduire les premiers objectifs sur les performances associées aux fonctions de service ou aux fonctions techniques ;
- ✓ Servir d'entrée aux AMDEC et aux modélisations.

L'analyse fonctionnelle est essentiellement utilisée dans les phases de faisabilité, de définition et de développement afin d'orienter des choix de conception de produit.

❖ L'AMDEC.

Consiste à rechercher de manière systématique les différents modes de défaillance des fonctions et composants du système, leurs causes, leurs effets au niveau du système ou à un niveau supérieur (AMDE). [11]

En prolongeant l'analyse par l'évaluation de la criticité des modes (C), on hiérarchise les modes et par conséquent les composants sensibles. L'AMDEC permet de mettre en évidence les composants critiques pour le fonctionnement du système, et définir les actions correctives et/ou préventives adéquates (au niveau de la conception, de la fabrication, de l'exploitation ou de la maintenance) et de préparer des modélisations ou d'autres études ultérieures.

Pour mettre en place la méthode AMDEC dans une entreprise, il est essentiel de suivre plusieurs étapes clés :

- ✓ Constituer le groupe de travail : Constituer un groupe d'experts provenant de divers services tels que la production, la maintenance, la qualité et les méthodes pour garantir une analyse complète et objective
- ✓ Définir le périmètre de l'étude : Préciser clairement ce qui sera analysé pour éviter toute dispersion et se concentrer sur les éléments pertinents
- ✓ Identifier les modes de défaillance : Relever les différentes manières dont un système peut dysfonctionner, en se posant des questions sur les causes potentielles et les effets des défaillances
- ✓ Évaluer la criticité des défaillances : Déterminer la gravité des effets, la fréquence d'apparition et la capacité de détection des défaillances pour évaluer leur criticité
- ✓ Trouver des solutions : Une fois l'analyse AMDEC réalisée, le groupe de travail doit proposer des actions préventives, correctives ou d'amélioration pour traiter les défaillances identifiées et suivre leur efficacité

Les résultats sont généralement représentés sous forme d'un tableau, comme l'indique la figure 22.

Fonction du produit	Mode de défaillance	Effet de la défaillance	Causes possibles de la défaillance	Evaluation				Actions préventives		Résultats				
				Détection	Occurrence	Gravité	Criticité	Recommandées	Mises en places	Détection	Occurrence	Gravité	Nouvelle criticité	

Figure 22-Tableau type de l'AMDEC. [13]

2.2.5.2. Méthodes quantitatives.

Les méthodes quantitatives, souvent utilisées à travers des outils logiciels, peuvent être classées en plusieurs groupes : les méthodes de type algébrique ou logique, les méthodes fondées sur les « ensembles minimaux », et les méthodes reposant sur des processus stochastiques.

❖ Les méthodes de type algébrique ou logique :

Ces méthodes, comme les blocs-diagramme de fiabilité représentés dans la figure 23, font appel à la décomposition fonctionnelle du système et aux règles classiques de calcul des probabilités. Les blocs-diagramme de fiabilité, adaptés aux systèmes dont la découpe technique est proche de la découpe fonctionnelle, permettent l'évaluation de la fiabilité par blocs et rendent ainsi possible la mise en évidence de composants critiques ou l'allocation de fiabilité. Ils ne permettent pas de modéliser les phénomènes dynamiques (séquentiels et temporels). [11]

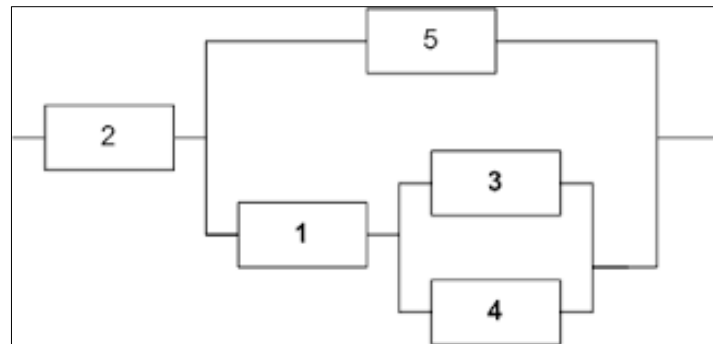


Figure 23– Blocs-diagramme de fiabilité.

❖ Les méthodes fondées sur les « ensembles minimaux » :

Ces arbres de défaillances et arbres d'événements sont largement utilisés pour quantifier la fiabilité et la disponibilité des systèmes en cours de développement ou en exploitation.

L'arbre de défaillances d'un événement redouté se construit en recherchant les différentes défaillances et combinaisons logiques de défaillances conduisant à l'événement redouté en remontant jusqu'aux défaillances élémentaires des composants.

La connaissance des probabilités d'occurrence des défaillances conduit à l'estimation de la probabilité d'occurrence de l'événement redouté.

Les arbres de défaillances permettent le calcul de la fiabilité pour les systèmes irréparables, de la disponibilité pour les systèmes réparables. Ils mettent en évidence les modes communs. Leur construction nécessite une très bonne connaissance du système (une AMDE préalable est conseillée). Cependant, les arbres de défaillances prennent difficilement en compte l'aspect séquentiel des événements, ainsi que l'aspect dynamique, et ne se prêtent pas facilement à une vérification de leur exhaustivité. [15]

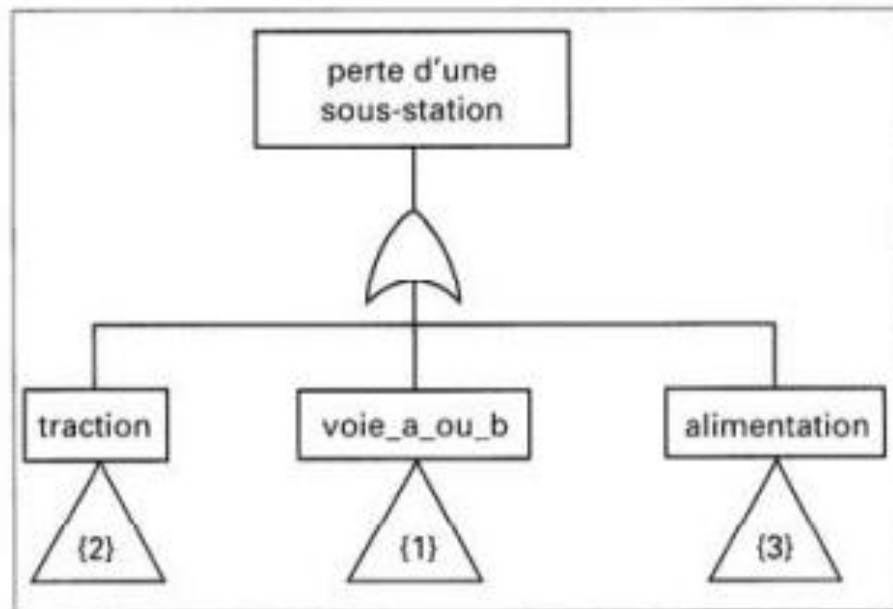


Figure 24– Représentation d'un arbre de défaillances.

❖ Les méthodes reposant sur des processus stochastiques :

Les méthodes reposant sur des processus stochastiques, tels que les graphes de Markov, quantifient la fiabilité, la disponibilité et la maintenabilité d'un matériel ou d'un système, mais trouvent rapidement leur limite pour des systèmes importants.

Ces graphes représentent les différents états du système (nominal, dégradé, en panne, en réparation, chacun de ces états étant représenté par un cercle), ainsi que les transitions entre états (représentées par des flèches).

À chaque transition est associée une probabilité de transition (probabilité de défaillance, ou de remise en état), qui permet d'estimer la probabilité de se trouver dans un quelconque des états.

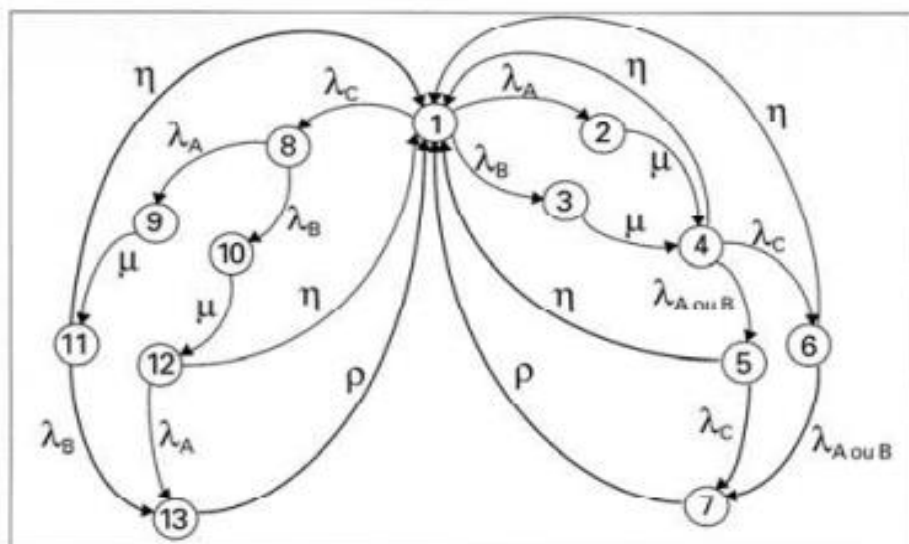


Figure 25– Processus stochastique.

2.2.5.3. Retour d'expérience.

Les méthodes qualitatives comme les méthodes quantitatives s'appuient largement sur le retour d'expérience, dont les rôles sont de :

- ✓ Mémoriser (les incidents vécus, la connaissance des experts..., en créant des bases de données) ;
- ✓ Analyser (la base de données pour donner un résultat synthétique sur le comportement du matériel) ;
- ✓ Transmettre (des données élaborées standards
- ✓ Taux de défaillance par exemple
- ✓ Aux concepteurs, exploitants, mainteneurs).

En phase opérationnelle, l'analyse statistique des dysfonctionnements permet d'estimer les taux de défaillance opérationnels des matériels, lesquels varient suivant le type de matériel, le profil d'utilisation et l'environnement.

Les valeurs obtenues par le retour d'expérience sont capitalisées dans un recueil de données interne à l'entreprise, voire diffusées à l'extérieur, et sont utilisées pour alimenter les modèles décrits précédemment. Le retour d'expérience permet ainsi d'effectuer un bouclage sur les démarches de la sûreté de fonctionnement.

Dans le présent chapitre, nous abordons les différents concepts et définitions liés à la sûreté de fonctionnement, ainsi que les différentes lois et méthodes de calculs afin de s'en servir dans le chapitre suivant.

D'autre part, nous allons explorer la fonction de maintenance au sein de l'entreprise à partir de l'organisation de la structure responsable jusqu'aux procédures et différents types de maintenance effectués sur le système étudié, ce qui nous servira pour les prochains chapitres.

Chapitre III: Définition du système étudié.

Chapitre III : Définition du système étudié.

La première étape d'une étude réussie, consiste à définir le système étudié d'une manière à englober tous les aspects liés à ce dernier. Pour notre cas, la ligne de production des cartes électroniques de type (SMT) fonctionne selon un processus bien défini, qui dépend de plusieurs machines, entrées et sorties de différents types et aussi des interventions humaines essentielles pour le maintien du bon fonctionnement. C'est pour cette raison que nous allons, dans le présent chapitre, définir notre système d'étude par le biais de trois méthodes, que chacune s'intéresse à un, ou plusieurs, facteur caractérisant ce système.

Commençons par l'élaboration d'un diagramme (SIPOC), qui signifie Fournisseurs, Entrées, Processus, Sorties et Client, ce diagramme permet de connaître en détail chaque étape du processus de fabrication des cartes électroniques. Ensuite nous allons détailler les interactions entre les différents agents de production ainsi que les machines responsables de chaque étape du processus à travers l'élaboration du Cross Functional Diagram (CFD).

En se basant sur les résultats des deux méthodes, on élabore un Work Breakdown Structures (WBS), qui est une méthode qui détaille les activités du processus défini dans le SIPOC et ainsi nous allons pouvoir déterminer les activités critiques qui influencent sur le temps de production et le type de mesures amélioratives adéquates pour répondre aux objectifs du projet.

3.1. Diagramme SIPOC.

Le diagramme SIPOC est souvent une partie importante de l'étape de définition d'un processus, afin d'en savoir plus sur un processus ou comprendre comment un processus dans un environnement d'entreprise est lié à d'autres processus.

Selon sa définition, les fournisseurs sont les personnes, les processus et les organisations qui fournissent des intrants à votre processus. Les clients sont les personnes, les processus et les organisations qui utilisent les résultats du processus. Le processus lui-même est la série d'étapes qui prennent les entrées et les font sortir.

Le diagramme SIPOC peut être créé en une seule session de brainstorming, bien qu'un diagramme efficace nécessite généralement la présence d'un propriétaire de processus et d'un ou plusieurs experts qui le connaissent au quotidien. [13]

Il est également infiniment évolutif. Les équipes peuvent schématiser les processus à un niveau infime, pour notre cas le diagramme a été élaboré pour définir la ligne de production SMT qui servira par la suite à développer un WBS détaillé de cette ligne.

L'élaboration du diagramme SIPOC relatif à la ligne de production SMT a été faite en tenant compte des explications des ingénieurs de processus et des opérateurs machines, et en se basant sur la description globale de la ligne de production.

3.1.1. Description globale de la ligne de production SMT.

Le processus de fabrication est constitué de trois étapes fondamentales, qui sont :

- ✓ Le processus de sérigraphie : consiste à appliquer la pâte braser sur la carte PCB;
- ✓ Le processus d'insertion : consiste à mettre les composants électroniques sur la carte PCB, en dessus des zones recouvertes par la pâte à braser;
- ✓ Le processus de soudage : consiste à souder les composants électroniques sur la carte PCB.

De plus, un processus d'inspection et de contrôle est mis en place entre chacun des processus abordés auparavant. La figure 26 présente une schématisation de notre ligne SMT.

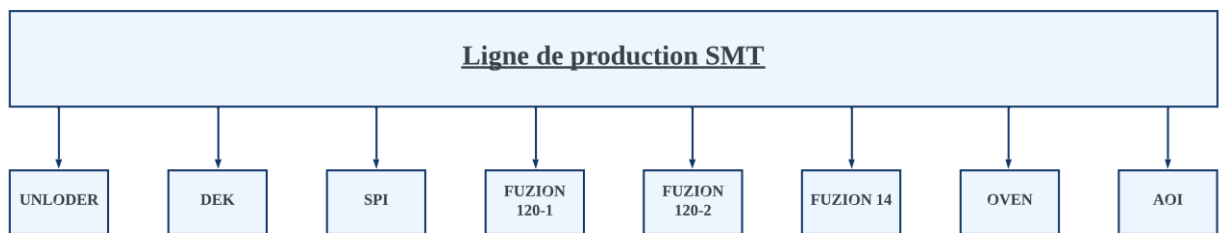




Figure 26- Composition de la ligne SMT.

Ces étapes sont assurées par des machines robustes, d'origine différentes dont le tableau 3 donne une vue globale sur ces dernières.

Tableau 3- Ligne SMT.

Nom de la machine	Nombre	Photo	Type de processus
Loader	1		Implémentation

DEK	1		Sérigraphie
SPI	1		Contrôle et inspection
Fuzion Universal 120	2		Insertion
Fuzion-14	1		Insertion

Oven	1		Soudage
AOI	2		Contrôle et inspection

3.1.2. Élaboration du diagramme SIPOC de la ligne SMT.

Afin de créer un diagramme SIPOC il est utile de suivre les étapes suivantes :

- ✓ Créer des colonnes de tableau
- ✓ Déterminer les limites et nommer les processus
- ✓ Remplir les colonnes
- ✓ Déterminer les sorties et les clients
- ✓ Déterminer les intrants et les fournisseurs
- ✓ Valider les renseignements

En suivant ces étapes, nous avons réussi à élaborer le diagramme en question relatif à la ligne de production décrite ci-dessus. Le tableau contenant les résultats du diagramme SIPOC est représenté en **annexe 1**.

❖ Interprétation du diagramme SIPOC.

Suite à l'élaboration du diagramme SIPOC on constate que la continuité du processus de fabrication des cartes électroniques au sein de la ligne SMT dépend de plusieurs paramètres notamment la qualité, la quantité nécessaire et la disponibilité de la matière première (Carte mères vierges, pâte à souder, papier stencil, bobines de composants, nozzles...etc.).

D'autre part, on constate que chaque processus dépend principalement d'une machine de la ligne de production qui sont en série, car le client d'un processus est le fournisseur du processus suivant. Ainsi on constate qu'il suffit qu'une machine n'assure pas sa fonction on se retrouve face à un arrêt total de la production ce qui vient accentuer le rôle important des machines et incite à prendre les mesures nécessaires afin d'optimiser la disponibilité et maîtriser les perturbations de la ligne de production afin d'assurer la continuité de l'activité de l'entreprise.

En outre, à travers la visualisation de la colonne « Processus » on constate que chacun des sept processus est une séquence de quatre à 7 étapes assurées, selon le cas, par la machine ou un acteur de production. On conclut ainsi que l'interaction entre les différents acteurs de production (opérateurs, magasiniers...etc.) et les machines est primordiale pour assurer le bon fonctionnement de la ligne de production ce qui mène à la nécessité de détailler ces interactions de manière plus explicite à travers le CFD dans la partie suivante.

Enfin, les étapes de chaque processus sont des activités caractérisées par un temps bien défini, qui constitue un détail pertinent de notre étude, et que malheureusement le diagramme SIPOC ne définit pas, ce qui nous mène à élaborer un WBS par la suite de notre étude en se basant sur les résultats du SIPOC.

3.2. Cross functional diagram (CFD).

C'est un format de carte de processus, ce diagramme est en quelque sorte un organigramme contraint par des lignes et des colonnes. Il peut être conçu selon le besoin afin de mieux représenter le processus. [17]

Pour notre cas le CFD est élaboré afin de définir le système au point de vue des acteurs de production en détaillant les tâches de chaque acteur de production notamment les ingénieurs, les opérateurs, magasiniers et chef d'unité afin de mieux comprendre le fonctionnement de la ligne de production et connaître les principaux acteurs qui interviennent, ainsi que la relation entre eux et les machines.

Afin d'élaborer le CFD, on se base principalement sur les résultats du diagramme SIPOC, ainsi que le tableau 2. En suivant les étapes suivantes :

- ✓ Définir le processus et ses composants
- ✓ Créer un point de départ
- ✓ Créer les colonnes

- ✓ Suivre les étapes
- ✓ Choisir un outil de schématisation du diagramme

Les schémas obtenus par l'application du CFD sur la ligne de production sont représentés en **annexe 2**.

❖ **Interprétation du CFD de la ligne SMT.**

Suite à l'élaboration du CFD on constate qu'il y a une grande interaction entre les acteurs de production et que chacun a un rôle précis afin d'assurer le bon fonctionnement de la ligne de production.

D'autre part on constate que l'élaboration du CFD nous a permis de prendre en compte le processus de réception de la matière première, qui précède le processus d'implémentation considéré étant le premier dans le diagramme SIPOC, qui peut être l'origine d'un temps d'arrêt important de la ligne de production. Ainsi le CFD est constitué de **08 processus**, contrairement du SIPOC qui est constitué de 07 ce qui traduit la précision du CFD.

À travers ce diagramme, on peut une traçabilité sur chaque activité. L'accomplissement d'un processus dépend du nombre de départements qui varie selon la complexité et l'importance de ce dernier, prenons l'exemple du processus de réception de la matière première, il est lié à 04 départements différents et 05 acteurs de production ce qui traduit la complexité de cette étape en termes d'organisation et de maîtrise des délais relatifs.

Contrairement au reste des processus, on remarque qu'ils dépendent d'un seul département, qui est le département de production, ce qui facilite la maîtrise organisationnelle de ces processus, c'est-à-dire que si on rencontre un arrêt de production causer par l'un de ces processus, il est évident que ce temps d'arrêt est relatif à la disponibilité de la machine ou un problème organisationnel interne.

Enfin, on constate que le nombre d'acteurs impliqués dans un processus ne reflète pas la complexité d'un processus, à titre d'exemple, il est évident que le processus de soudage est plus important que le processus de contrôle de sérigraphie sauf que le premier dépend seulement de la machine alors que le deuxième fait intervenir 03 acteurs notamment la machine SPI, l'ingénieur de processus et l'opérateur machine.

Afin de confirmer ces hypothèses concernant la complexité des processus, nous procédons par la suite dans ce chapitre à élaborer un WBS tenant compte du retour d'expérience de l'ensemble du personnel impliqué dans cette production.

3.3. Work breakdown structures (WBS).

Le WBS est un élément fondamental pour la réussite d'un projet qui sert de base à la planification, à l'exécution, au contrôle et au suivi efficaces du projet. Tous les travaux et les éléments inclus doivent être identifiés, estimés, planifiés et budgétés.

Les propriétaires d'entreprise et les chefs de projet utilisent le WBS pour rendre les projets complexes plus gérables.

En décomposant le projet en éléments plus petits et plus faciles à gérer, cet outil permet une meilleure estimation et un meilleur suivi des coûts, des ressources et du calendrier.

Le but de l'application de cet outil à mon projet et de bien cerner les éléments et les tâches critiques de la ligne de production des cartes électroniques en termes de durée d'exécution et préparation de chaque étape cela permettra de déterminer les activités complexes qui feront l'objet de notre étude.

3.3.1. Organigramme technique (OT). [18]

L'OT comporte 37 activités telles que présentées dans la figure 27 ci-dessous. Cet organigramme nous donne une vue d'ensemble des différentes activités figurant dans le cadre de la fabrication des cartes électroniques. Il est regroupé selon 3 niveaux :

- ✓ Niveau 1 : La ligne de production des cartes électroniques de type SMT.
- ✓ Niveau 2 : Les machines constituant la ligne de production.
- ✓ Niveau 3 : les tâches effectuées lors du passage de la carte mère par chaque machine.

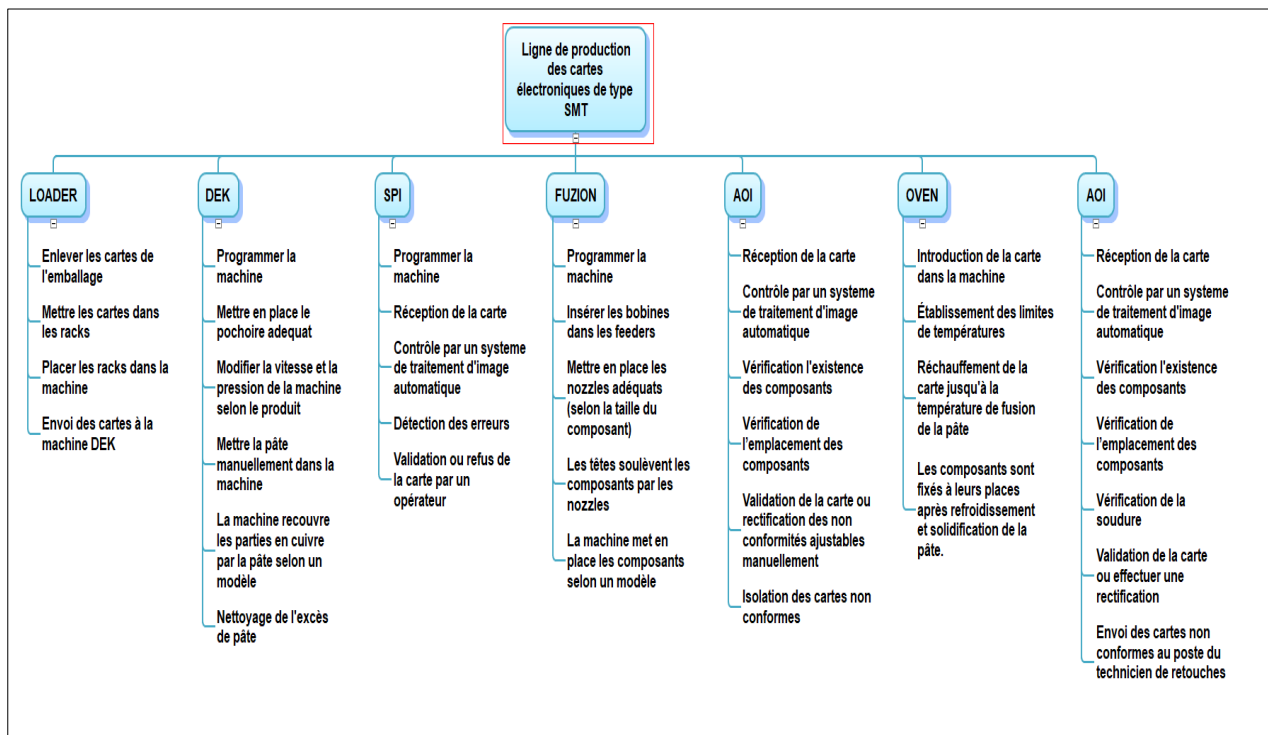


Figure 27– Forme de l'organigramme technique.

Chaque activité est décrite de la manière suivante:

Figure 28– Description des activités sur l’organigramme.

Pour notre cas d'étude on s'intéresse à la durée de chaque activité.

3.3.2. Dictionnaire de l’organigramme technique.

Ce dictionnaire représente les caractéristiques et définitions des principales activités du projet que l’on retrouve sur l’organigramme technique. Vu le nombre important des activités figurant dans l’organigramme, on s’intéresse seulement aux éléments du niveau 2.

Tableau 4– Dictionnaire de l’organigramme technique de l’élément Loader.

Index: 1.1	WBS niveau : 2
WBS élément : Loader	
Département en charge : Production	
Description de la tâche : L'opérateur déballe les cartes puis met 50 cartes par Rack qui est par la suite placé dans la machine LOADER. La machine envoie les cartes une par une à la machine suivante (DEK) automatiquement.	

Tableau 5– Dictionnaire de l’organigramme technique de l’élément DEK.

Index: 1.2.	WBS niveau : 2.
WBS élément : DEK.	
Département en charge : Production.	
Description de la tâche : La machine DEK reçoit la carte mère la met en place dans le pochoir, l'opérateur met une quantité de pâte à souder qui est par la suite étalée par la machine afin de recouvrir les parties en cuivre de la carte mère qui servira de base pour les composants insérés	

Tableau 6– Dictionnaire de l'organigramme technique de l'élément SPI.

Index: 1.3	WBS niveau : 2
WBS élément : SPI	
Département en charge : Production	
<p>Description de la tâche : La machine SPI reçoit la carte la prend en photo par une caméra 3D puis procède à un traitement d'image par le biais d'un programme et détecte ainsi les non conformités par rapport au modèle attribué liées à l'application de la pâte à souder sur la carte mère.</p>	

Tableau 7– Dictionnaire de l'organigramme technique de l'élément Fuzion.

Index: 1.4	WBS niveau : 2
WBS élément : Fuzion	
Département en charge : Production	
<p>Description de la tâche : Chaque tête de la machine insère un nombre bien précis des composants contenus dans les spindles procurés à partir des bobines et cela par le biais des nozzles adéquats contenus dans des chargeurs selon un modèle précisé dans le programme.</p>	

Tableau 8– Dictionnaire de l'organigramme technique de l'élément AOI-1.

Index: 1.5	WBS niveau : 2
WBS élément : AOI-1	
Département en charge : Production	
<p>Description de la tâche : La machine reçoit la carte, la prend en photo puis procède à un contrôle par traitement d'image automatique afin de vérifier l'existence et le bon emplacement des composants insérés.</p>	

Tableau 9– Dictionnaire de l'organigramme technique de l'élément Oven.

Index: 1.6	WBS niveau : 2
WBS élément : Oven	
Département en charge : Production	
<p>Description de la tâche : La machine reçoit la carte puis procède à une variation de température (passage par des zones chaudes ensuite des zones froides) afin de souder les composants sur la carte mère.</p>	

Index: 1.7	WBS niveau : 2
WBS élément : AOI-2	
Département en charge : Production	
Description de la tâche : La machine reçoit la carte, la prend en photo puis procède à un contrôle par traitement d’image automatique afin de vérifier l’existence et le bon emplacement des composants insérés et aussi contrôle la soudure.	

❖ **Interprétation des résultats du WBS.**

En exploitant les durées des activités du WBS on remarque que le processus de fabrication est divisé en trois catégories :

- ✓ Temps nécessaire pour les activités manuelles;
- ✓ Temps nécessaire pour les activités assurées par les machines;
- ✓ Temps masqué : concerne les activités de programmation des machines, modifications des paramètres des machines (vitesse, pression, température...etc.) et aussi la préparation d’un nouveau produit qui nécessite l’insertion de nouvelles bobines et autres composants de machines, les nozzles par exemple.

Pour la fabrication d’une carte PCB la durée moyenne nécessaire pour assurer la partie manuelle du processus est d’environ 11 minutes, contrairement à la partie assurée par les machines est d’une durée d’environ 7 minutes. La variation de ces valeurs dépend du type du produit.

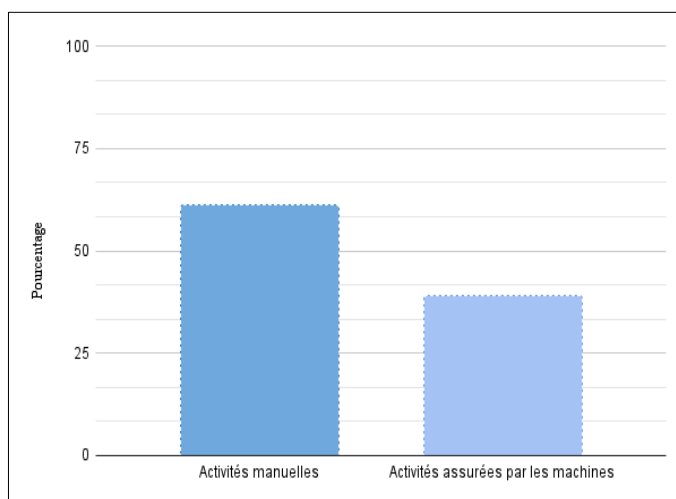


Figure 29– Distribution du temps de production entre les activités manuelles et les activités assurées par les machines.

D’autre part, le temps masqué est relatif au temps de programmation des différentes machines, cette étape se déroule de la manière suivante, et diffère selon la machine :

- ✓ Programmation DEK :

- Entrer les coordonnées de PCB (dimension de PCB, les positions (x, y) des points de mire)
- Ajuster les paramètres de pression et vitesses.
- ✓ Programmation SPI :
 - Copier le Fichier Gerber du PCB dans le PC;
 - Ouvrir l'application et le fichier de Gerber ;
 - Entrer les coordonnées de PCB (dimensions, et les points de mires.);
 - Supprimer les zones non nécessaires dans le programme pour optimiser le temps d'inspection;
 - Ajuster les paramètres de contrôle (Air, volume, hauteur, Bridge, Offset.).
- ✓ Programmation Machine insertion
 - Vérifier la documentation technique (BOM liste, CAD files.);
 - Définir le PCB dans logiciel machine;
 - Définir les nouveaux composants dans le logiciel de machine;
 - Créer le programme à partir de BOM liste et CAD file;
 - Définir les points de mire de PCB;
 - Optimiser le programme pour avoir le meilleur temps d'exécution.

Après le lancement de production :

- Teacher les emplacements des composants sur la carte;
- Teacher les feeders;
- Insérer la première carte;
- Test et validation de la première carte;
- Lancement de masse production.
- ✓ Programmation AOI
 - Copier le programme de machine sous format CSV
 - Entrer les coordonnées de la carte (Dimension, position point de mire)
 - Définir les nouveaux composants dans le programme
 - Ajuster les paramètres de programme

La durée moyenne pour effectuer la programmation d'une machine est d'une heure, qui est une durée relativement grande, ce qui justifie la nécessité de l'effectuer en temps masqué afin d'éviter un arrêt planifié et ainsi éviter les pertes.

En dehors de la programmation, le temps masqué comporte aussi le des paramètres de machines et aussi l'insertion des bobines et autres composants qui doivent être changés lors d'un changement de produit.

Concernant les activités, à partir du WBS on constate qu'il y a une variation de complexité entre les différentes étapes suivies, cette criticité est déterminée à partir de la durée nécessaire pour l'effectuer mais aussi selon la nature de chacune, ainsi en comparant avec les résultats du CFD, on constate qu'en point de vue du besoin de notre étude on s'intéresse aux activités possédant un temps d'exécution important.

D'autre part, étant donné que plus que 50% des activités sont de nature manuelle, il est primordial de prendre en compte le côté organisationnel dans notre démarche d'optimisation.

En conclusion les résultats du WBS nous permettent de cerner les activités critiques qui influencent sur le temps de production. Par la suite on va diagnostiquer les données de l'historique des machines afin de faire un lien entre les résultats de cette étude et la réalité.

**Chapitre VI : Exploitation des données historiques
de la ligne SMT.**

Chapitre VI : Exploitation des données historiques de la ligne SMT.

On enchaîne cette démarche d'analyse du système par le calcul de la disponibilité de la ligne de production qui est directement liée à la fiabilité et l'état de maintenance de cette dernière, en se basant sur les données historiques disponibles.

Les résultats de cette première partie permettront de cerner les machines critiques de la ligne de production SMT, ce qui permet de réduire notre périmètre de recherche de sous-systèmes et éléments critiques, par le biais de la méthode Pareto et l'application de l'AMDEC, qui feront l'objet de la démarche améliorative abordée dans le chapitre suivant.

4.1. Détermination des machines critiques de la ligne SMT à partir du calcul et des paramètres liés à la SdF.

L'exploitation des données d'historique des machines est une étape importante de la réalisation de ce projet, ces données serviront d'avoir une vue plus claire sur la disponibilité, la fiabilité et les états de maintenance de chacune des machines, qui sera détaillé par la suite dans le présent chapitre.

Afin de bien maîtriser cette étape on procède tout d'abord à la collecte des données, ensuite on traitera chaque aspect séparément.

4.1.1. Collecte de données.

Cette partie consiste à réassembler des données pertinentes sur la performance passée de la ligne de production des cartes électroniques le long de l'année 2023, en abordant les points suivants :

- ✓ Date d'occurrence de la panne ;
- ✓ L'heure du début d'arrêt ;
- ✓ L'heure de la fin d'arrêt ;
- ✓ La machine responsable de l'arrêt ;
- ✓ La cause principale ou la localisation de la panne.

Cela a été fait à partir d'un registre manuel existant, dont j'ai documenté en format Excel. Voir **annexe 3**.

À partir des données récoltées on s'intéresse aux calculs des paramètres descriptifs liés à la performance de la ligne de production, notamment :

❖ **Calcul du temps de fonctionnement total de la ligne de production.**

Durant l'année 2023 la ligne de production a été fonctionnelle 245 jours, chaque jour est divisé en deux shifts, chacun d'une durée de 8h30mn.

Ainsi le temps global de production est calculé par la formule suivante :

$$\text{Temps total de production} = \text{Nombre de jours de travail} \times (\text{Durée d'un shift} \times 2) \quad (9)$$

Application numérique :

$$\text{Temps total de production} = 245 \times (8.5 \times 2)$$

Temps total de production = **4165 heures.**

✓ **Calcul du temps de bon fonctionnement (TBF) relatif à chaque machine de la ligne de production.**

Tableau 11- Temps du bon fonctionnement des machines de la ligne de production.

Machine	Loader	DEK	SPI	Fuzion 120-1	Fuzion 120-2	Fuzion-14	AOI	Oven	Ligne SMT
Temps d'arrêt	34h10	32h35	26h45	81h50	58h40	35h15	32h55	43h40	345h50
TBF	4130h50	4132h25	4138h15	4083h10	4095h25	4129h45	4132h05	4121h20	3819h10

4.1.2. Calcul de la disponibilité.

❖ **La disponibilité relative à chaque machine.**

Elles sont calculées à partir de la formule suivante :

$$D_i = \frac{\text{Temps de bon fonctionnement}}{\text{Temps total de fonctionnement}} (\%) \quad (10)$$

En appliquant cette formule on obtient les résultats suivants :

Tableau 12– Taux de disponibilité relative à chaque machine.

Machine	Loader	DEK	SPI	Fuzion-1	Fuzion-2	Fuzion-14	AOI	OVEN
Disponibilité (%)	99.17	99.21	99.35	98.03	98.33	99.15	99,2	98.95

❖ **La disponibilité globale de la ligne de production SMT.**

On dispose d'une ligne de production composée de 08 machines, connectées en série, ainsi on calcule le taux de disponibilité de la ligne de production à partir de la formule suivante :

$$D_g = \frac{1}{\sum \frac{1}{D_i} - (n-1)} (\%) \quad (11)$$

D'où : n: Nombre d'éléments de la ligne de production.

Application numérique : **$D_g = 91,99 \%$**

❖ **Interprétation des résultats du calcul de la disponibilité.**

À partir du résultat obtenu on constate que la ligne de production était disponible 91.99% de l'ensemble du temps de fonctionnement global, environ 3831 h sur 4165 h prévu pour la production durant l'année 2023.

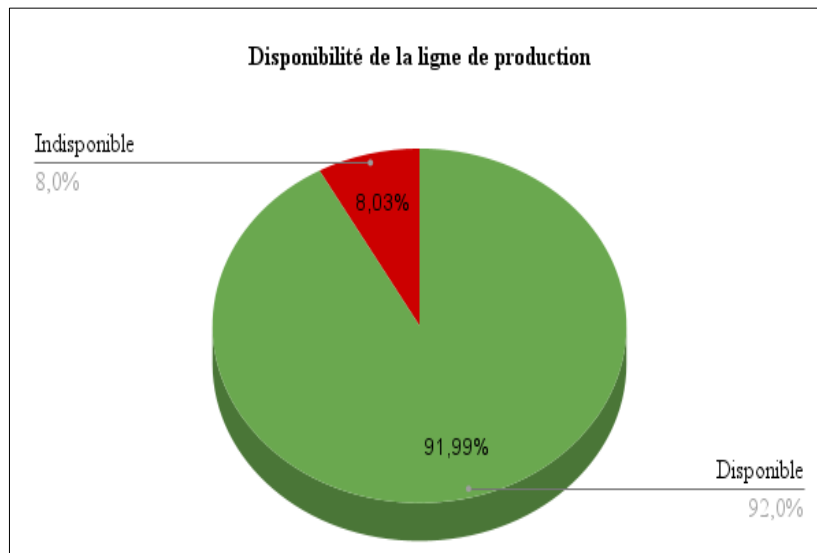


Figure 30– Représentant la disponibilité de la ligne de production.

Ce pourcentage permet de classer la disponibilité de notre ligne de production étant une disponibilité modérée, cela peut indiquer des problèmes occasionnels ou des pannes plus fréquentes, nécessitant des actions correctives ou, au moins, amélioratives.

D'autre part, à partir du calcul des disponibilités relatives de chaque machine de la ligne de production, on remarque que les machine d'insertion Fuzion Universal 120 présente des taux de disponibilité égaux à 98,03% et 98,33%, qui sont des taux relativement diminués comparant aux restes des machine. Tel est le cas pour la machine de soudage « Oven » qui dispose d'un taux de disponibilité égal à 98,95%.

À partir de la comparaison de ces taux on peut dire que les machine d'insertion ainsi que la machine de soudage, sont des machines critiques de notre ligne de production.

En se basant sur la définition abordée dans le deuxième, la disponibilité est une synthèse de la fiabilité et de la maintenabilité ; c'est la proportion du temps passé en état de remplir les fonctions requises dans les conditions données. Ainsi si on souhaite augmenter le taux de disponibilité actuel et confirmer les résultats de cette partie il faut s'intéresser aux facteurs suivants :

- ✓ Fiabilité de la ligne de production;
- ✓ État de la maintenance de la ligne.

4.1.3. Calcul du taux de fiabilité.

Dans cette partie, on va étudier la capacité de notre ligne de production à assurer sa fonction requise, et on va ainsi calculer la fiabilité relative à cette ligne.

Il existe diverses méthodes de traitement de la distribution des instants d'occurrence des pannes en fonction du temps. Ces méthodes ont pour but de déterminer le modèle mathématique qui pourrait représenter la distribution étudiée et d'en chiffrer les paramètres à échelles fonctionnelles. Afin de choisir le modèle de calcul adéquat pour notre cas d'étude, on s'en servira du logiciel MiniTab.

❖ Présentation du logiciel utilisé.

Minitab est un logiciel statistique très utilisé dans le domaine de la qualité, de l'ingénierie et de la recherche développé depuis 1972 et disponible en huit langues. Il offre une gamme complète d'outils pour l'analyse des données, la visualisation et la prise de décision basée sur les données. Voici une description de ses principales caractéristiques :

- ✓ Analyse statistique: Minitab propose une large gamme de techniques statistiques, allant des analyses descriptives de base aux méthodes avancées telles que l'analyse de variance (ANOVA), la régression, l'analyse de fiabilité et bien d'autres. Cela permet aux utilisateurs d'explorer, de modéliser et de comprendre leurs données.
- ✓ Graphiques: Minitab offre une variété de graphiques pour visualiser les données, y compris des histogrammes, des diagrammes en barres, des diagrammes de dispersion, des diagrammes de contrôle, etc. Ces graphiques sont souvent utilisés pour détecter les tendances, les anomalies et les schémas dans les données.

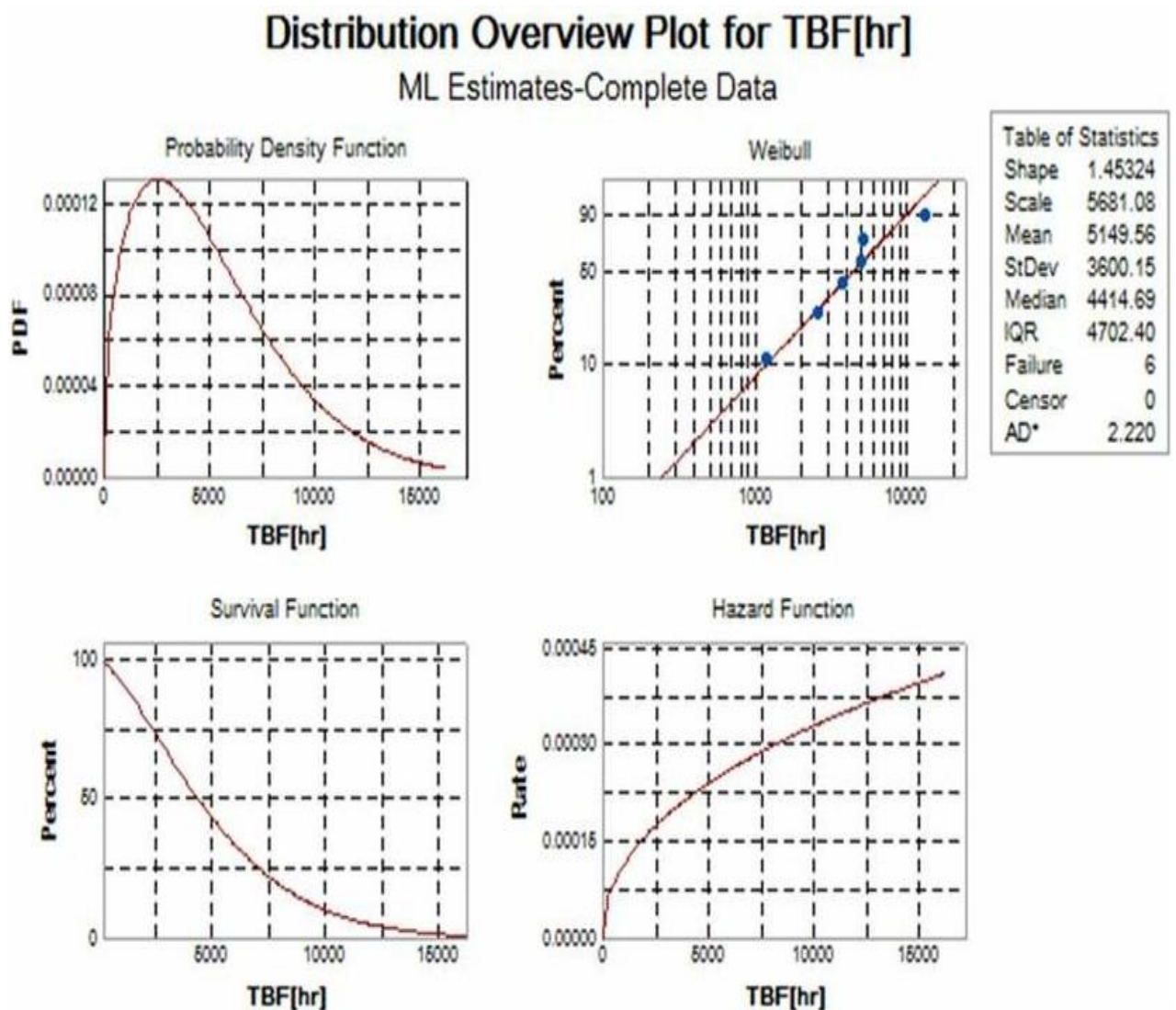


Figure 31– Différents types de graphiques représentés par le logiciel MiniTab.

- ✓ Outils d'amélioration de la qualité: Minitab est largement utilisé dans le cadre de l'amélioration continue et de la gestion de la qualité. Il propose des outils tels que les cartes de contrôle, l'analyse des capacités de processus, les plans d'expérience (DOE), les

méthodes Six Sigma, et d'autres outils pour aider les organisations à améliorer leurs processus et leurs produits.

- ✓ **Facilité d'utilisation:** Minitab est apprécié pour son interface conviviale qui rend l'analyse des données et la génération de graphiques relativement simples, même pour les utilisateurs novices en statistiques. Il propose également des didacticiels et une documentation complète pour aider les utilisateurs à démarrer rapidement.
- ✓ **Compatibilité et intégration:** Minitab peut importer des données à partir de diverses sources, y compris Excel, bases de données, fichiers texte, etc. Il prend également en charge l'exportation de résultats vers d'autres formats de fichier courants. De plus, il peut être intégré à d'autres logiciels et systèmes d'entreprise pour une utilisation transparente dans les flux de travail existants.

En résumé, Minitab est un outil puissant et polyvalent pour l'analyse statistique et la prise de décision basée sur les données, largement utilisé dans divers domaines professionnels pour améliorer la qualité, optimiser les processus et soutenir la prise de décision informée.

❖ **Choix du modèle mathématique adéquat.**

Tout d'abord on tire les Temps de Bon Fonctionnement (TBF) de chaque machine et les trier par ordre croissant. Ainsi on obtient le tableau en **annexe 4**.

En introduisant le tableau dans le logiciel, nous obtenons le résultat indiqué dans la figure 32.

Distribution	Anderson-Darling	Correlation Coefficient (adj)
Weibull	1.976	0.936
Lognormal	2.244	0.887
Exponential	7.310	*
Normal	2.241	0.888

Figure 32– Coefficients de corrélation relatifs à chaque modèle mathématique.

Le modèle le plus approprié est celui dont le coefficient de corrélation est le plus grand, pour notre cas le coefficient de la distribution selon Weibull est estimé à 0.936, ainsi on conclut que le modèle Weibull est celui qu'on retient pour le reste de l'étude.

Les distributions sont représentées dans la figure 33, à partir desquelles on confirme le choix du modèle :

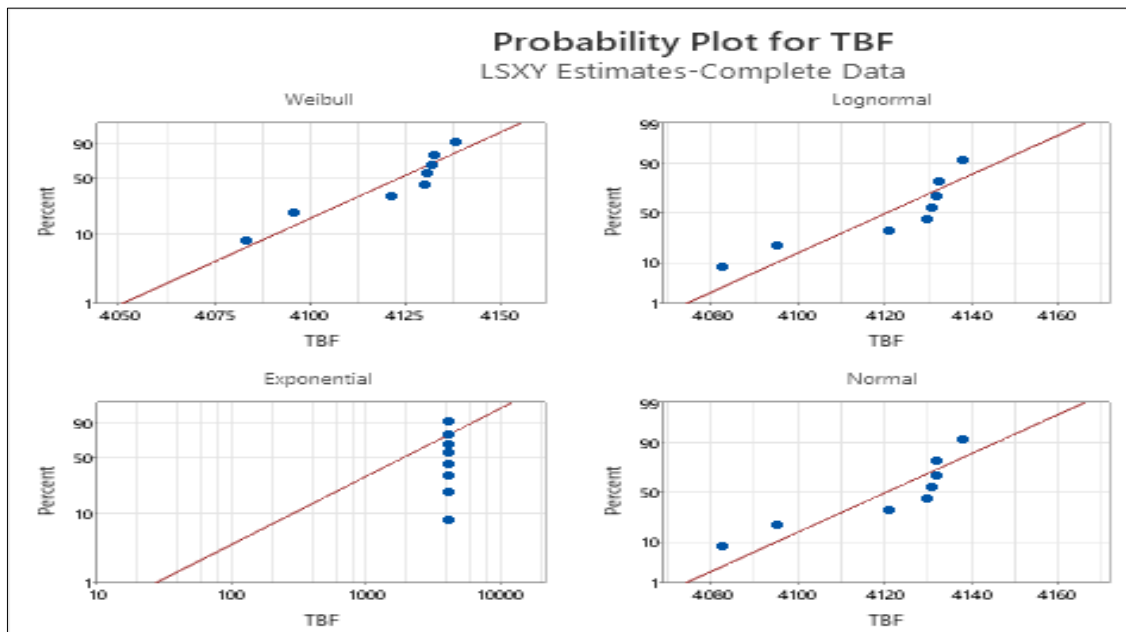


Figure 33– Distributions du nuage de points relatives à chaque modèle mathématique.

❖ **Le modèle de Weibull.** [19]

✓ Description.

Le modèle Weibull est couramment utilisé dans le domaine de la fiabilité pour modéliser la durée de vie d'un produit ou d'un système. Il est largement utilisé car il peut représenter une grande variété de formes de distribution de durée de vie, ce qui le rend très flexible.

En termes simples, le modèle de Weibull décrit la probabilité qu'un objet ou un système survive jusqu'à un certain moment. Il est caractérisé par trois paramètres définis dans le tableau 13.

Tableau 13 - Paramètres de la loi Weibull.

Paramètres de loi Weibull		
Le paramètre de forme (β)	Le paramètre d'échelle (η)	Le paramètre de position (γ)
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Si $\beta \leq 1$: la courbe de survie décroît au fil du temps. ✓ Si $\beta = 1$: la courbe de survie est linéaire. ✓ Si $\beta > 1$: la courbe de survie augmente avec le temps. 	Il définit l'échelle de temps pour laquelle la probabilité de survie est mesurée. Il représente généralement la durée de vie médiane du produit ou du système.	Il définit un changement d'origine dans l'échelle de temps, souvent il est égal à 0. Indique également la date de début des défaillances

La détermination de ces paramètres nous permet de calculer :

▪ MTBF : $MTBF = A\eta + \gamma$ (12)

▪ Taux de défaillance : $\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1}$ (13)

▪ Fiabilité R(t) : $R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta}}$ (14)

✓ Étapes d'application : La procédure que nous avons suivie se résume aux étapes suivantes :

- Préparation des données nécessaires pour tracer le nuage de points, à savoir le temps de fonctionnement (TBF) et la fonction de distribution (Fi).

- $TBF = T_{in} - T_o$ (15)

- Fi(t), la méthode de calcul des F dépend du nombre de données de l'échantillon :

- $N \leq 20 : F(ti) = \frac{i-0,3}{n+0,4} ;$ (16)

- $N > 20 : F(ti) = \frac{i}{n+1} .$ (17)

- Tracer le nuage de points et la droite de Weibull.

Nous avons utilisé Excel pour représenter le nuage de points :

Pour tracer ce nuage de points, nous avons développé un cadre mathématique en partant de la fonction de distribution à trois paramètres F(t) :

On a:
$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (18)$$

$$\Rightarrow \ln(1 - F(t)) = -\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta \quad (19)$$

$$\Rightarrow -\ln(1 - F(t)) = \left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta \quad (20)$$

$$\Rightarrow n(-\ln(1 - F(t))) = \beta \ln\left(\frac{t}{\eta}\right) \quad (21)$$

$$\Rightarrow \ln(-\ln(1 - F(t))) = \beta \ln(t) - \beta \ln(\eta) \quad (22)$$

On a obtenu une équation de la forme $Y = aX + b$, ainsi on calcule les couples (X, Y) comme suit :

- $X = \ln(t_i)$ où t_i représente le temps de fonctionnement i
- $Y = \ln(-\ln(1 - F(t_i)))$ où $F(t_i)$ représente la valeur de la fonction de distribution à l'instant t_i .

On saisit les couples (X, Y) dans un tableau (**annexe 5**) pour tracer le nuage de points. En d'autres termes, nous avons utilisé les équations développées ci-dessus pour positionner les points sur le graphique. Pour chaque machine, on trace le graphe correspondant aux valeurs du tableau :

1. Loader :

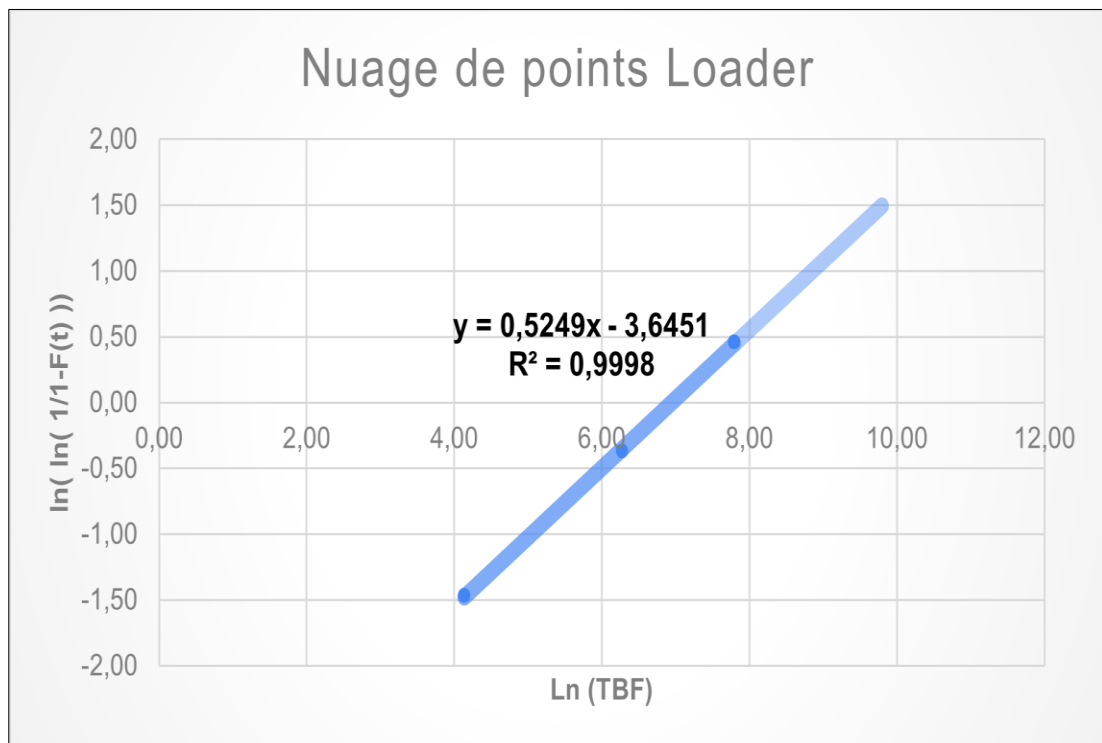


Figure 34– Nuage de points de la machine Loader.

2. DEK :

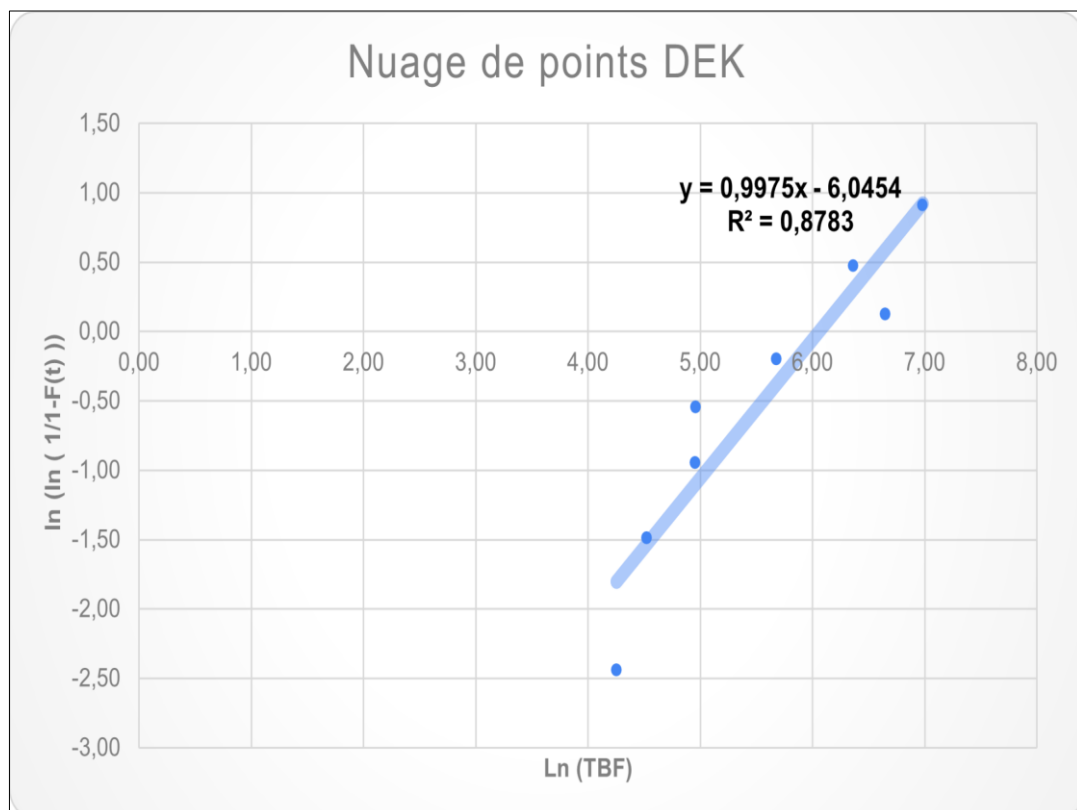


Figure 35– Nuage de points de la machine DEK.

3. SPI :

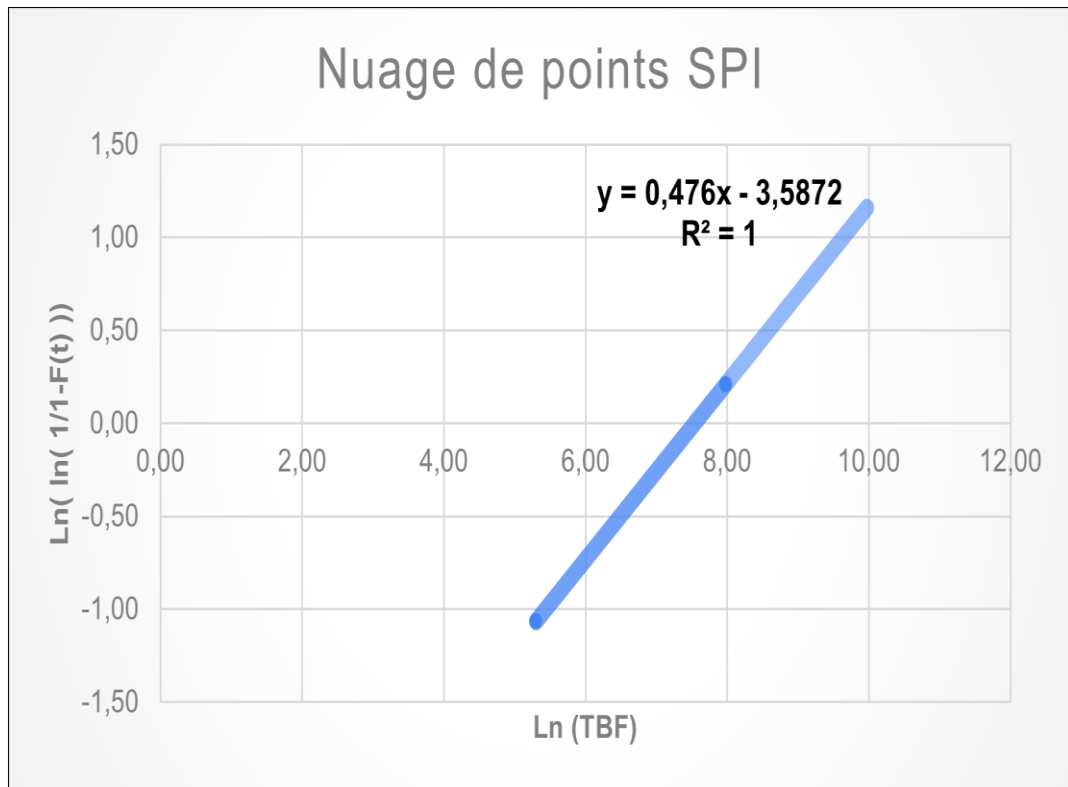


Figure 36– Nuage de points de la machine SPI.

4. Fuzion 120-1 :

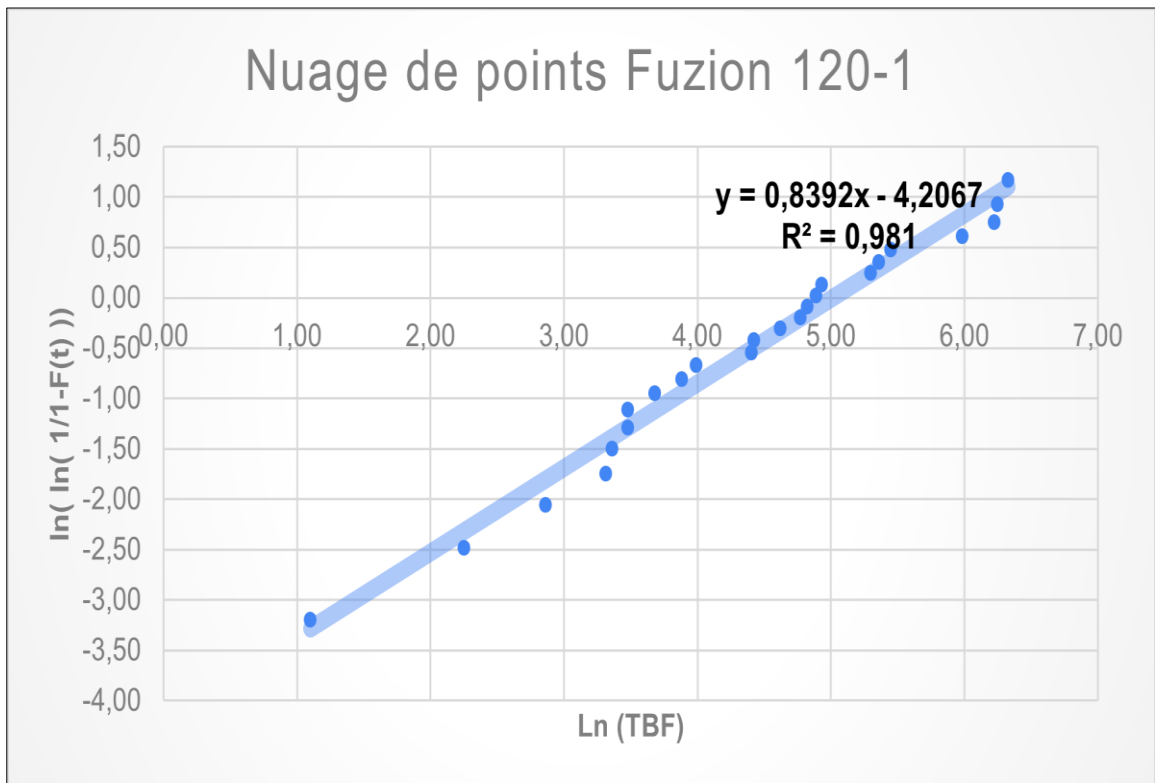


Figure 37– Nuage de points de la machine Fuzion 120-1.

5. Fuzion 120-2 :

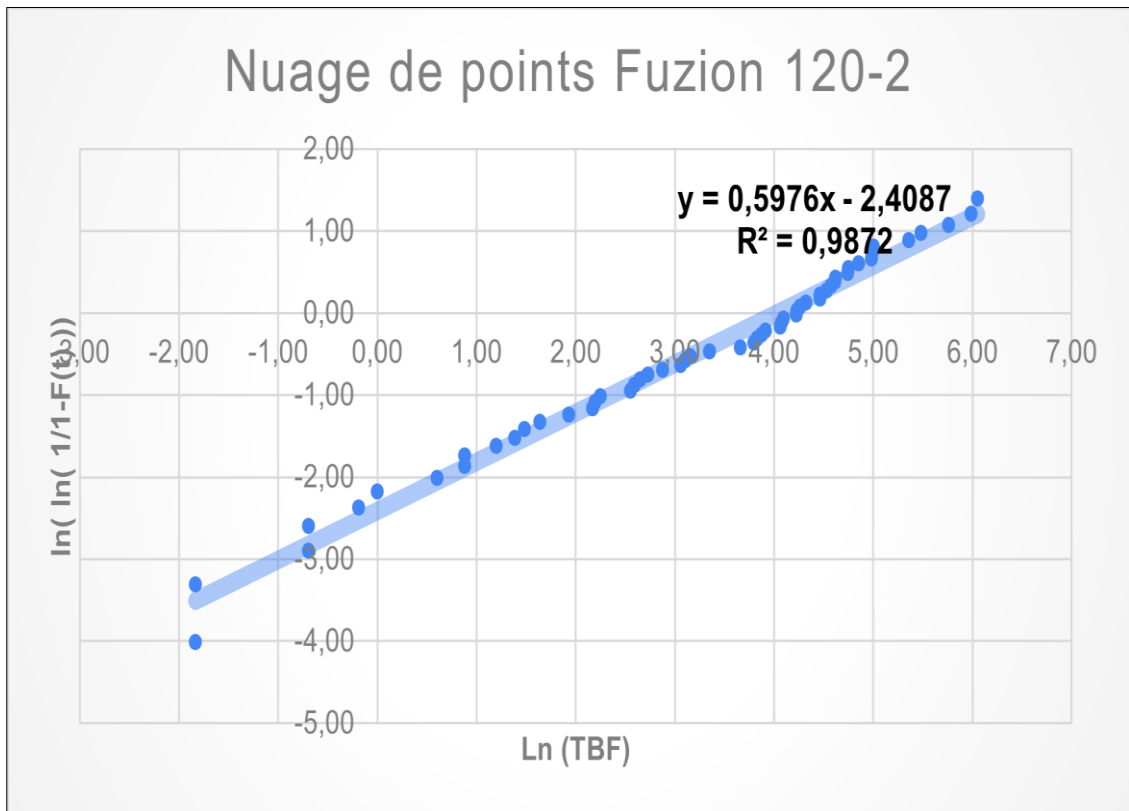


Figure 38– Nuage de points de la machine Fuzion 120-2.

6. Fuzion-14 :

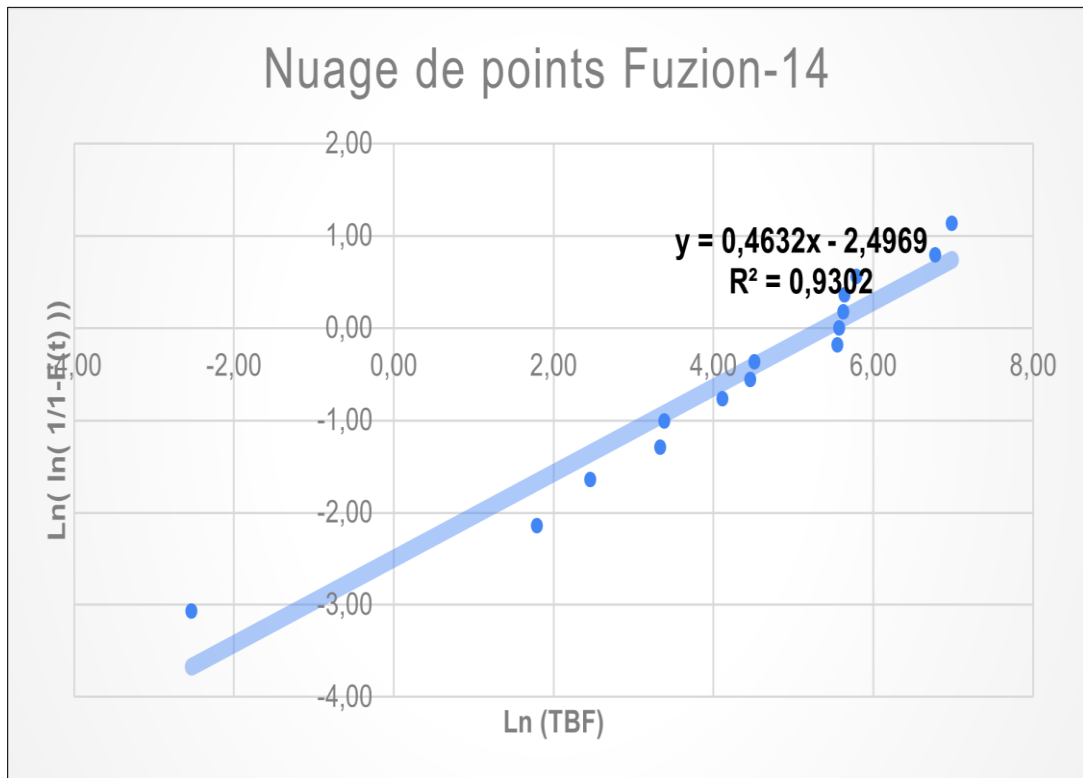


Figure 39– Nuage de points de la machine Fuzion-14.

7. Oven :

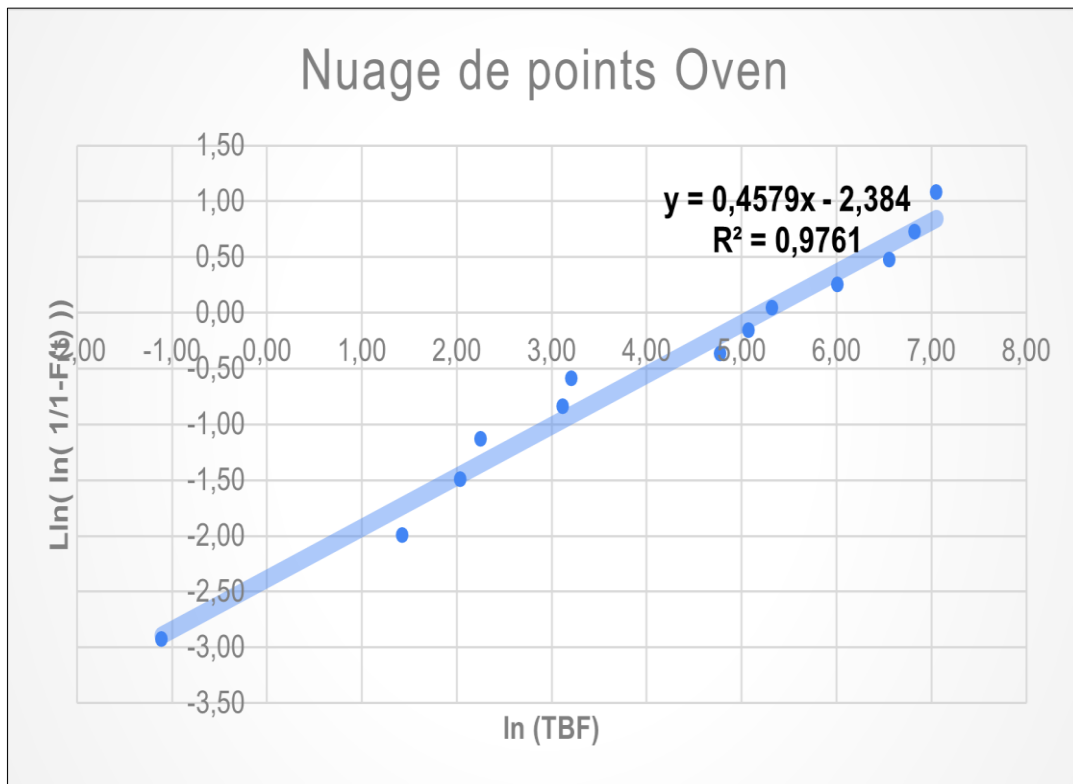


Figure 40– Nuage de points de la machine Oven.

8. AOI :

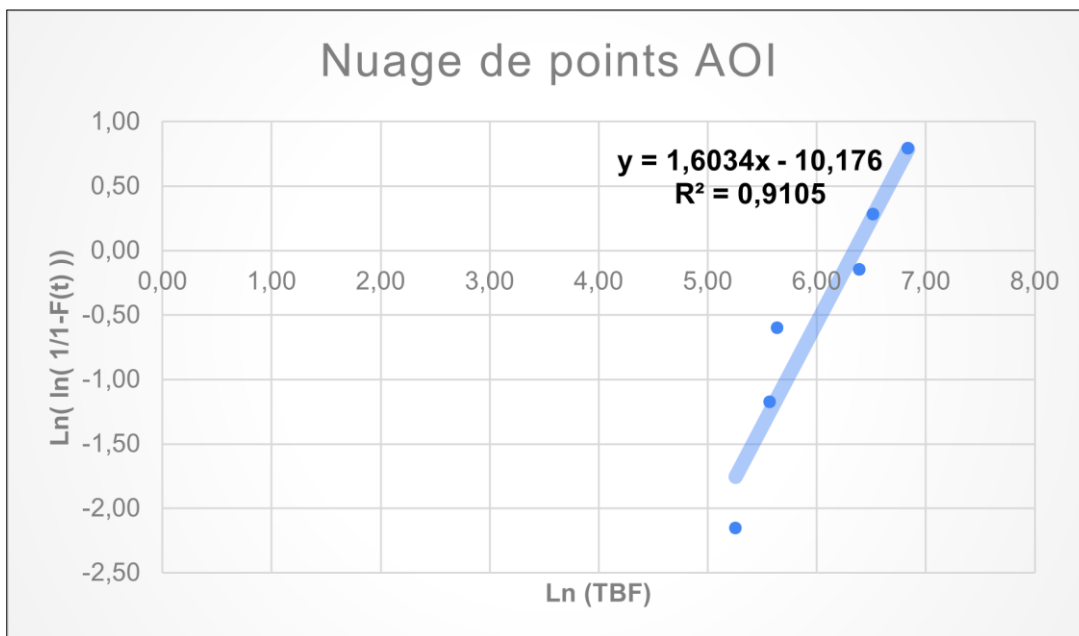


Figure 41– Nuage de points de la machine AOI.

À partir des équations obtenues, on procède à l'identification des paramètres :

- $\beta = \text{pente du graphe}$
- $\eta = e^{\left(\frac{b}{\beta}\right)}$

Puis on calcule la fiabilité et le taux de défaillance relatifs à chaque machine. Les résultats sont présentés dans le tableau 14.

Tableau 14– Paramètres de Weibull et calculs des indicateurs.

Machine	β	$\beta \times \ln(\eta)$	η	A	MTBF	R(t)	λ (t)
Loader	0,5249	3,6451	1037,2936	2	2074,5873	0,2372	0,000364
DEK	0,9975	6,0454	428,6116	1	428,6116	0,3678	0,002327
SPI	0,476	3,5872	1874,5697	2	3749,1395	0,2488	0,000176
Fuzion 120-1	0,8392	4,2067	150,31757	1,113	167,3034	0,3348	0,005487
Fuzion 120-2	0,5976	2,4087	56,2959	1,5046	84,7028	0,2790	0,009006
Fuzion 14	0,4632	2,4969	219,3226	2,4786	543,6131	0,2181	0,001297
Oven	0,4579	2,384	182,4318	2,4786	452,1757	0,2197	0,001534
AOI	1,6034	10,176	570,5002	0,8966	511,5105	0,4319	0,002631
Ligne SMT						0,000042	

❖ Interprétation des résultats du calcul de la fiabilité.

De manière générale, le MTBF représente la durée moyenne de fonctionnement avant qu'une panne ne survienne. Un MTBF élevé indique une machine fiable, tandis qu'un MTBF faible indique une machine sujette aux pannes. Pour le cas de la ligne SMT, on remarque que les deux machines d'insertion « **Fuzion Universal 120** », et la machine de soudure « **Oven** » et la machine de sérigraphie « **DEK** » sont caractérisées par un MTBF faible, inférieur à 500 h, ce qui indique une machine sujette aux pannes, qui peut nécessiter des réparations fréquentes et entraîner des temps d'arrêt importants.

En exploitant les résultats du calcul du taux de défaillance, on constate que les deux machines Fuzion Universal 120 présentent des taux de défaillance très élevés égaux à 0,009 et 0,005 ce qui met en question la fiabilité de ces dernières. En se basant sur le calcul de ce paramètre on déduit que les machines suivantes sont des machines critiques de la ligne de production, susceptibles de rencontrer des pannes récurrentes et ainsi perturber le fonctionnement de la production :

- ✓ Fuzion Universal 120-1 ;
- ✓ Fuzion Universal 120-2 ;
- ✓ Oven ;
- ✓ DEK.

La valeur de la fiabilité globale de la ligne de production est égale au produit des valeurs de fiabilités des machines car l'ensemble des machines sont en série ce qui diminue la valeur totale de la fiabilité. Ainsi on conclut que le raccordement en série n'est pas pratique, car la panne d'une machine entraîne la panne de toute la ligne.

4.1.4. Exploitation des données de la maintenance de la ligne de production et application de la méthode de l'abaque de noiret.

4.1.4.1. Collecte et interprétation des données concernant les interventions du département de maintenance sur la ligne SMT.

Le département de maintenance de l'entreprise dispose d'une base de données riche de ses interventions sur l'ensemble des sections et unités constituant la société. Pour l'objet de notre étude, les données concernant la section SMT de l'entreprise sont celles recherchées, c'est pour cela le tableau en **annexe 6** a été élaboré pour répondre au besoin de notre étude.

❖ Observations et commentaires.

D'après le tableau, on remarque que le nombre total des interventions de l'équipe de maintenance sur la ligne qui fait l'objet de notre étude est égal à 37 interventions durant l'année 2023, ce qui représente 23,72% du total des interventions effectuées pour régler les pannes survenues sur les machines durant cette même année.

On constate que les interventions de l'équipe de maintenance sur les machines sont réparties comme l'indique la figure 42.

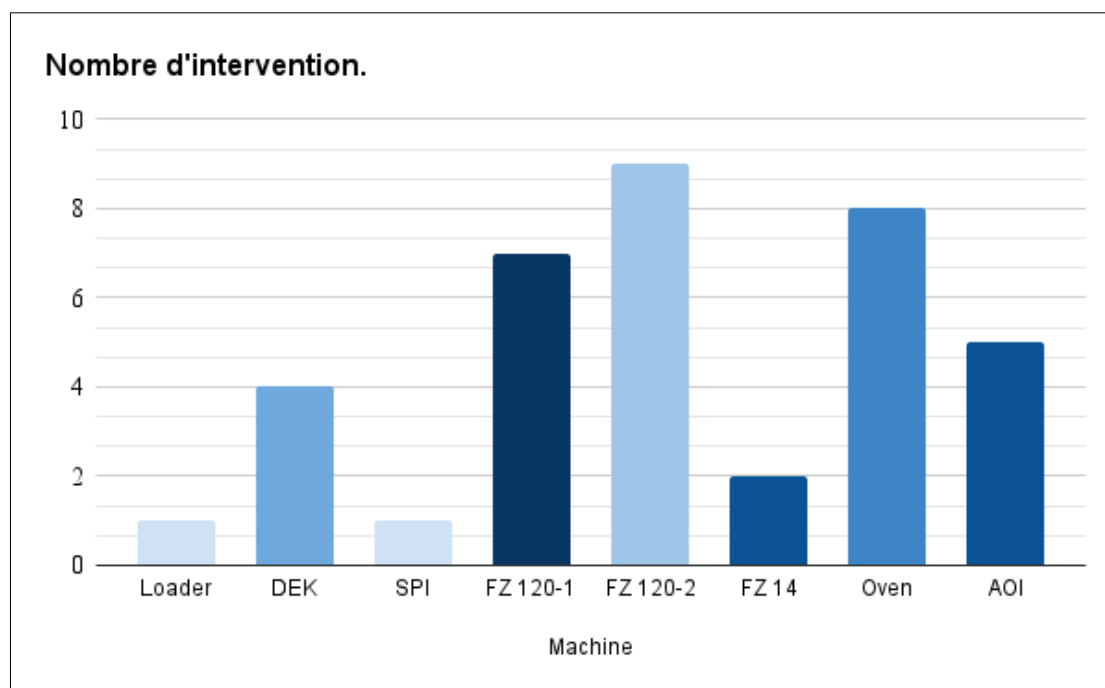


Figure 42– Distribution des interventions du personnel de maintenance sur les machines de la ligne SMT.

Les interventions du personnel du département de maintenance sur les lieux du département de la production sont principalement faites sur les machines :

- ✓ Fuzion 120-1 ;
- ✓ Fuzion 120-2 ;
- ✓ Oven.

Ces interventions, sont également catégorisées en différents types, on trouve de la maintenance curative, échange de pièces et des réglages. La répartition suivante des

interventions reflète la stratégie de maintenance du département qui est basée principalement sur la maintenance curative :

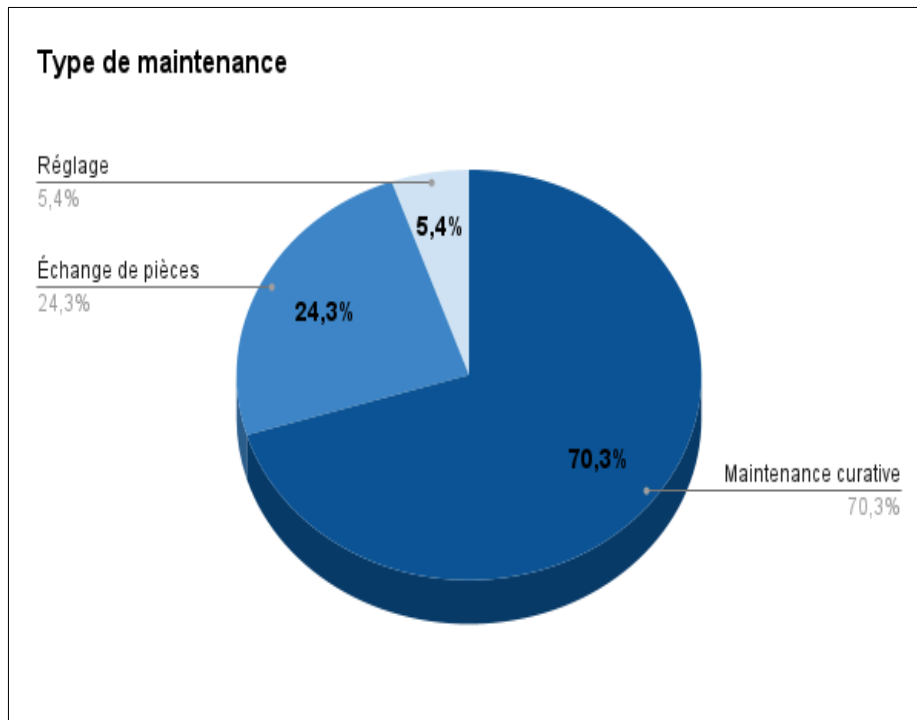


Figure 43– Types de maintenance effectuées sur la ligne de production SMT.

D'autre part, au sein du département de la maintenance une plateforme a été développée afin de calculer les indicateurs liés à la fiabilité et la maintenance des machines et des équipements de l'entreprise, ces indicateurs sont principalement :

- ✓ La disponibilité moyenne;
- ✓ Le MTBF moyen;
- ✓ Le MTTR moyen.

Les indicateurs sont représentés sous la forme suivante :

Bilan Maintenance Année : 2023

Important! Dans ce présent rapport, seuls sont présentés les équipements ayant eu des défaillances durant la période en question

Disponibilité moyenne = 99.45%
MTTR Moyen = 65.47Minutes
MTBF Moyen: 364.96 Jours.

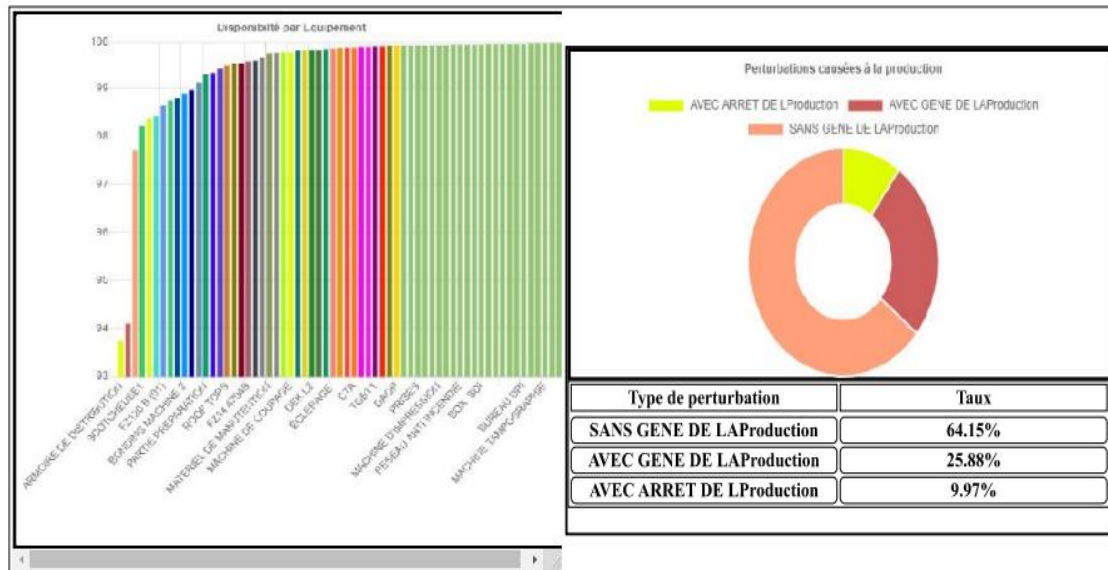


Figure 44– Aperçu sur le bilan de maintenance de l'année 2023.

Afin de rendre ces données justes, il faut prendre en compte les interventions faites par le personnel de production lors de survenue des pannes afin d'éliminer l'écart entre les données des deux départements et ainsi réussir à analyser la situation réelle des machines présentes sur les lieux et prendre les mesures nécessaires pour procéder à une amélioration continue de la performance.

4.1.4.2. Application de la méthode de l'abaque de noiret.

Dans cette partie de notre travail on va appliquer la méthode de l'abaque de noiret afin de déterminer le type de maintenance adéquat pour chaque machine de notre ligne de production. [20]

L'abaque de Noiret est un outil de calcul scientifique qui permet d'orienter le choix de la politique de maintenance en fonction :

- ✓ Des caractéristiques de l'équipement
- ✓ De son utilisation

Le résultat en est une recommandation offrant trois options possibles :

- ✓ Préventif recommandé
- ✓ Préventif possible
- ✓ Préventif non nécessaire

Principe L'abaque de Noiret est basée sur 09 critères suivants :

Tableau 15- Critères de l'abaque de noiret.

Numérotation	Critère
1	L'âge de l'équipement.
2	L'interdépendance de l'équipement.
3	Le coût de l'équipement.
4	La complexité et l'accessibilité de l'équipement.
5	La robustesse et la précision de l'équipement.
6	L'origine de l'équipement.
7	L'utilisation dans le temps de l'équipement.
8	Les conséquences de défaillances de l'équipement sur les produits.
9	Les délais de production qui sont liés à l'équipement

Chaque critère se décline en plusieurs options qui chacune correspond à un certain nombre de points, le nombre de points de chaque critère sont représentés dans des tableaux séparément en **annexe 7**. Les points ainsi obtenus sont additionnés, le classement se fait selon le tableau 16.

Tableau 16- Classification selon de l'abaque de noiret.

Somme des points	Type de maintenance approprié
0-510	Préventif non nécessaire. (PNN)
511-559	Préventif possible. (P. Pos)
559-910	Préventif recommandé. (P. Rec)

Application et interprétation :

En attribuant les points adéquats des critères à chaque machine on obtient le résultat représenté dans le tableau 17.

Tableau 17- Recommandation du type de maintenance selon l'abaque de noiret.

Machine	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Somme	Recommandation
Loader	58	50	55	5	5	50	75	35	225	558	P. Pos
DEK	58	50	55	5	5	50	75	35	225	558	P. Pos
SPI	58	50	55	5	5	50	75	35	225	558	P. Pos
Fuzion120-1	58	50	55	25	25	50	75	55	225	618	P. Rec
Fuzion120-2	58	50	55	25	25	50	75	55	225	618	P. Rec
Fuzion 14	58	50	55	25	25	50	75	55	225	618	P. Rec
AOI	58	50	55	5	5	50	75	35	225	558	P. Pos
Oven	58	50	55	25	20	50	75	55	225	613	P. Rec

❖ **Recommandation de type de maintenance selon l'abaque de noiret.**

En se basant sur les analyses effectuées, il est clair que les machines impliquées dans les processus de :

- ✓ Insertion ;
- ✓ Soudage.

Requièrent une attention particulière en matière d'entretien. La mise en place d'une stratégie de maintenance préventive rigoureuse et bien définie est donc essentielle pour assurer leur bon fonctionnement.

En revanche, les autres machines, principalement celles dédiées à l'inspection, ne présentent pas de besoins spécifiques en termes de maintenance. Il est donc préférable de privilégier une approche réactive, en évitant la maintenance curative autant que possible. Toutefois, dans les cas où la maintenance curative s'avère plus économique que la maintenance préventive, il est important de garantir la disponibilité des pièces de rechange et du matériel nécessaires afin de minimiser les temps d'arrêt.

Au final, en procédons au diagnostic de la maintenance de la ligne de production SMT et en mettons en œuvre la méthode rigoureuse « L'abaque de noiret » on conclut que de point de vue de la maintenance les machines d'insertion et la machine de soudage, sont les machines critiques de la SMT.

✓ **Résultats obtenus à partir du Calcul et diagnostic des paramètres liés à la SdF.**

Suite au calcul de la disponibilité et la fiabilité de la ligne de production, ainsi que les disponibilités et fiabilités relatives à chaque machine et en procédant au diagnostic de l'état de la maintenance de cette dernière, on synthétise les résultats obtenus à partir de chaque étape dans le tableau 18.

Tableau 18 - Machines critiques de la ligne SMT.

Aspect calculé/ diagnostiqué	Machines critiques
Disponibilité	✓ Fuzion 120-1 ✓ Fuzion 120-1 ✓ Oven
Fiabilité	✓ Fuzion 120-1 ✓ Fuzion 120-1 ✓ Oven ✓ DEK
Maintenance	✓ Fuzion 120-1 ✓ Fuzion 120-1 ✓ Oven

Ainsi, dans le reste de notre étude nous allons chercher les sous-systèmes et éléments critiques des trois machines :

- ✓ Fuzion Universal 120-1 ;
- ✓ Fuzion Universal 120-2 ;
- ✓ Oven.

4.2. Détermination des sous-systèmes et éléments critiques de la ligne SMT.

Dans la présente partie, nous allons procéder à la recherche des sous-systèmes et éléments présentant des perturbations répétitives au niveau des machines critiques constatées auparavant.

Il est évident que les causes principales des arrêts sont dues à des problèmes qui parviennent au niveau des composants constituant ces machines, et donc des problèmes mécaniques. Mais aussi, on se demande si l'influence des paramètres externes est relativement importante ou pas, ce qui va être par la suite vérifié.

Afin de s'assurer que les résultats de cette partie sont ceux recherchés, on commence d'abord par le traitement des données historiques des machines en question, par l'élaboration du diagramme de Pareto. Ces résultats seront confirmés et détaillés par le biais de la méthode AMDEC que nous allons mettre en œuvre pour conclure ce chapitre et cerner les pistes d'amélioration de cette ligne SMT par le diagramme de Pareto.

4.2.1. Diagramme Pareto.

Le diagramme de Pareto est une technique permettant de hiérarchiser les informations les plus pertinentes, dans le but d'identifier les problèmes les plus importants qui nécessitent une attention et de les résoudre. Cette technique est basée sur le principe de Pareto ou règle des 80/20, qui établit une correspondance entre 80-20 groupes selon laquelle 80 % des résultats proviennent de 20 % des causes.

Un diagramme de Pareto, également connu sous le nom de courbe de distribution ABOMARE COMPANY, consiste en une grille qui classe les aspects pertinents à un problème et les classe par fréquence plus ou moins grande, vous permettant de voir clairement la cause principale du problème.

Certains avantages de l'utilisation des diagrammes de Pareto pour la prise de décision incluent :

- ✓ Identification des problèmes majeurs
- ✓ Hiérarchiser les efforts d'amélioration
- ✓ Visualiser l'importance relative : les graphiques de Pareto fournissent une représentation visuelle de l'importance relative de chaque problème.
- ✓ Communication efficace
- ✓ Économisez du temps et des ressources

Un diagramme de Pareto est constitué principalement de :

- ✓ Catégories ou éléments : ce sont les éléments que nous analysons et regroupons en fonction de leurs propriétés.
- ✓ Fréquence ou ampleur : nombre de fois qu'une catégorie ou un élément apparaît dans un processus ou un système.

- ✓ Pourcentage cumulatif : un pourcentage cumulé représentant la fréquence d'apparition de chaque catégorie ou élément, qui augmente progressivement.
- ✓ Ligne de Pareto : Il s'agit d'une courbe qui représente le pourcentage cumulé de fréquence par rapport à l'effet vertical de la loi. Il est utilisé pour comparer la contribution relative de chaque catégorie ou élément dans un processus ou un système.
- ✓ Position verticale : Indique la fréquence ou l'amplitude de chaque catégorie ou élément.
- ✓ Éléments horizontaux : représentent des catégories ou des éléments d'analyse.

En se basant sur ces informations, nous allons élaborer le diagramme de Pareto représenté dans la figure 45.

Tableau 19- Données relatives à la distribution des causes d'arrêt de la ligne SMT.

Cause	Répétition	Pourcentage%	Pourcentage cumulé %
Non spécifié	34	21,79	21,79
Nozzles	34	21,79	43,58
Réglage	21	13,46	57,05
Rejet des composés	12	7,69	64,74
Carter	11	7,05	71,79
Chargeur	8	5,13	76,92
Convoyeur	8	5,13	82,05
Axes	7	4,49	86,53
Tête	4	2,56	89,10
Coupage du courant électrique	3	1,92	91,02
Maintenance préventive	3	1,92	92,94
Nettoyage	3	1,92	94,87
Feeder	2	1,28	96,15
Tige automatique	2	1,28	97,43
Carte coincée	2	1,28	98,71
Capteur	1	0,64	99,35
Compresseur	1	0,64	100

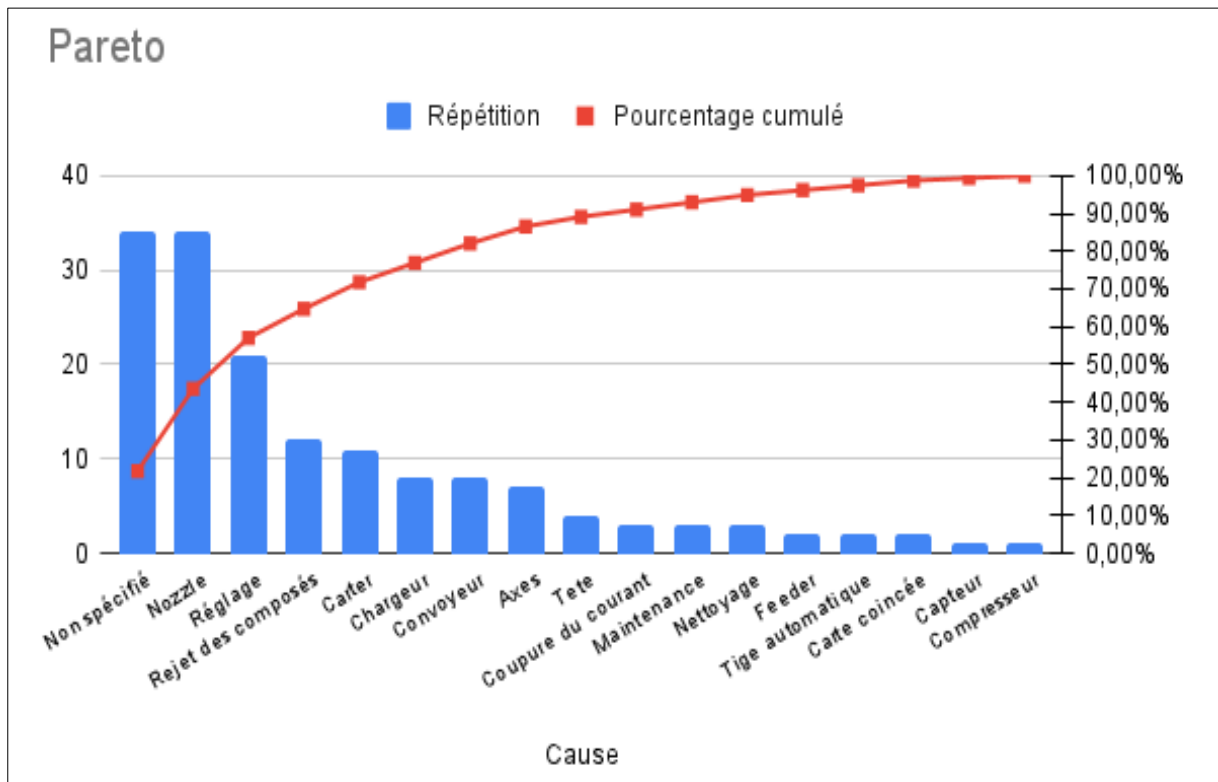


Figure 45– Diagramme Pareto représentant la distribution des causes d'arrêt de la ligne de production.

❖ Interprétation des résultats de Pareto.

Les colonnes du diagramme représentent les différentes causes possibles des arrêts, ces causes ont été énumérées dans le registre de suivi de la ligne de production. L'occurrence de ces causes diffère d'un composé à un autre selon son emplacement et sa fréquence d'utilisation dans la machine.

D'après les résultats obtenus à partir de l'exploitation des données de l'historique de la ligne, on peut classer les causes selon trois catégories :

1. Causes non spécifiées.
2. Causes dues à un composé.
3. Causes dues au réglage ou configuration.

Cette catégorisation permet de déterminer les pistes d'amélioration possibles afin de minimiser l'occurrence de ces pannes.

En se basant sur la courbe de pourcentage cumulé on déduit que les causes principales d'arrêt sont :

- Des causes non spécifiées;
- Problème des nozzles;
- Problème de réglage des machines;
- Problème de rejet de composants dans les machines d'insertion;
- Problème quater.
- Problème au niveau du chargeur de la machine d'insertion.

Concernant les causes non spécifiées, il était important de déduire qu'est-ce qu'elles peuvent représenter, pour cela on a consacré une journée d'observation sur la ligne de production.

Lors de nos observations, nous avons constaté un nombre important de micro-arrêts sur les machines d'insertion, dus à l'incapacité de la machine à prélever le composant du feeder. Ces arrêts peuvent durer de quelques secondes à quelques minutes ; c'est pourquoi ils ne sont pas spécifiés dans les rapports de production.

Généralement, ces micro-arrêts sont causés par des problèmes mineurs qui ne nécessitent pas d'arrêt important pour être résolus. Cependant, ils peuvent s'accumuler et entraîner des inefficacités et des pertes de productivité importantes au fil du temps.

✓ Causes courantes des micro-arrêts de production :

- Dysfonctionnements mineurs de l'équipement : Petits problèmes mécaniques ou électriques qui peuvent être rapidement résolus.
- Interventions des opérateurs : Brèves pauses pour des ajustements ou pour résoudre des problèmes mineurs.
- Problèmes d'approvisionnement en matériel : Courts retards dans l'approvisionnement en matériaux ou en composants nécessaires à la production.
- Contrôles qualité : Pauses pour des inspections rapides ou des mesures de contrôle de la qualité.
- Changements d'outils : Courts arrêts pour changer d'outils ou de matrices.

On a aussi constaté que ces causes d'arrêts non spécifiées peuvent être d'origine organisationnelle ou concerne la machine de soudure Oven.

La figure 46 synthétise les résultats obtenus ainsi que les relations entre les différentes causes :

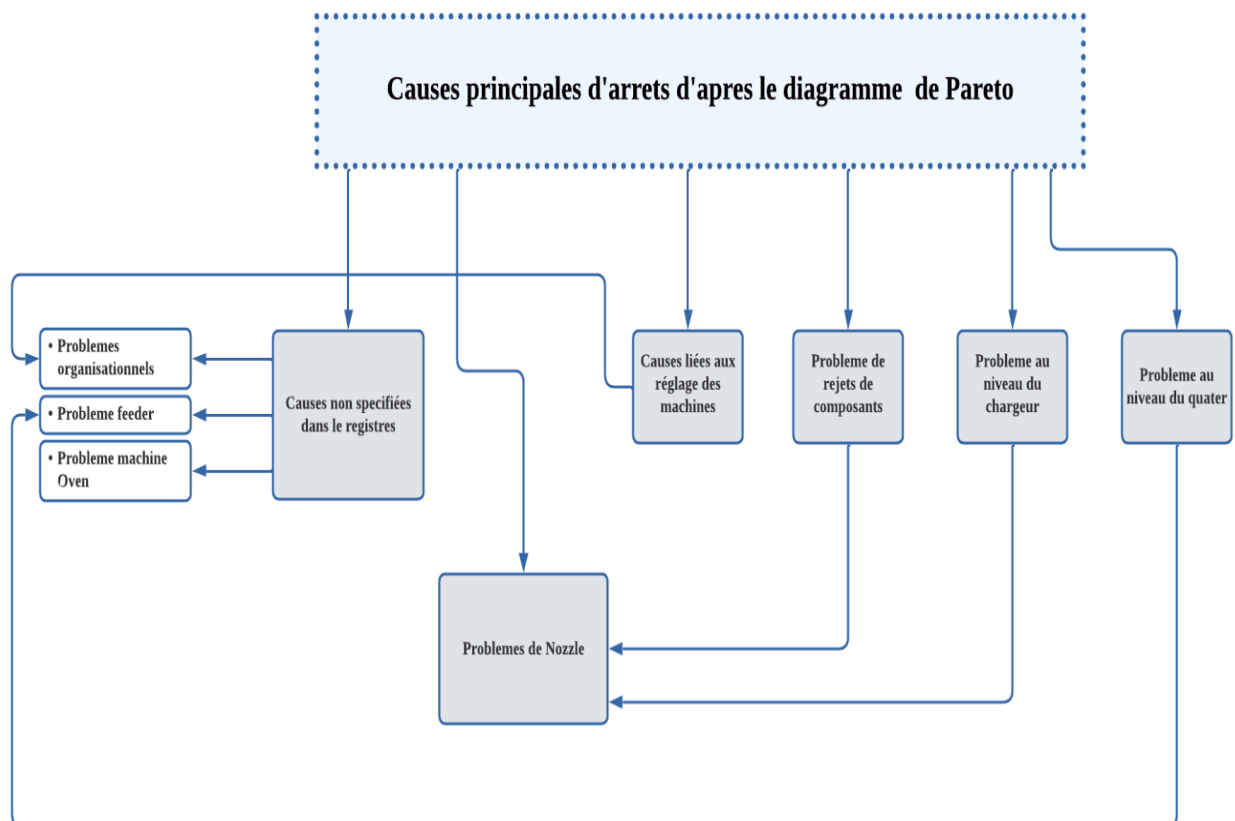


Figure 46– Schéma récapitulatif des résultats du diagramme Pareto.

Dans le but d'approfondir notre étude, et de vérifier les résultats obtenus par le diagramme de Pareto, on s'engage à appliquer la méthode AMDEC, puis on procédera à une comparaison des résultats.

4.2.2. Décomposition fonctionnelle et application de l'AMDEC.

Dans cette partie, nous allons fournir une description détaillée de l'installation et de son fonctionnement. Il existe plusieurs méthodes d'analyse fonctionnelle qui ont pour but de simplifier et de faciliter la compréhension des processus.

Premièrement, nous allons adopter la méthode de décomposition fonctionnelle. Cette approche consiste à décomposer le système en sous-systèmes afin d'identifier et de comprendre les interactions entre les différentes parties du système. Cela nous aidera à saisir en détail le fonctionnement de chaque composant et le procédé global de fabrication des cartes électroniques de type SMT.

Deuxièmement, nous appliquerons la méthode d'analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité (AMDEC). Cette méthode est cruciale pour identifier et évaluer tous les modes de défaillance potentiels du système. Elle nous permettra d'identifier les causes possibles de ces défaillances, d'analyser leurs effets sur chaque élément du système, et de déterminer leurs criticités en termes d'effet sur le fonctionnement global. En utilisant l'AMDEC, nous serons en mesure de prioriser le traitement des causes ayant provoqué des effets critiques et de proposer des mesures correctives pour améliorer la fiabilité et la performance du système.

4.2.2.1. Décomposition fonctionnelle.

La décomposition fonctionnelle est une méthode structurée pour analyser et représenter la complexité des processus en les décomposant en éléments plus simples. En effet, cette approche permet de :

- ✓ Analyser la complexité
 - Permet de décomposer des processus, systèmes ou produits complexes en éléments constitutifs plus simples
 - Aide à gérer la complexité, réduire l'incertitude et acquérir une meilleure compréhension des processus clés
- ✓ Capturer les exigences et estimer les délais
 - Couramment utilisée pour capturer les exigences de chaque étape.
 - Permet des estimations de temps plus précises et facilite le suivi des retards et temps d'arrêts.
 - Aide à identifier les fonctions contribuant aux retards.
- ✓ Concepts clés
 - Fonction : tâche effectuée par un processus, exprimée sous forme verbale-nominale
 - Décomposition : processus de division en éléments constitutifs
 - Fonction générale : fonction nécessitant d'autres fonctions pour avoir lieu
 - Sous-fonction : fonction nécessaire pour qu'une fonction générale se produise
- ✓ Représentation graphique

- Diagramme de décomposition fonctionnelle : représentation des relations hiérarchiques entre tâches et sous-tâches
- Permet de modéliser un système complexe composé de plusieurs sous-systèmes

Afin de bien réaliser cette partie de notre étude du processus on suit les étapes suivantes :

- ✓ Identifier et formuler clairement l'objectif principal du système à analyser.
- ✓ Diviser chaque système principal en sous-systèmes plus détaillés et spécifiques. Cette étape permet de créer une hiérarchie fonctionnelle qui facilite la compréhension du système.
- ✓ Représenter graphiquement les systèmes et sous-systèmes à l'aide de diagrammes.
- ✓ Énumérer la fonction de chaque sous-système séparément.
- ✓ Vérifier que toutes les sous-fonctions identifiées couvrent bien l'ensemble des exigences du système et qu'elles s'alignent avec l'objectif général.
- ✓ Assurer que la description est complète et précise. Ceci peut nécessiter plusieurs itérations pour optimiser la compréhension du système.

Ces étapes permettent de structurer et de simplifier l'analyse d'un système complexe, facilitant ainsi la compréhension et l'amélioration de son fonctionnement.

À partir des résultats obtenus de l'application du diagramme de Pareto dans la partie précédente, on s'intéresse aux machines les plus défectueuses de la ligne de production des cartes électroniques.

Commençons par les machines d'insertion Fuzion Universal :

- ✓ **Machine d'insertion « Fuzion Universal 120-1 et 120-2 ».**

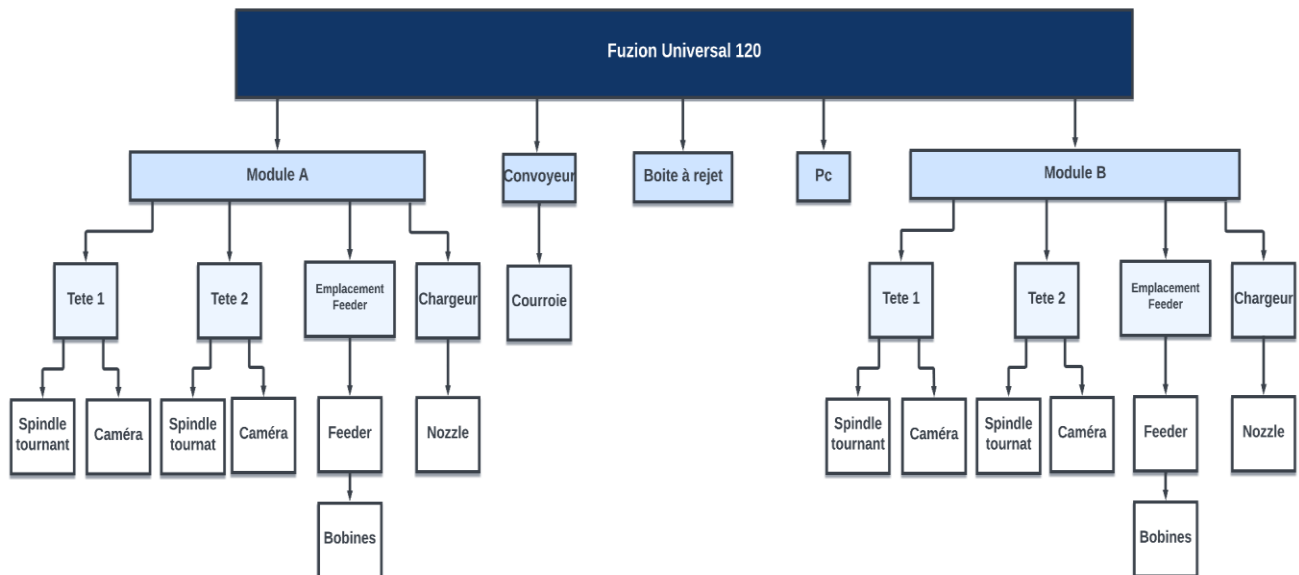


Figure 47– Décomposition fonctionnelle de la machine d'insertion Fuzion Universal 120.

- **Tête** : La tête se compose généralement d'un nozzle à vide ou de plusieurs nozzles fixées à un portique ou à un bras robotique. Ces nozzles sont conçues pour saisir en toute sécurité des composants de différentes formes et tailles. La tête se déplace le long des axes X, Y et Z pour positionner avec précision les composants sur le PCB selon la disposition spécifiée dans le programme d'assemblage.
- **Spindle tournant** : c'est le composant de la machine chargé de récupérer les composants électroniques des feeders et de les placer avec précision sur un circuit imprimé. La broche se compose généralement d'un nozzle à vide ou d'un mécanisme de

préhension conçu pour saisir solidement le composant, ainsi que de commandes de mouvement précises pour le positionner correctement sur le PCB (carte de circuit imprimé).

- **Caméra** : est un système de caméra spécialisé intégré à une machine SMT utilisée dans la production des cartes électroniques. Ces caméras sont conçues pour localiser et inspecter avec précision les composants des circuits imprimés pendant le processus d'assemblage. Ces caméras capturent des images du circuit imprimé ou de zones spécifiques où les composants doivent être placés. Des algorithmes avancés de traitement d'image analysent ces images pour identifier les repères, les positions des composants, les orientations et tout défaut.
- **Feeder** : ils contiennent des bobines, des tubes, des plateaux ou d'autres formes d'emballage pour les composants montés en surface. Le feeder fait avancer les composants vers la tête de la machine, qui récupère ensuite le composant et le place sur le PCB selon les coordonnées programmées. Les feeders sont disponibles en différents types en fonction des exigences spécifiques du processus de fabrication, notamment les chargeurs de bandes, les chargeurs de bâtons, les chargeurs de plateaux, etc. Le choix du doseur dépend de facteurs tels que la taille, la forme et le volume de production des composants.
- **Bobines** : est une méthode d'emballage standard utilisée pour les composants électroniques, en particulier les dispositifs à montage en surface (CMS). Les bobines SMT sont disponibles en différentes tailles et configurations en fonction de la taille et du type de composants qu'elles contiennent. Ils sont étiquetés avec des informations telles que le numéro de pièce du composant, la quantité, le diamètre de la bobine et parfois d'autres spécifications requises pour la fabrication.
- **Chargeur** : est un composant ou un accessoire pour les machines de transfert qui permet un changement rapide et automatisé des nozzles, permettant à la machine de manipuler différents types de composants sans intervention manuelle.
- **Nozzle** : c'est le composant qui récupère les composants électroniques de leur chargeur et les place sur le PCB. Les nozzles se présentent sous différentes formes et tailles pour s'adapter à différents types et tailles de composants, garantissant ainsi un placement précis pendant le processus d'assemblage. Différentes nozzles sont utilisées pour différents types et tailles de composants afin de garantir un placement efficace et précis sur le PCB.
- **Convoyeur** : c'est le mécanisme qui transporte les PCB à travers les différentes étapes du processus d'assemblage.
- **Boîte à rejets** : une partie de la machine de prélèvement et de placement vers laquelle sont redirigés les composants qui ne sont pas placés correctement ou qui présentent des défauts. Au lieu d'être placés sur le PCB, ces composants sont éjectés sur le bac de rejet.
- **Pc** : contrôle le mouvement du portique de la machine, le fonctionnement des systèmes d'alimentation en composants et le placement des composants avec une précision et une rapidité élevée. Le logiciel qui s'exécute sur l'ordinateur comprend généralement des fonctionnalités permettant de programmer des modèles de placement de composants, d'optimiser les séquences de placement et de surveiller les statistiques de production.

✓ **Machine de soudage « OVEN ».**

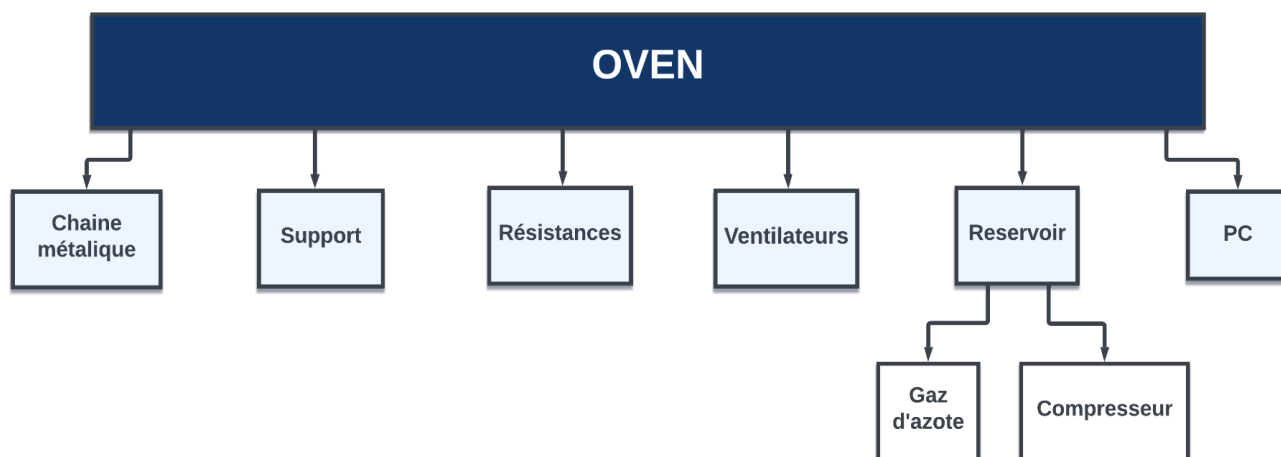


Figure 48– Décomposition fonctionnelle de la machine de soudure -Oven-.

- **Chaîne métallique** : c'est le mécanisme qui transporte les PCB à travers les différentes étapes du processus de soudure
- **Résistances** : La résistance du four aide à maintenir un profil de température constant et contrôlé tout au long du processus de soudage, garantissant ainsi une formation correcte du joint de soudure sans endommager les composants.
- **Ventilateurs** : ventilateur du four aide à faire circuler l'air chaud uniformément dans toute la chambre du four, assurant ainsi un chauffage et un refroidissement uniformes des PCB et des composants. Ceci est essentiel pour obtenir des résultats de soudure cohérents et fiables.
- **Gaz d'azote** : L'azote gazeux est souvent utilisé dans ces fours pour créer une atmosphère inerte, ce qui aide à prévenir l'oxydation de la soudure et améliore la qualité des joints de soudure.
- **Compresseur** : Ces compresseurs sont souvent utilisés pour fournir de l'air comprimé propre, sec à divers équipements tels que les machines de transfert, les stations de soudage et les fours de refusion dans les chaînes d'assemblage SMT. Ils sont connus pour leur fiabilité, leur précision et leur capacité à répondre aux exigences strictes des processus de fabrication électronique.
- **Pc** : il contrôle l'opération du four à travers un logiciel

Cette décomposition fonctionnelle de nos machines critiques permet de faciliter l'application de la méthode AMDEC afin d'approfondir notre étude et déterminer les effets pouvant compromettre la disponibilité de la chaîne de production.

4.2.2.2. Application de la méthode AMDEC.

L'application de l'AMDEC permet non seulement de cerner les modes de défaillances propres à chaque sous système, mais aussi de déterminer le niveau de criticité de chaque défaillance possible, en spécifiant les causes et les effets relatifs à chaque mode de défaillance et de prédire tout effet pouvant surgir au niveau de l'équipement. [8]

L'AMDEC repose sur des concepts cadrés par un vocabulaire précis :

- ✓ Défaillance : cessation de l'aptitude d'un élément ou d'un système à accomplir une fonction requise.
- ✓ Mode de défaillance : effet par lequel une défaillance est observée sur un élément du système. On distingue les modes suivants :
 - Défaillance structurelle (rupture)
 - Blocage physique au coincement
 - Vibrations
 - Ne s'ouvre pas
 - Ne se ferme pas
 - Fuite
 - Dérives des performances
 - Dépasse la limite tolérée
 - Fonctionnement intempestif (panne avance)
 - Fonctionnement irrégulier
 - Indication erronée
 - Arrêt prématuré
 - Mise en marche erronée
 - Ne s'arrête pas à l'instant nominal
 - Ne démarre pas à l'instant nominal (panne retard)
 - Entrée erronée
 - Sortie erronée
 - Court-circuit.
- ✓ Cause de défaillance : événements qui conduisent aux modes de défaillances. Il existe trois types de causes pouvant entraîner une défaillance :
 - Causes internes liées au matériel,
 - Causes externes liées à l'environnement, au milieu et à l'exploitation,
 - Causes externes liées à la main-d'œuvre.
- ✓ Effet d'un mode de défaillance : conséquences associées à la perte de l'aptitude d'un élément à remplir une fonction requise.

L'objectif principal de l'application de l'AMDEC, qui nécessite une évaluation de la probabilité, la gravité, la détectabilité des modes de défaillance d'une manière chiffrée, dans est d'obtenir un niveau de criticité bien défini. Cette approche quantitative offre une évaluation précise et objective des effets, facilite la priorisation basée sur des données concrètes, et est particulièrement utile pour des systèmes complexes ou critiques, ce qui est le cas de notre ligne de production.

❖ **Matrices d'évaluation utilisées.**

Les matrices d'évaluation utilisées ont été élaborées en tenant compte des principes de l'AMDEC et en concertation avec le personnel de l'unité, notamment le personnel du département de production et aussi celui de la maintenance, afin de bien quantifier la criticité des défaillances.

✓ **Grille de fréquence d'occurrence :**

Tableau 20– Grille de fréquence d'occurrence.

Classes de Fréquence	Critère de fréquence de l'occurrence	Cotation de la fréquence
Fréquente	Susceptible de se produire plus de 10 fois/an	1
Probable	Susceptible de se produire plus entre 5 et 10 fois/an	2
Improbable	Susceptible de se produire moins de 5 fois/an	3

✓ **Grille de cotation de gravité :**

Tableau 21– Grille de cotation de gravité.

Classes de Gravité	Conséquences sur la production	Valeur de la gravité
Majeure	Arrêt de production de plus d'une heure	1
Moyenne	Arrêt de production de moins d'une heure.	2
Mineure	Gêne de production.	3

✓ **Grille de détectabilité:**

Le mode de détection est la manière par laquelle un utilisateur est susceptible de détecter la présence d'une défaillance

Tableau 22– Grille de détectabilité.

Classe de détection	Critère de la détection	Valeur de la détection
Aucune	Non détectable à l'avance sans possibilité de réaction	1
Partielle	Aucun signe à l'avance avec possibilité de réaction	2
Totale	Détectable à l'avance avec possibilité de réaction	3

✓ **Calcul de la criticité :**

L'attribution d'un niveau de criticité est liée aux trois facteurs, fréquence, gravité et détectabilité, selon la relation suivante :

$$C = f \times G \times D \quad (23)$$

Tel que :

- f : La fréquence d'apparition du couple mode-cause.
- G : La gravité de l'effet
- D : La possibilité d'utiliser des signes de détection

Ce qui nous permettra ainsi de définir des classes de criticité selon des seuils bien définis dans le tableau 23.

Tableau 23– Grille de criticité.

Valeur de criticité	Niveau de criticité relatif
$C \leq 3$	Critique
$3 \leq C \leq 8$	Important
$8 \leq C \leq 12$	Modéré
$C > 12$	Faible

❖ Tableau de l'AMDEC et interprétation des résultats obtenus.

En se basant sur les résultats de la décomposition fonctionnelle, et en appliquant les critères des grilles choisies, on élabore le tableau synthétisant des résultats de l'AMDEC représenté en **annexe 8**.

D'après le tableau on a pu recenser environ 91 modes défaillances liées aux machines critiques de notre chaîne de production, chacune de ces dernières est caractérisée par une cause, un effet et un niveau de criticité bien définis.

La détermination du niveau de criticité permet de classer les effets et d'avoir une idée plus claire sur les sous-systèmes ou les éléments qui nécessitent des actions correctives immédiates.

Le graphique à secteurs de la figure 49, représente la répartition du niveau de criticité des défaillances abordées dans le tableau.

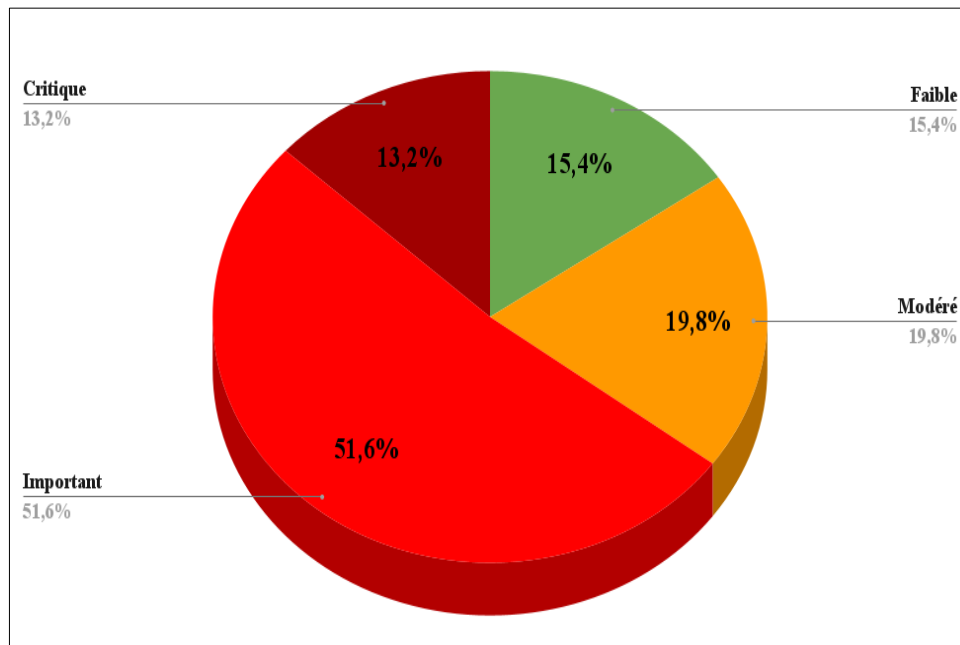


Figure 49– Distribution des degrés de criticité des défaillances étudiées.

On conclut ainsi qu'environ la moitié des défaillances (51.6%) sont importantes, ce qui présente une possibilité d'arrêt de production des cartes électroniques ou qui peuvent nuire sur les structures internes des machines, ce qui se traduit par des temps d'arrêts significatifs et en conséquent des coûts supplémentaires pour l'entreprise. En outre, 35.2% des défaillances sont faibles à modérées dont les effets sont quasiment négligeables vu la durée de l'interruption de la production et les coûts réduits qui en découlent.

D'autre part, à partir de notre étude on constate que 13% des défaillances sont significatives qui nécessitent des actions de maintenance préventive afin d'éviter leur apparition, car en cas de survenue elles peuvent engendrer des arrêts qui dépassent une heure de temps, ce qui est relativement grave. Ces dernières sont réparties sur les différents sous-systèmes de la ligne de production selon la figure 50.

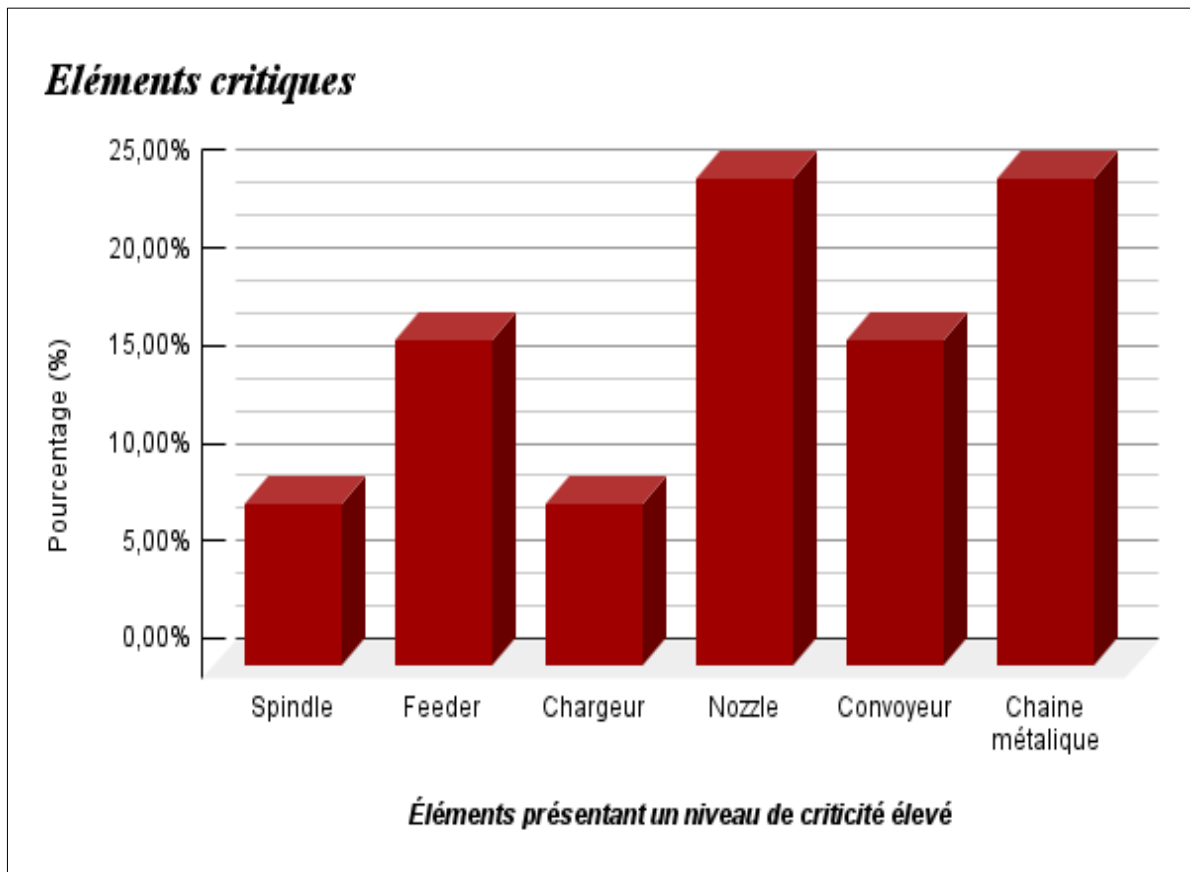


Figure 50– Distribution des éléments critiques de la ligne de production.

Finalement les sous-systèmes critiques de notre ligne de production sont les suivants :

- ✓ Les nozzles;
- ✓ Le chargeur.
- ✓ La chaîne métallique;
- ✓ Le convoyeur ;
- ✓ Les feeders;
- ✓ Les spindles;

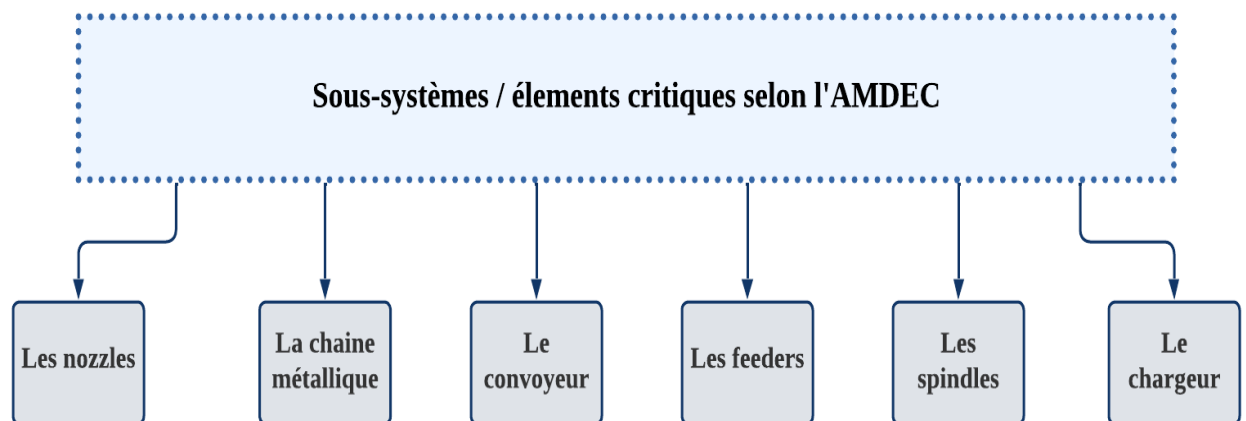


Figure 51– Résultats de l'AMDEC.

❖ Comparaison entre les résultats du diagramme de Pareto et les résultats de l'AMDEC.

Les schémas récapitulatifs des résultats obtenus des deux analyses permettent d'avoir une vue plus claire sur les résultats communs comme l'indique la figure 52, qui sont essentiellement les problèmes de nozzles, feeders et ceux au niveau du chargeur des machines d'insertion.

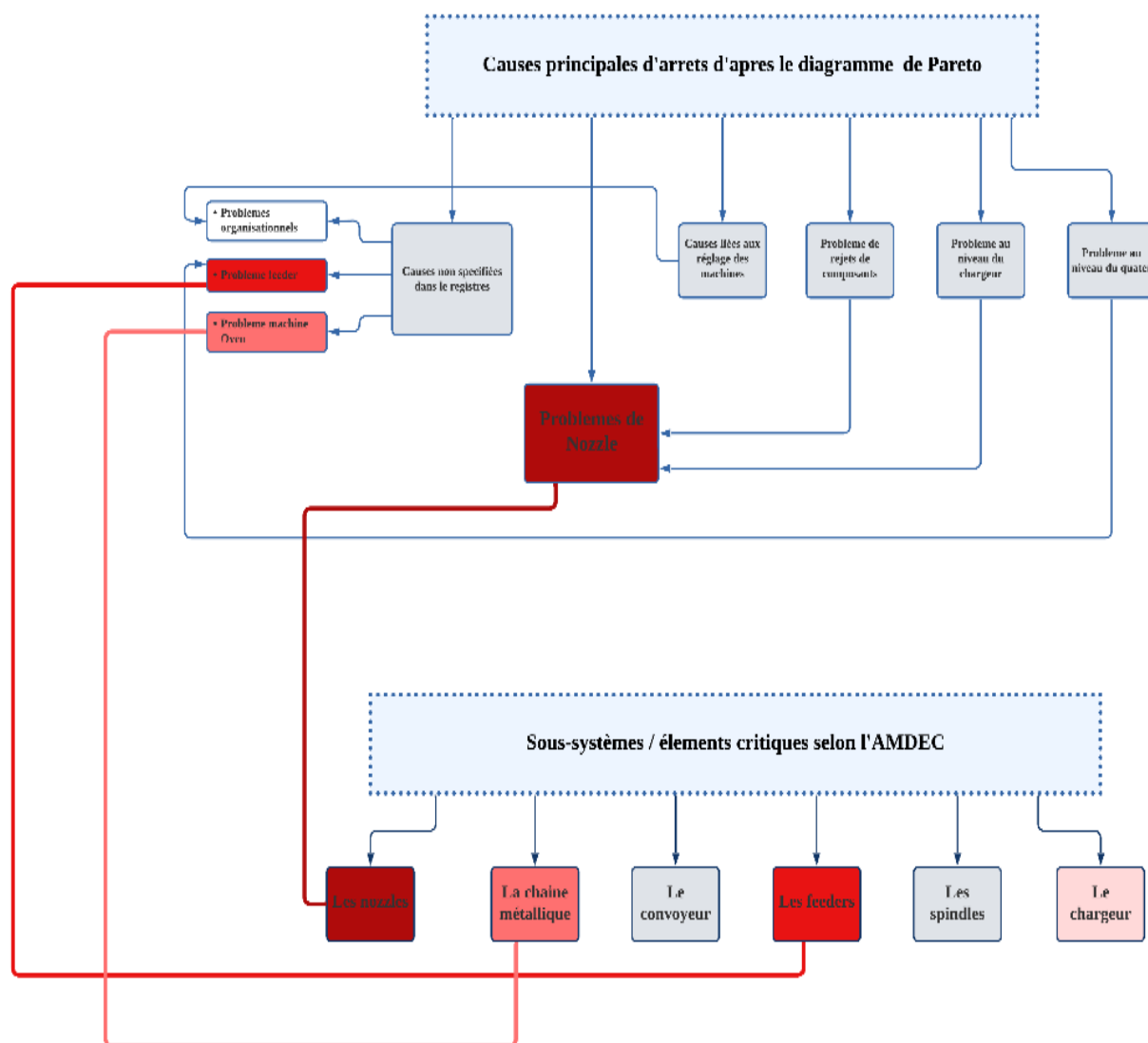


Figure 52– Relation entre les résultats de Pareto et de l'AMDEC.

En combinant les deux méthodes, Pareto et l'AMDEC s'avèrent être des outils complémentaires puissants pour analyser les causes d'arrêts de production.

La méthode de Pareto joue un rôle important dans l'identification rapide des problèmes majeurs qui nécessitent une attention prioritaire. Elle permet de se concentrer sur les 20 % des causes qui génèrent les 80 % des effets, optimisant ainsi l'allocation des ressources.

L'AMDEC quant à elle, offre une analyse détaillée et méthodique des modes de défaillance potentiels. Cette approche proactive permet d'anticiper les risques et de mettre en place des mesures préventives pour les minimiser. L'utilisation conjointe de ces deux méthodes offre une approche robuste pour l'amélioration continue de la fiabilité des processus. En effet, elle permet

de combiner une vision globale des problèmes majeurs avec une analyse fine des causes sous-jacentes, menant à des solutions plus efficaces et durables.

En résumé, la combinaison de la méthode de Pareto et de l'AMDEC permet d'optimiser l'analyse des causes d'arrêts de production, favorisant ainsi une gestion proactive des effets et une amélioration continue de la performance des processus.

En conclusion, notre plan d'action portera sur les sous-systèmes et éléments suivants :

- ✓ Les nozzles ;
- ✓ Le chargeur ;
- ✓ Les feeders ;
- ✓ Problèmes d'ordre organisationnel.

Chapitre V : Optimisation de la disponibilité de la ligne SMT et maitrise des perturbations.

Chapitre V : Optimisation de la disponibilité de la ligne SMT et maîtrise des perturbations.

Dans le présent chapitre, on procède à la maîtrise des perturbations constatées lors du diagnostic de la chaîne de production de l'unité de production des cartes électroniques.

Afin d'assurer le bon déroulement de cette partie déterminante du projet, on commence par élaborer des modèles de plan d'actions amélioratifs, qui sont caractérisés par un ensemble de critères qu'on appliquera par la suite, selon l'ordre de priorité déterminé par la méthode AHP, dans le but de traiter les perturbations d'une manière optimale de point de vue financier et durable.

Les modifications apportées à la ligne de production ne se limitent pas au plan pratique seulement, mais aussi sur le plan organisationnel afin d'assurer une bonne organisation et un suivi régulier.

5.1. Maîtrise des perturbations sur le plan organisationnel.

En tenant compte des résultats du chapitre précédent, on constate que les perturbations rencontrées dans le processus de production sont parfois des erreurs de planification ou d'exécution, c'est à dire des problèmes d'ordre organisationnel. C'est pour cette raison qu'il est indispensable de mettre en place des mesures amélioratives qui permettent le bon suivi de la production.

Dans la démarche de calcul de la disponibilité et la fiabilité de la ligne de production, la collecte de données concernant l'historique de machines était une étape difficile, étant donné qu'elles étaient en format papier (sur un registre), c'est pour cela que l'utilisation d'un fichier Excel pour le suivi de la production peut être un moyen efficace d'améliorer la visibilité, le contrôle et la rentabilité de la production.

❖ Description du fichier Excel.

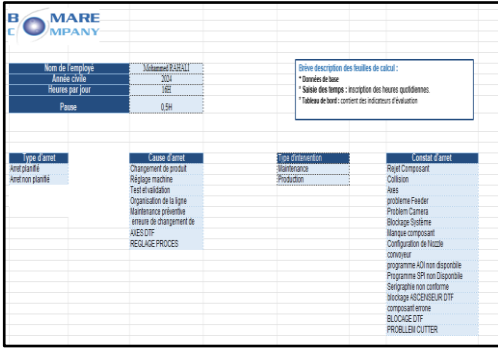

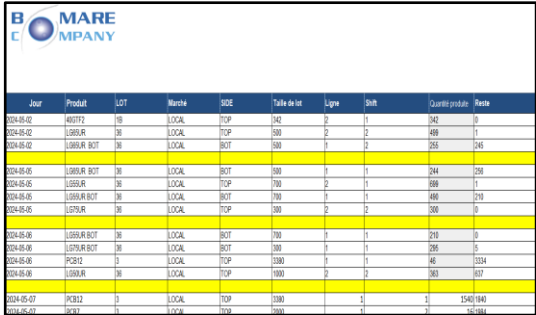
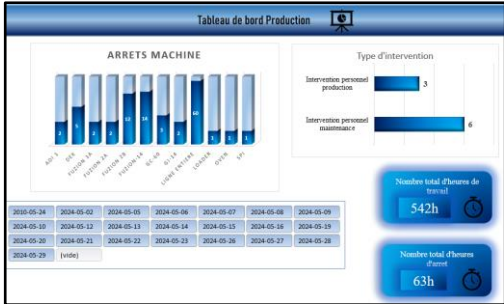
- ✓ Objectif du fichier : un fichier de suivi de production sert généralement à:
 - Justifier les retards de production;
 - Faciliter l'accès à l'information;
 - Connaître les problèmes rencontrés dans la ligne de production;
 - Régler les problèmes récurrents;
 - Traçabilité et mesure des KPIs.

Pour notre cas l'objectif principal de la mise en place de cet outil est de détecter les causes d'arrêts non spécifiés constatés lors de l'exploitation de l'historique des machines, et en les détectant on pourra procéder à leur maîtrise.

- Organisation du fichier :

Le présent fichier est constitué de 4 feuilles, le tableau 24 donne une description de chacune des feuilles.

Tableau 24-Description des feuilles du fichier de suivi de la production.

Numéro	Titre	Description du contenu	Aperçu de la feuille	Objectif
01	Données de base	Souvent appelée une "feuille de métadonnées" fournit des informations sur les données que contient l'ensemble du fichier Excel.		Guider l'utilisateur à choisir les données adéquates pour chaque colonne du fichier et lui permette d'avoir une idée plus claire sur le contenu.
02	Saisie des temps	Cette feuille est l'objet principal du fichier, elle contient toutes les informations concernant la ligne de production : les dates, les types des produits, les horaires de production et d'arrêts, les types d'arrêt et les types d'intervention.		Accéder aux informations concernant la ligne SMT plus rapidement et avoir une traçabilité sur tous les arrêts et problèmes occurrence.
03	Quantités produites	Cette feuille contient les informations concernant les quantités produites ainsi que le type de marché relatif et l'atteinte des objectifs.		Cerner les retards de production et les jours où la production était diminuée afin de tirer les causes et proposer des solutions.
04	Tableau de bord	Contient différents types de graphiques qui fournit un aperçu dynamique et facile à comprendre.		Évaluer la performance des machines et traiter l'écart entre les données des départements de production et de maintenance.

- ✓ Commentaire.
- La deuxième feuille du fichier est munie d'un code couleur que l'utilisateur du fichier Excel doit respecter :
 - Champs obligatoires.
 - Colonnes qui doivent être remplies s'il s'agit d'un arrêt planifié.
 - Colonnes qui doivent être remplies s'il s'agit d'un arrêt non planifié.
 - Calcul automatique
- Sauvegarde et enregistrement des données saisies : cette étape est organisée de la manière suivante :
 - Sauvegarde automatique instantanée
 - Copie sur un autre ordinateur chaque semaine
- ❖ **Initialisation et formation pour l'utilisation de l'outil.**

Afin d'initialiser le personnel de la production concerné par le suivi de production, qui sont principalement le chef d'unité, les ingénieurs de processus et les chefs de ligne une session de formation a été organisée de la manière suivante :

- ✓ Pour la préparation de la formation, le contenu a été condensé en une présentation concise comprenant quelques diapositives, dans le but de simplifier la compréhension et de rendre l'utilisation du nouvel outil plus aisée.
- ✓ Les personnes impliquées dans l'utilisation de l'outil ont été invitées, notamment le chef d'unité, les chefs de lignes (SMT) et les ingénieurs de processus.
- ✓ La formation, d'une durée d'environ une heure, a été organisée avec succès. Elle a été caractérisée par un échange d'informations enrichissant et un partage de connaissances entre les participants.
- ✓ Une séquence de questions-réponses a été intégrée à la formation pour permettre aux participants de clarifier leurs doutes et d'approfondir leur compréhension de l'outil.
- ✓ La formation s'est conclue avec succès, démontrant une bonne assimilation du contenu par les participants et une préparation adéquate pour l'utilisation future de l'outil.

Le PV de la réunion et la feuille de présence est jointe en annexe 9.

❖ **Lancement du fichier de production et évaluation de son utilisation.**

Le fichier de suivi de la production a été lancé le 02 mai 2024, ainsi après une durée d'un mois d'utilisation il est important d'évaluer son efficacité et tirer des pistes d'amélioration. (Une copie du fichier est jointe en annexe 10)

L'évaluation de l'efficacité de notre fichier de suivi de production a révélé plusieurs aspects positifs et des opportunités d'amélioration. Tout d'abord, nous avons constaté que le fichier capture de manière exhaustive les données clés sur la production, y compris les quantités produites, les temps d'arrêt et aussi on constate que chaque arrêt survenu est bien défini et spécifié ce qui aide à éliminer les causes d'arrêts non spécifiés et ainsi optimiser la disponibilité de notre ligne de production.

On constate par une comparaison entre les données saisie et les données écrites sur le registre que les informations sont précises et fiables, ce qui nous permet d'avoir une vision claire de la performance de notre unité de production. De plus, la facilité d'utilisation du fichier a été soulignée par les utilisateurs, qui ont trouvé l'interface conviviale et intuitive.

Cependant, nous avons identifié quelques lacunes dans la pertinence des indicateurs de performance attribués dans le tableau de bord du fichier. Certains de ces indicateurs pourraient être ajustés pour mieux refléter les objectifs stratégiques de l'entreprise. En recueillant les commentaires des utilisateurs et en comparant les données enregistrées avec nos objectifs de production, nous avons identifié des domaines où des améliorations peuvent être apportées pour optimiser la performance opérationnelle.

Globalement, on conclut que le fichier de suivi de production constitue un outil précieux pour l'unité de production, mais il reste des opportunités d'optimisation que nous envisageons d'explorer dans le cadre du processus d'amélioration continue.

✓ **Calcul du taux d'augmentation de la disponibilité engendré par la mise en place de l'outil de suivi de production.**

Machine	Loader	DEK	SPI	Fuzion-1	Fuzion-2	Fuzion-14	AOI	Oven
TBF	4139h50	4135h55	4140h50	4097h30	4106h50	4136h25	4137h15	4160h30

✓ **Calcul des disponibilités relatives à chaque machine :**

Machine	Loader	DEK	SPI	Fuzion-1	Fuzion-2	Fuzion-14	AOI	Oven
Disponibilité (%)	99.40	99.30	99.41	98.38	98.60	99.31	99,33	99.89

✓ **On applique la formule suivante (10)**

On obtient le nouveau taux de disponibilité : $D_{calculée} = 94,85 \%$

✓ **Enfin, le taux d'augmentation de disponibilité est égal à :**

$$\text{Taux d'augmentation de la disponibilité} = 94,85 - 91,99 = 2,86 \%$$

5.2. Maitrise des perturbations sur la plan pratique.

D'après les résultats obtenus à partir de l'élaboration du diagramme Pareto et la mise en place de l'AMDEC on a pu constater que les nozzles et les feeders sont des éléments critiques d'un processus SMT et aussi le chargeur des machines d'insertion rencontre souvent des problèmes qui peuvent altérer la précision du dépôt des composants sur la carte électronique.

5.2.1. Constitution des modèles de plan d'actions amélioratifs.

Dans cette partie on proposera des modèles de plan d'action, dont chacun concerne un élément critique parmi ceux abordés auparavant. Chaque modèle est caractérisé par des critères importants, de valeurs variables qu'on déterminera l'ordre de priorité de par le biais de la méthode multicritères Processus Analytique Hiérarchique (AHP) par la suite.

❖ Description des critères choisis.

- ✓ Taux d'augmentation de la disponibilité : le taux est calculé à partir du tableau de collecte de données d'historiques de machines, en supposant que les problèmes concernant l'élément qui fait l'objet du modèle ont été résolus, les temps d'arrêt attribués à ces pannes seront ajoutés au temps de bon fonctionnement de la machine contenant l'élément et le calcul du nouveau taux de disponibilité sera calculé ainsi le taux d'augmentation de la disponibilité par la formule suivante :

$$\text{Taux d'augmentation de la disponibilité} = D_{\text{Calculée}} - D_{\text{Initiale}} \quad (24)$$

Prenons un exemple du premier modèle :

- On sélectionne les lignes qui indiquent l'arrêt de la machine Fuzion Universal 120-1 à cause des nozzles :

Date	Début d'arrêt	Fin d'arrêt	Temps d'arrêt	Machine	Composant
21/02/2023	18:05:00	19:00:00	00:55:00	FUZION 1	Nozzle
07/03/2023	20:45:00	21:10:00	00:25:00	FUZION 1	Nozzle
06/04/2023	05:05:00	05:25:00	00:20:00	FUZION 1	Nozzle
13/04/2023	01:00:00	01:35:00	00:35:00	FUZION 1	Nozzle
30/05/2023	18:10:00	18:55:00	00:45:00	FUZION 1	Nozzle
18/06/2023	17:40:00	22:00:00	04:20:00	FUZION 1	Nozzle
05/09/2023	16:30:00	17:30:00	01:00:00	FUZION 1	Nozzle
02/10/2023	22:30:00	22:55:00	00:25:00	FUZION 1	Nozzle
22/10/2023	08:00:00	08:30:00	00:30:00	FUZION 1	Nozzle
12/12/2023	08:00:00	11:30:00	03:30:00	FUZION 1	Nozzle

Figure 53– Regroupement des lignes indiquant les arrêts dus aux nozzles.

- La somme des temps d'arrêts est égale à 9h45mn.
- On répète l'opération pour les machines Fuzion 120-2 et Fuzion-14, on trouve 10h25mn et 6h

- On ajoute les valeurs trouvées aux anciens temps de bon fonctionnement des machines :

Machine	Loader	DEK	SPI	Fuzion-1	Fuzion-2	Fuzion-14	AOI	Oven
TBF	4130h50	4132h25	4138h15	4092h55	4105h50	4135h45	4132h05	4140h55

- On calcule par la suite les disponibilités relatives à chaque machine :

Machine	Loader	DEK	SPI	Fuzion-1	Fuzion-2	Fuzion-14	AOI	Oven
Disponibilité (%)	99.17	99.21	99.35	98.26	98.58	99.30	99,2	99.42

- On applique la formule suivante (10).

On obtient le nouveau taux de disponibilité : $D_{calculée} = 92,53 \%$

- Enfin, le taux d'augmentation de disponibilité est égal à :

$$\text{Taux d'augmentation de la disponibilité} = 92,53 - 91,99$$

$$\text{Taux d'augmentation de la disponibilité} = \mathbf{0,54 \%$$

De la même manière, on calcule pour les autres modèles.

- ✓ Niveau d'amélioration :

- **Très inefficace** : N'apporte aucune amélioration.
- **Peu efficace** : Apporte une légère amélioration.
- **Moyennement efficace** : Apporte une amélioration modérée.
- **Efficace** : Apporte une amélioration significative.
- **Très efficace** : Apporte une amélioration majeure et dépasse les attentes initiales.

- ✓ Facilité d'application :

- **Très difficile** : Nécessite une expertise approfondie, des ressources importantes et une planification détaillée pour réussir.
- **Difficile** : Présente des obstacles ou des contraintes majeurs qui nécessitent une attention et des efforts considérables pour être surmontés.

- **Moyennement difficile** : Implique quelques défis qui peuvent être gérés avec une planification et une exécution modérée.
 - **Facile** : Peut être mise en œuvre avec des ressources et des efforts standard sans complications majeures.
 - **Très facile** : Exige un effort minimal et s'intègre de manière transparente aux processus existants.
- ✓ **Cout** :
- **Important** : nécessitant un achat de pièces de rechanges et de nouveau matériel, plus le cout des de la main d'œuvre.
 - **Négligeable** : ne nécessitant pas l'achat de nouvelles pièces de rechange ou de nouveau matériel, se limite seulement sur le cout de la main d'œuvre.
- ✓ Concernant le temps nécessaire de la mise en œuvre du modèle il a été attribué à l'aide du retour d'expérience du personnel de production et de maintenance.

Au final on obtient le tableau 25 représente les modèles.

Tableau 25- Caractéristiques des modèles de plans d'action amélioratifs.

Critère	Modèle 01 : Nozzles	Modèle 02 : Chargeur	Modèle 03 : Feeders
Taux d'augmentation de disponibilité (%)	0.54	0.12	0.16
Niveau d'amélioration	Efficace	Moyennement efficace	Très efficace
Cout	Négligeable	Important	Négligeable
Temps nécessaire	Une journée	Deux journées	Deux journées
Facilité d'application	Facile	Moyennement difficile	Facile

5.2.2. Hiérarchisation de priorités des critères par la méthode AHP. [22]

L'AHP, ou Processus Analytique Hiérarchique, est une méthode multicritère d'aide à la décision développée par Thomas Saaty dans les années 1980. Elle permet de structurer un problème complexe en une hiérarchie de critères et sous-critères, puis de comparer ces éléments par paires afin de déterminer leur importance relative.

❖ Les étapes principales de la méthode AHP.

- ✓ Définir le problème et les objectifs ;
- ✓ Le problème est ensuite décomposé en une hiérarchie de critères, sous-critères et alternatives ;

- ✓ Déterminer les poids des critères : Pour chaque niveau de la hiérarchie, les critères sont comparés par paires afin de déterminer leur importance relative. Ces comparaisons sont réalisées à l'aide d'une échelle de jugement, généralement de 1 à 9, où 1 représente une importance égale et 9 une importance très forte. Les comparaisons sont regroupées dans des matrices de comparaison par paires.
- ✓ Calculer les poids normalisés : Les poids des critères sont ensuite normalisés afin d'obtenir des valeurs comprises entre 0 et 1.
- ✓ Évaluer les alternatives : Les alternatives sont ensuite évaluées par rapport à chaque critère en utilisant la même méthode de comparaison par paires.
- ✓ Calculer le score global de chaque alternative : L'alternative avec le score global le plus élevé est celle qui est la plus favorable à la décision.

Il est essentiel de calculer l'indice et le ratio de cohérence afin de garantir que le choix effectué est logique et raisonnable.

❖ **Avantages de la méthode AHP.**

L'AHP présente plusieurs avantages majeurs qui en font un outil précieux pour la prise de décision multicritère :

- ✓ Structurer et clarifier des problèmes complexes
- ✓ Intégrer des critères divers et hétérogènes
- ✓ Assurer la cohérence et la fiabilité des évaluations
- ✓ S'adapter à une grande variété de situations décisionnelles

❖ **Limites de la méthode AHP.**

Malgré ses nombreux avantages, la méthode AHP présente certaines limites qu'il est important de prendre en compte lors de son utilisation :

- ✓ Limites de l'échelle de jugement ;
- ✓ Complexité croissante avec le nombre de critères ;
- ✓ Prise en compte limitée des interdépendances entre les critères : généralement les critères comme indépendants les uns des autres, alors qu'en réalité, des interactions et des synergies peuvent exister entre eux ;
- ✓ Phénomène de "renversement de rang" ("Rank reversal") ;
- ✓ Comparaison par paires : La méthode AHP repose sur des comparaisons par paires, ce qui peut être subjectif et difficile pour des critères complexes.

❖ **Application de la méthode à notre cas d'étude :**

- ✓ Attribution d'abréviation aux noms des critères :
 - Taux d'augmentation de disponibilité (%) : TD ;
 - Niveau d'amélioration : NA ;

- Coût : C ;
 - Temps nécessaire : TN ;
 - Facilité d'application : F.
- ✓ Comparer les critères deux par deux :
- Inscrire les valeurs décimales :

	TD	NA	C	TN	F
TD	1	3	3	9	7
NA	1/3	1	2	7	5
C	1/3	1/3	1	5	7
TN	1/9	1/9	1/5	1	2
F	1/7	1/7	1/7	1/2	1

- Normaliser la matrice :

	TD	NA	C	TN	F
TD	1,00	3,00	3,00	9,00	7,00
NA	0,33	1,00	2,00	7,00	5,00
C	0,33	0,33	1,00	5,00	7,00
TN	0,11	0,11	0,20	1,00	2,00
F	0,14	0,14	0,14	0,50	1,00
Somme	1,92	4,59	6,34	22,50	22,00

- Calcul des poids des critères :

	TD	NA	C	TN	F	Poids des critères	Priorité
TD	0,52	0,65	0,47	0,40	0,32	0,473170	1
NA	0,17	0,22	0,32	0,31	0,23	0,249049	2
C	0,17	0,07	0,16	0,22	0,32	0,188854	3
TN	0,06	0,02	0,03	0,04	0,09	0,049790	4
F	0,07	0,03	0,02	0,02	0,05	0,039135	5

- Calcul de l'indice et le ratio de cohérence :

L'indice de cohérence (IC) est le rapport entre la différence de la valeur propre λ_{\max} moins le nombre de comparaison sur ce dernier moins un :

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (24)$$

En outre, Le Ratio de Cohérence (RC) est le rapport de l'indice de cohérence calculé sur la matrice correspondant aux jugements du décideur et de l'indice aléatoire (IA) d'une matrice de même dimension.

$$RC = \frac{IC}{IA} \quad (25)$$

La lecture de la valeur d'IA est indiquée par un tableau d'indice aléatoire : n= nombre de critères On a n = 5, la valeur correspondante est égale à 1,12. [22]

Si $RC \leq 0,1$ ou $RC \leq 10\%$, la matrice est considérée comme suffisamment cohérente, dans le cas où cette valeur dépasse 10%, les appréciations peuvent exiger certaines révisions.

	TD	NA	C	TN	F	Somme pondérée des valeurs
TD	0,47	0,75	0,57	0,45	0,27	2,51
NA	0,16	0,25	0,38	0,35	0,20	1,33
C	0,16	0,08	0,19	0,25	0,27	0,95
TN	0,05	0,03	0,04	0,05	0,08	0,25
F	0,07	0,04	0,03	0,02	0,04	0,19

Poids des critères	Somme pondérée des valeurs	Ratio	Lambda max	IC	RC
0,473170	2,51	5,302418	5,116692	0.0275	0.02455
0,249049	1,33	5,334991			
0,188854	0,95	5,043423			
0,049790	0,25	4,942085			
0,039135	0,19	4,960542			

D'après le résultat obtenu $RC \leq 0,1$, ainsi la matrice est considérée comme une matrice cohérente.

- ✓ Choix du modèle : D'après les résultats obtenus par l'application de la méthode AHP on conclut que l'ordre de priorité des modèles de plan d'actions amélioratifs est comme suit :

- Modèle 01 : Nozzles.
- Modèle 03 : Feeders.
- Modèle 02 : Chargeur.

Étant donné que le modèle 02 qui concerne le chargeur ne présente qu'une amélioration de 0,12% du taux de disponibilité de la ligne de production et que les coûts relatifs sont importants on se limite à mettre en œuvre les deux autres modèles seulement.

5.2.3. Mise en œuvre des plans d'actions amélioratifs.

5.2.3.1. Modèle 01 : Nozzles.

D'après les résultats obtenus à partir de l'élaboration du diagramme Pareto et la mise en place de l'AMDEC on a pu constater que les nozzles sont des éléments critiques d'un processus SMT est qu'avoir des nozzles propres est une étape primordiale pour assurer le bon fonctionnement des machines d'insertion.

Afin de déterminer la cause fondamentale des temps d'arrêt de la machine dus aux nozzles, nous avons choisi le diagramme de cause et d'effet ou le diagramme en arête de poisson qui est une méthode populaire pour le brainstorming et l'analyse de la causalité dans le processus.

❖ **Élaboration d'un diagramme d'Ishikawa.** [13]

Une séance de travail a été organisée avec la présence d'experts en processus : Chef d'unité, Ingénieurs processus SMT, Responsable hiérarchique SMT, durant laquelle on a procédé de la manière suivante :

- ✓ Dessin de la forme d'arête de poisson de base sur un tableau avec les principaux connecteurs : personnel, matériel, mesure, machines, méthodes et environnement ;
- ✓ Écriture d'une version résumée du problème où la tête de poisson devrait être ;
- ✓ Explication des catégories du diagramme en arête de poisson à l'équipe ;
- ✓ Écrire les idées sur le diagramme en arête de poisson et une fois que les experts en processus sont à court d'idées pour la première catégorie on passe à la catégorie suivante, les étapes sont répétées de 5 à 8 fois pour toutes les autres catégories ;
- ✓ Analyse du diagramme et discussion des causes potentielles et les déplacer dans les catégories appropriées pour créer une représentation visuelle organisée ;
- ✓ Élimination des causes qui ne s'avèrent pas valides après discussion initiale.

La session de l'atelier a duré 1 heure et 30 minutes, Le graphique de la figure 54 montre le résultat de cette analyse.

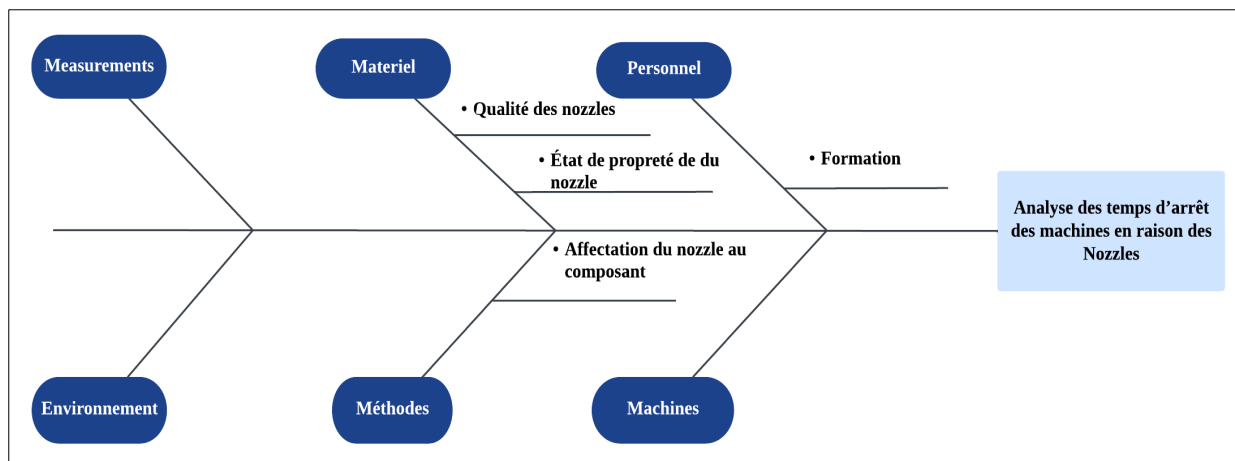


Figure 54– Résultats de l'application du diagramme d'Ishikawa.

Selon le graphique, les causes possibles pourraient être :

- ✓ Personnel de Catégorie : formation.
- ✓ Matériau de la catégorie :
 - Qualité du matériau de du nozzle ;
 - État de propreté de du nozzle.
- ✓ Méthode par catégorie : Affectation du nozzle au composant.

Une enquête plus approfondie a été nécessaire pour déterminer les causes profondes des temps d'arrêt de la machine en raison de la défaillance du nozzle.

Par la suite, on détaillera chaque cause afin de déterminer les pistes d'amélioration possibles.

- ✓ Personnel : Formation.

Nous avons vérifié auprès du service des ressources humaines les qualifications et l'expérience du personnel afin de vérifier que le personnel de travail est bien qualifié pour travailler avec l'équipement SMT, selon leurs dossiers ; le personnel SMT est une équipe stable ; avec un pourcentage de roulement nul au cours des sept dernières années le tableau de la figure 55 résume l'expérience du personnel.

Titre de l'employé	Expérience en années	Observation
Chef d'unité	12 ans d'expérience	J'ai suivi de nombreuses formations séances; organisé par le fournisseur d'équipement
Ingénieur procédés SMT 1	9 ans d'expérience (dont 4 en SMT)	J'ai suivi de nombreuses formations séances; organisé par le fournisseur d'équipement
Ingénieur procédés SMT 2	9 ans d'expérience (dont 4 en SMT)	J'ai suivi de nombreuses formations séances; organisé par le fournisseur d'équipement
Ingénieur procédés SMT 3	1 an et demi	Passé l'interne formation qualifiante
Chef de ligne SMT	17 ans d'expérience	J'ai suivi de nombreuses formations séances; organisé par le fournisseur d'équipement
Opérateur de machine 1	8 ans d'expérience	/
Opérateur de machine 2	8 ans d'expérience	/
Opérateur de machine 3	7 ans d'expérience	/

Figure 55– Expérience du personnel du département de production.

Après vérification de ces preuves, la cause de la formation pourrait être exclue de l'analyse

✓ Catégorie Matériaux.

▪ Qualité du matériel de le nozzle :

Selon le personnel de SMT, les nozzles utilisées sont de haute qualité et originaux (fournies par le fournisseur d'équipement), ce facteur pourrait donc être exclu de l'analyse.

▪ État de propreté des nozzles :

Lors de notre observation en ligne, nous avons observé quelques arrêts de production dus à des nozzles sales (des résidus de soudure passés sur le nozzle, à chaque fois le chef de ligne arrête le nozzle de la machine et le nettoie ; puis le remet dans la machine et reprend la production.)

Ne pas nettoyer les nozzles SMT peut entraîner divers problèmes pouvant affecter la qualité et efficacité du processus de fabrication. Voici quelques-unes des principales conséquences :

- ✓ Précision de placement réduite : des nozzles sales peuvent provoquer un désalignement lors du placement des composants, entraînant positionnement imprécis sur le PCB. Cela peut entraîner de mauvais joints de soudure et pannes électriques potentielles.
- ✓ Blocages et colmatage : les débris accumulés, la pâte à souder ou les résidus d'adhésif peuvent bloquer le nozzle, empêchant une pression de vide appropriée. Cela peut entraîner des composants captés de manière inadéquate ou pas du tout.
- ✓ Augmentation des taux de défauts : les risques de défauts tels que les chutes, les pontages et les boules de soudure augmentent lorsque les nozzles ne sont pas propres. Ces défauts peuvent entraîner des courts-circuits, circuits ouverts et performances électriques globalement médiocres.

- ✓ Diminution de l'efficacité de la production : les blocages et mauvais placements fréquents des nozzles peuvent ralentir la chaîne de production en raison de la nécessité d'une intervention et de reprises manuelles. Cela peut entraîner des cycles de production plus longs et une augmentation des coûts de main-d'œuvre.
- ✓ Dommages aux composants et au PCB : une force excessive appliquée par une nozzle sale peut endommager les composants sensibles ou le PCB lui-même. Cela peut entraîner des rebuts de matériaux et des coûts supplémentaires.
- ✓ Mauvais transfert de pâte à souder : des nozzles sales peuvent affecter négativement le transfert de pâte à souder vers le PCB, conduisant à un dépôt de soudure insuffisant ou excessif. Cela peut entraîner des problèmes dans le processus de soudure et affecter la fiabilité du produit final.
- ✓ Augmentation de la maintenance et des temps d'arrêt : Négliger le nettoyage des nozzles peut entraîner des pannes plus fréquentes et exigences d'entretien. Ces temps d'arrêt imprévus peuvent perturber les calendriers de production et réduire le débit global.
- ✓ Qualité incohérente : la variabilité de la propreté des nozzles peut conduire à un produit incohérent de qualité. Cela peut avoir un impact sur la satisfaction des clients et conduire à des retours potentiels ou à des réclamations au titre de la garantie.

Ainsi, l'état de propreté des nozzles peut être considéré comme la cause principale des pannes des machines causées par les nozzles.

Pour éviter ces problèmes, il est essentiel d'établir un programme régulier de nettoyage et d'entretien des nozzles. Des techniques de nettoyage appropriées et une utilisation d'agents de nettoyage appropriés peuvent aider à maintenir les performances des nozzles et à prolonger leur durée de vie, garantissant ainsi un assemblage SMT fluide et efficace.

- Procédure de nettoyage.
 - ✓ Matériel nécessaire :
 - Solvant de nettoyage (UIC nozzle clean)
 - Nettoyeur ultrasonique
 - Air comprimé
 - Eau distillée.
 - ✓ Étapes :
 - Retirer les nozzles de la plateforme du chargeur.
 - Placer l'outil de retrait de nozzle avec les nozzles sur les crochets et placez-les dans le nettoyeur ultrasonique.
 - Remplir le nettoyeur ultrasonique avec de l'eau distillée ($\frac{1}{4}$ en dessous des nozzles).
 - Ajouter le solvant de nettoyage des nozzles au nettoyeur ultrasonique jusqu'à atteindre la moitié.

- Fermer le nettoyeur ultrasonique et lancer le nettoyage.
- Une fois le processus terminé, nettoyer les nozzles avec de l'eau et laisser sécher.
- Maintenir les nozzles toujours fixées à l'outil de retrait, séchez-les à l'air comprimé propre.
- Remettre les nozzles en place dans la machine.

Les étapes précédentes sont présentées sur l'affiche de procédure représentée en **annexe 11**.

Concernant la fréquence de nettoyage, il n'y a pas de période spécifique pour le nettoyage des nozzles, la fréquence dépend de plusieurs facteurs tels que :

- Type de matériau utilisé : Certains matériaux peuvent avoir tendance à obstruer les nozzles plus rapidement que d'autres. Par exemple, les matériaux contenant des particules ou des additifs peuvent nécessiter un nettoyage plus fréquent.
- Volume de production : Plus la machine est utilisée pour produire des pièces, plus les nozzles sont susceptibles de s'encrasser rapidement. Une production intensive peut nécessiter un nettoyage plus fréquent.
- Qualité de la matière première : La qualité de la matière première utilisée peut influencer la fréquence du nettoyage des nozzles. Les matériaux de moindre qualité peuvent contenir des impuretés ou des contaminants qui peuvent obstruer les nozzles plus rapidement.
- Conditions environnementales : L'environnement de travail, comme la température, l'humidité et la poussière, peut également affecter la fréquence du nettoyage des nozzles. Les environnements poussiéreux ou humides peuvent accélérer l'encrassement des nozzles.

✓ Catégorie de méthodes : affectation des nozzles au composant :

Dans l'assemblage par technologie de montage en surface (SMT), la sélection appropriée d'un nozzle pour placer les composants est importante. Si un nozzle incorrect est attribué, plusieurs une des conséquences négatives cités auparavant peuvent survenir.

Chaque composant SMT, en fonction de sa taille, de sa forme et de son poids, nécessite un type spécifique de nozzle pour garantir une manipulation correcte pendant le processus de fabrication.

Afin de garantir le bon déroulement de cette étape, nous avons vérifié certaines définitions de composants dans les machines et nous avons constaté que la taille configurée du composant ne correspond pas à sa taille réelle, et nous avons observé que la méthode de définition du composant SMT ne suit pas une norme bien définie qui crée une variation dans le processus de définition des composants SMT entre ingénieurs.

Ainsi il est essentiel de mettre en place une procédure pour définir les composants dans la machine et leur attribuer une nozzle.

- Procédure à suivre.
 - Identifier les spécifications des composants :
 - Taille : Mesurez la longueur, la largeur et la hauteur du composant.
 - Forme : Déterminez si le composant est carré, rectangulaire, cylindrique, etc.
 - Poids : Connaissez le poids pour vous assurer que le nozzle peut le manipuler sans tomber.
 - Matériau de surface : certaines nozzles sont mieux adaptées à des matériaux spécifiques (par exemple, nozzles caoutchoutées pour surfaces délicates).

Remarque : toutes les informations se trouvent dans la fiche technique des composants.

- Référez-vous au catalogue de nozzles :
 - La plupart des fabricants de machines de transfert fournissent un catalogue ou un guide de nozzles. Cela listera les nozzles disponibles et leurs spécifications.
 - Croisez les spécifications des composants avec le catalogue de nozzles pour trouver le meilleur correspondant.
- Attribuer des types de nozzles en fonction des catégories de composants :
 - Composants de puce (résistances, condensateurs) : utilisez généralement de petits nozzles plats.
 - IC (Circuits Intégrés) : nozzles plus grandes avec des formes spécifiques pour épouser le contour du composant.
 - LED : nécessitent souvent des nozzles spécialisées pour s'adapter à leur forme et à leur taille.
 - Connecteurs et gros composants : des nozzles personnalisées peuvent être nécessaires pour gérer formes et poids uniques.
- Tester et valider :
 - Après l'affectation initiale, effectuez des tests de placement pour vous assurer que le nozzle peut prélever et placer le composant avec précision.
 - Effectuez les ajustements nécessaires en fonction des résultats des tests.
- Documentation et réglage:
 - Conservez des enregistrements détaillés des affectations de nozzles pour chaque type de composant.
 - Réviser et ajuster régulièrement les missions en fonction des retours de production et des changements dans les spécifications des composants

Au final, cette démarche nous a permis de cerner les pistes d'amélioration les plus pertinentes et de mettre en place des procédures adéquates pour le maintien du bon fonctionnement des nozzles et ainsi maintenir le bon enchaînement des étapes du processus de fabrication des cartes électroniques.

❖ **Évaluation de l'améliorative relative à ce plan d'action.**

Afin d'évaluer l'amélioration apportée par nos mesures préventives, un nettoyage de l'ensemble des nozzles des machines d'insertion a été effectué le 08 mars 2023 et la procédure d'attribution de nozzle a été suivie d'une manière régulière. Les deux mois suivants ces modifications on a pu constater une amélioration remarquable, ce qu'on peut facilement visualiser à partir de l'évaluation suivante :

- Période du 10/01/2024 au 10/03/2024.

Tableau 26–Perturbations de la ligne SMT dues aux nozzles durant la période 10/01/2024-10/03/2024.

Date	Début arrêt	Fin arrêt	Durée d'arrêt	Machine
14/01/2024	23:15:00	23:30:00	00:15:00	120-2
01/02/2024	18:30:00	19:10:00	00:40:00	14
01/02/2024	19:25:00	19:40:00	00:15:00	14
06/02/2024	18:30:00	19:15:00	00:45:00	120-1
06/02/2024	19:15:00	19:25:00	00:10:00	120-2
18/02/2024	08:00:00	08:15:00	00:15:00	120-2
18/02/2024	21:10:00	21:20:00	00:10:00	14
22/02/2024	17:30:00	18:00:00	00:30:00	14
22/02/2024	02:50:00	03:40:00	00:50:00	120-2
24/02/2024	08:05:00	08:15:00	00:10:00	120-2
27/02/2024	09:10:00	09:20:00	00:10:00	14

27/02/2024	16:30:00	17:00:00	00:30:00	14
28/02/2024	/	/	00:10:00	120-2
29/02/2024	09:00:00	09:15:00	00:15:00	14
03/03/2024	13:50:00	14:00:00	00:10:00	120-2

- Total des pannes : 15 pannes
- Total en heure : 5h15mn
- Période du 10/03/2024 au 10/05/2024.

Tableau 27-Perturbations de la ligne SMT dues aux nozzles durant la période 10/03/2024-10/05/2024.

Date	Début arrêt	Fin arrêt	Durée d'arrêt	Machine
10/03/24	08:00:00	08:20:00	00:20:00	120-1
18/03/2024	09:00:00	09:10:00	00:10:00	120-2
18/03/2024	09:50:00	10:00:00	00:10:00	14
02/04/2024	14:00:00	14:15:00	00:15:00	14
18/04/2023	17:45:00	18:00:00	00:15:00	14

- Total des pannes : 5 pannes
- Total en heure : 1h10mn

Une différence de 10 pannes en deux mois avec environ 4h de temps d'arrêt de moins, ainsi la disponibilité de notre ligne de production a augmenté et des résultats remarquables sur le rendement de l'unité ont été visualisés.

5.2.3.2. Modèle 02 : Feeders.

Les feeders représentent un élément clé dans les machines d'insertion, ils assurent l'alimentation en composants selon un mécanisme bien précis et délicat.

Le mécanisme de marche des feeders assure un fonctionnement fiable et précis afin de fournir de manière adéquate les composants à la machine d'insertion. Voici un aperçu général du fonctionnement de ces feeders :

- ✓ **Alimentation des composants** : Les feeders sont chargés avec des bobines contenant les composants nécessaires.
- ✓ **Système d'alimentation** : Les feeders sont souvent équipés d'un système d'alimentation automatisé qui assure un flux constant de composants vers la zone d'insertion de la machine.
- ✓ **Détection et positionnement** : Avant l'insertion, la machine vérifie la présence et la position correcte des composants dans les feeders. Cela peut être fait à l'aide de capteurs optiques ou d'autres dispositifs de détection.
- ✓ **Mécanisme de Pick-and-place** : Une fois les composants détectés et positionnés correctement, la machine utilise un mécanisme de Pick-and-place pour saisir les composants depuis les feeders et les positionner avec précision sur la carte PCB.
- ✓ **Synchronisation avec le processus global** : Le mécanisme de marche des feeders est synchronisé avec le processus global de la machine d'insertion pour assurer un flux de production continu et efficace.
- ✓ **Réglages et ajustements** : Les opérateurs peuvent ajuster les feeders en fonction des exigences spécifiques du projet, tels que la vitesse d'alimentation, la taille des composants, etc.

Comme mentionné dans le chapitre précédent, les feeders présentent des micro-arrêts dus aux interventions répétitives des opérateurs.

Afin de minimiser ou éliminer ses interventions, nous avons interrogé des opérateurs machines expérimentés et des ingénieurs de process sur les facteurs possibles à l'origine de ce problème. Un opérateur ayant environ 10 ans d'expérience dans son poste a déclaré : "nous avons remarqué que ces défaillances se produisent plus souvent avec les feeders de type HP qu'avec ceux de type ION, et plus fréquemment avec les composants à emballage plastique qu'avec ceux à emballage papier."

Selon l'ingénieur de processus, le nombre d'insertions de composants dans le circuit imprimé pourrait être un facteur ; plus le nombre est élevé, plus le problème se produit.

Pour déterminer quels facteurs influencent le plus les interventions des opérateurs sur le feeder, on va appliquer la méthode Design Of Experiment (DOE) afin de vérifier s'il existe une relation entre les facteurs cités par l'opérateur et l'ingénieur de processus et par conséquent trouver les meilleures combinaisons de ces facteurs et ainsi éliminer les micro-arrêts.

❖ Description de la méthode.

C'est une méthode systématique utilisée en ingénierie, en science et en affaires pour planifier, conduire, analyser et interpréter des tests contrôlés afin d'évaluer les facteurs pouvant influencer un processus ou un produit particulier.

L'objectif principal du D.O.E. est de déterminer la relation entre les facteurs affectant un processus et le résultat de ce processus. Cette méthode aide à optimiser le processus ou le produit, à améliorer la qualité et à prendre des décisions basées sur des données. [13]

✓ Éléments clés :

- **Facteurs:** Variables indépendantes qui sont systématiquement modifiées pendant l'expérience. Cela peut inclure des éléments comme la température, la pression, le type de matériau, etc.
- **Niveaux:** Les valeurs ou s spécifiques des facteurs. Par exemple, si la température est un facteur, ses niveaux pourraient être de 100°C, 150°C et 200°C.
- **Variables de réponse:** Variables dépendantes qui sont mesurées pour déterminer l'effet des facteurs. Ce sont les sorties de l'expérience.
- **Traitements:** Les combinaisons de niveaux de facteurs appliqués pendant l'expérience.
- **Réplication:** Répétition de l'expérience dans les mêmes conditions pour évaluer la variabilité de la réponse.

✓ Étapes d'application de la méthode :

- **Définir l'objectif:** Énoncer clairement le problème, l'objectif de l'expérience et les hypothèses à tester.
- **Sélectionner les facteurs, les niveaux et les plages:** Choisir les facteurs à étudier, leurs niveaux et la plage sur laquelle ils seront modifiés.
- **Concevoir l'expérience:** Choisir le type de plan d'expérience (par exemple, factoriel, factoriel fractionnaire, méthodologie de surface de réponse) et créer un plan qui spécifie les traitements à appliquer.
- **Conduire l'expérience:** Réaliser l'expérience conformément au plan, en garantissant la cohérence et la précision de l'application des traitements et de la mesure des réponses.
- **Analyser les données:** Utiliser des méthodes statistiques pour analyser les données, identifier les facteurs significatifs, les interactions et développer des modèles prédictifs.
- **Tirer des conclusions et prendre des décisions:** Interpréter les résultats pour tirer des conclusions sur les effets des facteurs sur les variables de réponse et prendre des décisions éclairées pour l'optimisation des processus ou des produits.

- **Vérifier et valider:** Effectuer des tests de confirmation pour vérifier et valider les conclusions tirées de l'expérience.

✓ **Types du DoE :**

- Plan factoriel complet : examine toutes les combinaisons possibles des niveaux de facteurs. Il permet d'évaluer l'effet individuel de chaque facteur, ainsi que les interactions entre eux. Cependant, ce type de plan peut devenir rapidement complexe et nécessiter un grand nombre d'expériences à réaliser, surtout si vous avez de nombreux facteurs avec plusieurs niveaux.
- Plan factoriel fractionnaire : explore un sous-ensemble des combinaisons possibles. Il est particulièrement utile lorsque vous avez un grand nombre de facteurs et que vous souhaitez tout de même obtenir des informations précieuses. Ce type de plan permet de réduire le nombre d'expériences nécessaires tout en conservant la capacité d'analyser les effets principaux des facteurs.
- Méthodologie des surfaces de réponse: explore les relations entre plusieurs variables explicatives (facteurs) et une ou plusieurs variables de réponse (résultats). Elle est particulièrement utile pour optimiser un processus en identifiant les combinaisons de facteurs qui conduisent à des résultats optimaux.
- Méthodes Taguchi : se concentrent sur la conception robuste. Elles permettent d'identifier les conditions de processus qui minimisent la variabilité du produit et le rendent moins sensible aux variations des facteurs incontrôlables.

Pour notre cas d'étude, on utilisera le premier type qui est le plan factoriel complet car il permet d'évaluer l'effet de tous les facteurs et leurs interactions sur le problème des interventions sur le feeder.

❖ **Application de la méthode.**

- ✓ Problème : des micro-arrêts de production se produisent en raison de l'incapacité de la machine à prélever des composants du feeder. Pour résoudre ce problème, les opérateurs interviennent sur le feeder.
- ✓ Objectif : réduire le nombre d'intervention de l'opérateur sur les feeders.
- ✓ Facteurs :
 - Type du feeder;
 - Type d'emballage de bobines;
 - Nombre d'insertion.
- ✓ Les niveaux de facteurs :

Tableau 28– Valeurs des facteurs choisis pour le DoE.

Facteurs	Min (-1)	Max (1)
Type du feeder	HP feeder	ION Feeder
Type d’emballage de bobines	Plastique	Papier
Nombre d’insertion	5	20

Pour concevoir et mener à bien l'expérience, nous avons utilisé le logiciel Minitab. Les étapes d'application sur le logiciel sont les suivantes :

- ✓ Sélectionner Assistant > DOE > Planifier et créer.
- ✓ Sélectionner « Planifier une expérience d'optimisation » puisque on cherche à améliorer ou à optimiser le processus :

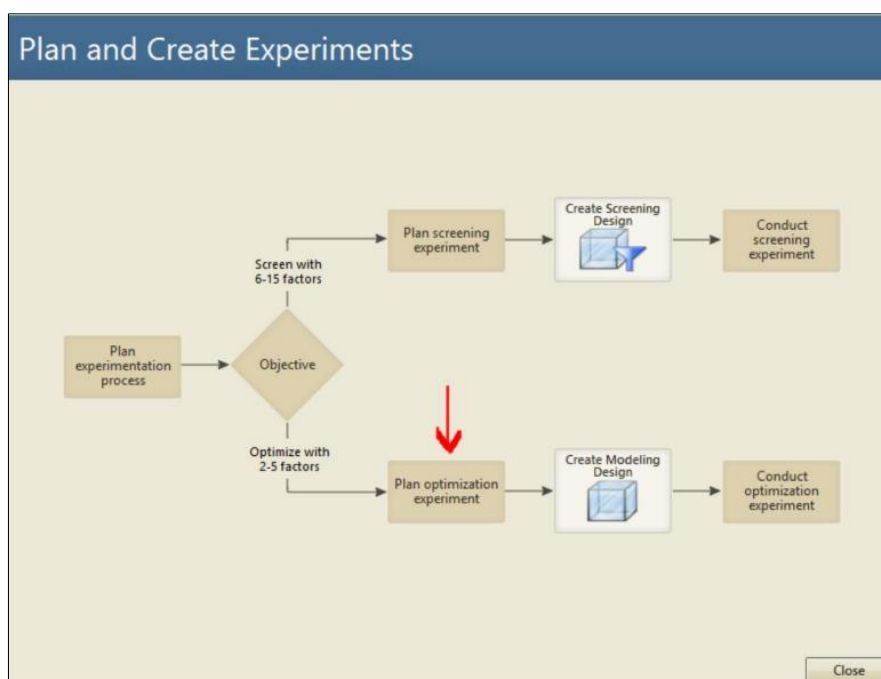


Figure 56– Étape de choix de l'expérience sur le logiciel MiniTab.

- ✓ Sélectionner le type du design et entrer le nombre de facteurs :

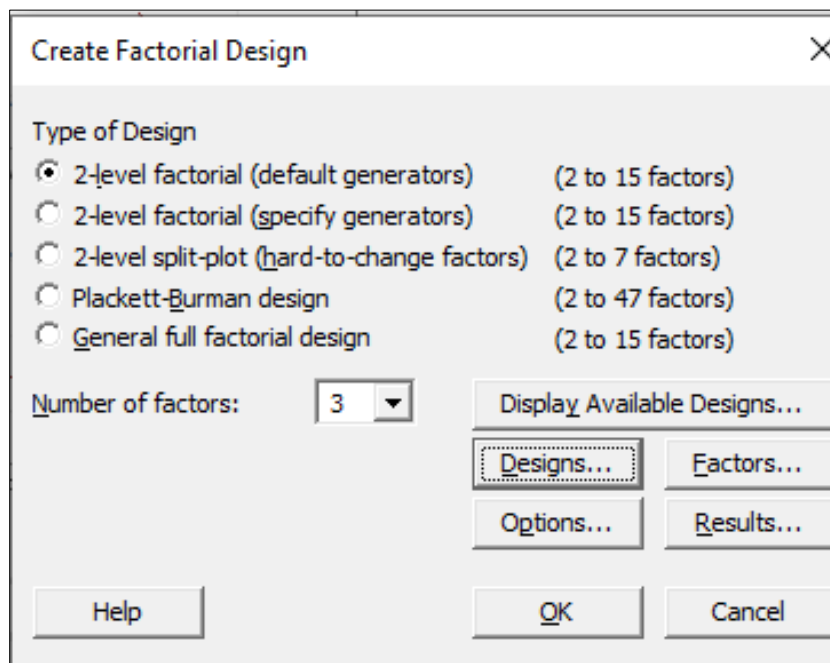


Figure 57– Étape de sélection du type du design et saisie du nombre de facteurs sur le logiciel MiniTab.

- ✓ Définir les niveaux de facteurs :

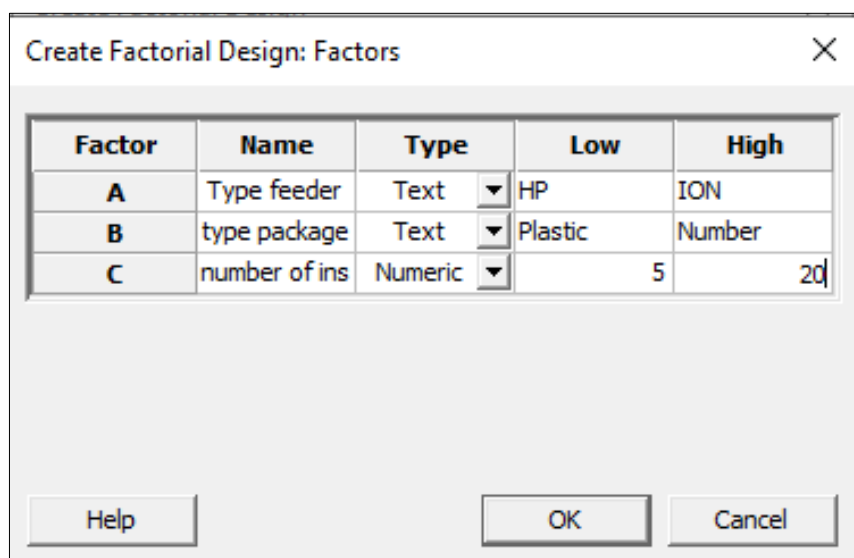


Figure 58– Étape de définition des niveaux des facteurs sur le logiciel MiniTab.

- ✓ Lancer l'expérience: dans la feuille de travail, Minitab génère une séquence aléatoire d'exécution de l'expérience selon le tableau 29.

Tableau 29– Séquence aléatoire d'exécution de l'expérience.

Std Order	Run Order	Blocks	Type feeder	Insertion	Emballage	Nombre d'intervention sur les feeders
12	1	2	ION	20	Plastique	3
15	2	2	HP	20	Papier	4
14	3	2	ION	5	Papier	2

13	4	2	HP	5	Papier	2
10	5	2	ION	5	Plastique	8
9	6	2	HP	5	Plastique	1
16	7	2	ION	20	Papier	0
11	8	2	HP	20	Plastique	12
6	9	1	ION	5	Papier	1
5	10	1	HP	5	Papier	2
4	11	1	ION	20	Plastique	3
3	12	1	HP	20	Plastique	10
8	13	1	ION	20	Papier	1
2	14	1	ION	5	Plastique	1
1	15	1	HP	5	Plastique	2
7	16	1	HP	20	Papier	4

Nous effectuons l'expérience en suivant l'ordre d'exécution et nous enregistrons les résultats dans la colonne : Nombre d'intervention sur les feeders.

✓ Analyser les données:

Nous sélectionnons « Tracé factoriel » pour analyser les données pour obtenir les deux graphes représentés dans les figures 59 et 60.

▪ **Graphique de l'effet principal.**



Figure 59– Graphique de l'effet principal.

Il montre la différence entre la moyenne de la réponse au bas d'un facteur et la moyenne de la réponse au haut. Il est interprété selon le tableau 30.

Tableau 30– Interprétation du graphique de l'effet principal.

Le résultat	L'interprétation
Ligne horizontale	Aucun effet : Si la ligne est horizontale (ou presque), cela indique que la modification des niveaux de ce facteur a peu ou pas d'effet sur la variable de réponse.
Ligne non résidentielle	Effet : Si la ligne n'est pas horizontale, cela indique que la modification des niveaux de ce facteur a un effet sur la variable de réponse. Direction de la pente : La direction (vers le haut ou vers le bas) indique si la réponse augmente ou diminue avec le niveau de facteur.
Pente de la ligne	Ampleur de l'effet : Plus la ligne est raide, plus l'effet du facteur sur la réponse est important. Une pente raide indique un effet fort, tandis qu'une pente douce indique un effet plus faible.

Pour notre cas d'étude on conclut que :

- ✓ Type du feeder : le nombre d'interventions sur les feeders est plus faible lorsqu'il s'agit d'un feeder de type ION.
- ✓ Nombre d'insertion : le nombre d'interventions est inférieur lorsque la moyenne du nombre d'insertion est de 5.
- ✓ Type d'emballage : le nombre d'interventions est inférieur lorsque l'emballage du composant est en papier

Nous remarquons également que le type d'emballage est le facteur le plus influent sur le nombre d'interventions.

▪ **Graphique d'interaction.**

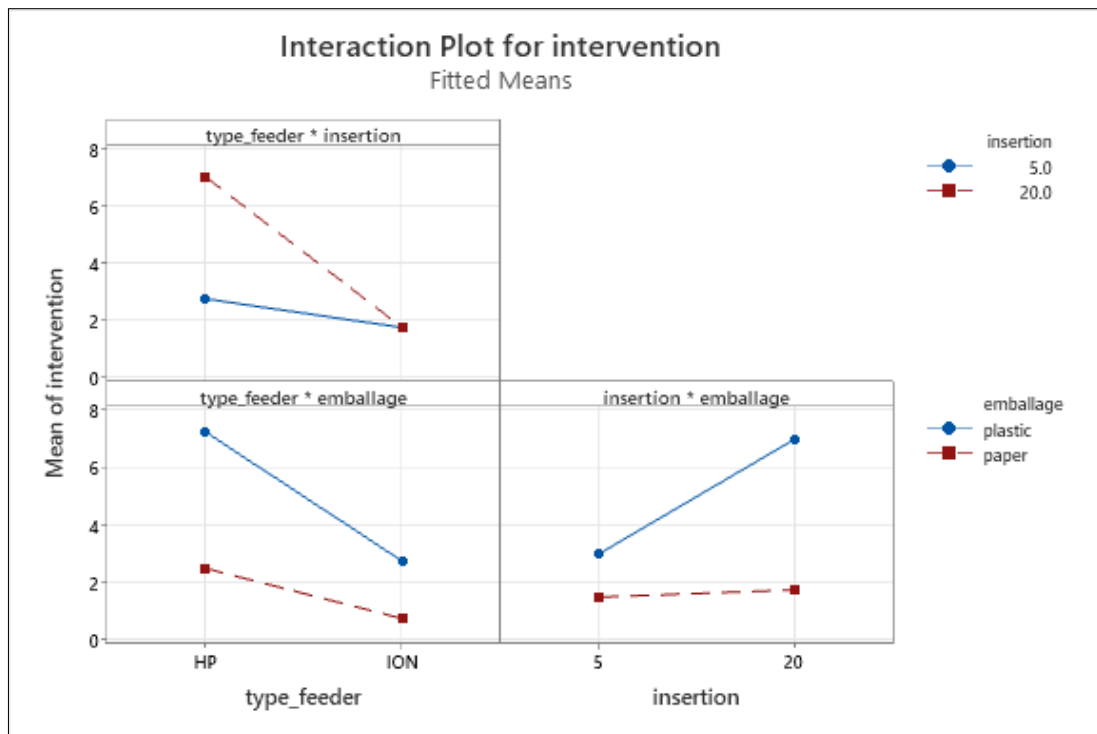


Figure 60– Graphique d'interaction.

Il montre la différence dans l'effet d'un facteur à différents niveaux d'un autre facteur. Il est interprété selon le tableau 31.

Tableau 31– Interprétation du graphique d'interaction.

Le résultat	L'interprétation
Lignes parallèles	Indépendance : Si les lignes sont parallèles (ou presque), cela n'indique aucune interaction entre les facteurs. Cela signifie que l'effet d'un facteur sur la réponse est constant à tous les niveaux de l'autre facteur.

Lignes non parallèles	Interaction : Si les lignes ne sont pas parallèles, cela indique une interaction entre les facteurs. L'effet d'un facteur sur la réponse dépend du niveau de l'autre facteur.
Franchissement des lignes	Interaction forte : Si les lignes se croisent, cela indique une interaction forte entre les facteurs. La direction et l'ampleur de l'effet d'un facteur sur la réponse peuvent changer en fonction du niveau de l'autre facteur.

Pour notre cas d'étude on conclut que :

✓ Type de feeder par rapport au nombre d'insertions :

Il y a une forte interaction entre le type de feeder et le nombre d'insertions. Il semble que le nombre d'interventions sur la ligne d'alimentation soit réduit lorsque le type de feeder est ION et que le nombre d'insertion est 5. On remarque que le nombre d'insertion influence davantage lorsque le type de feeder est HP.

✓ Type de feeder par rapport au type d'emballage :

Il semble que le nombre d'interventions sur le feeder soit plus élevé lorsque le type d'emballage est en plastique pour les deux s de feeder; (HP ION); mais l'influence de l'emballage est plus grande lorsque le type de feeder est HP.

✓ Insertion par rapport à l'emballage :

Il semble qu'il y ait une interaction entre le nombre d'insertion et le type d'emballage; le nombre d'interventions sur les feeders est plus faible lorsque l'emballage du composant est en papier, mais l'influence est plus forte lorsque le nombre d'insertion est 20.

Après avoir analysé les graphiques, nous arrivons aux conclusions suivantes : Afin de réduire le nombre d'interventions sur les feeders, nous devons définir les facteurs suivants comme suit :

Tableau 32- Meilleure configuration des facteurs.

Facteur	Configuration
Type de feeder	ION
Nombre insertion	5
Type d'emballage	Papier

Cependant, nous avons deux contraintes :

- ✓ Dans ces facteurs, le seul facteur que nous pouvons contrôler, est le type de feeder. Les deux autres facteurs sont contrôlés par le fournisseur.
- ✓ Le nombre de feeders ION est limité ; nous ne pouvons pas mettre tous les feeders comme feeder ion.

Nous appliquerons donc la configuration suivante :

Tableau 33-Résultats de l'application du DoE : priorités de combinaisons des facteurs.

Priorité	Facteur	Configuration
01	Type de feeder	ION
	Nombre insertion	20
	Type d'emballage	Plastique
02	Type de feeder	ION
	Nombre insertion	5
	Type d'emballage	Plastique
03	Type de feeder	ION
	Nombre insertion	20
	Type d'emballage	Papier
04	Type de feeder	ION
	Nombre insertion	20
	Type d'emballage	Papier
05	Type de feeder	HP
	Nombre insertion	5
	Type d'emballage	Papier

La dernière mesure à prendre afin de garantir l'élimination des micro-arrêts dus aux feeders consiste à assurer la disponibilité des feeders pour pouvoir appliquer les configurations optimales tirées à partir des résultats du DoE et mettre en place une procédure de suivi de l'état de ces derniers afin de faciliter l'intervention du personnel de maintenance pour réparer leurs pannes.

On procède premièrement à recenser les feeders existants ainsi que leur état (conforme/ non conforme) étant donné que le nombre exact de ces derniers n'est pas connu et que parmi les feeders existants, il y a quelques-uns qui sont non conformes.

- ❖ Élaboration d'un inventaire des feeders.

Afin de réaliser cette partie cruciale du projet nous suivons les étapes suivantes

- ✓ Scanner le numéro de série du feeder ;

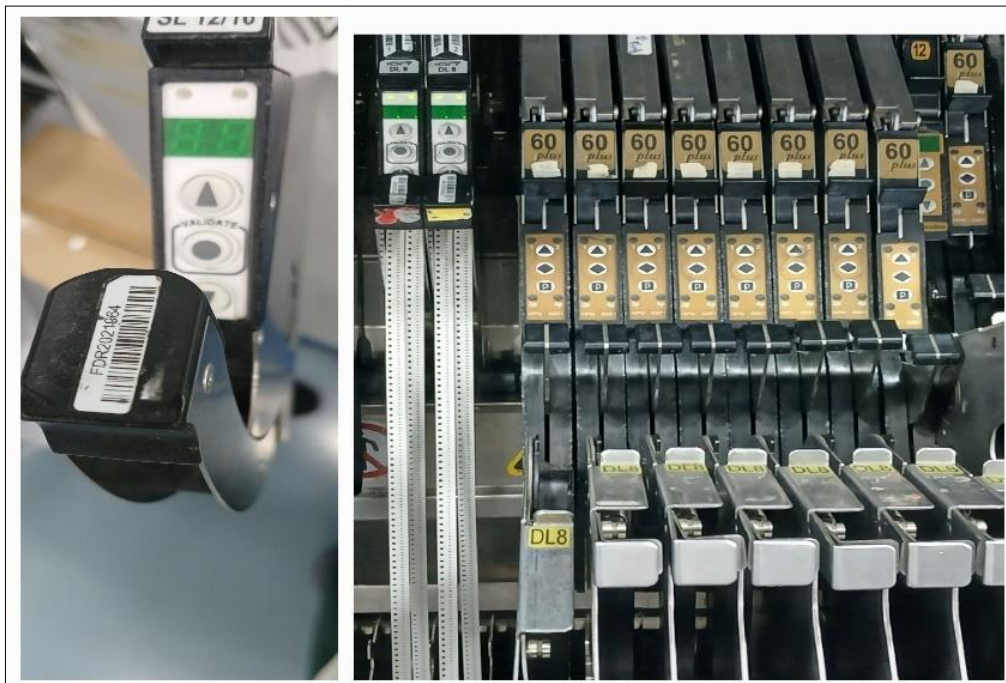


Figure 61– Illustration de l'étape de scan des feeders de la ligne de production.

- ✓ Mentionner le type du feeder ;
- ✓ Mentionner l'état du feeder (conforme/Panne).

L'inventaire de suivi des feeders est représenté dans le tableau en **annexe 12**.

Ce fichier permet de :

- Avoir un suivi en temps réels des feeders ; ce qui permet aux ingénieurs de production de signaler les feeders non conformes au département de maintenance ;
- Suivre les feeders qui ont des pannes répétitives (par le numéro de série de feeder).
- ❖ Afin de garantir la continuité de ce suivi, et assurer que les feeders sont en état opérationnel une procédure est mise en place :
 - L'opérateur de machine identifie le problème de feeder et colle une étiquette sur le feeder non conforme (la position de l'étiquette dans le feeder est définie)
 - Le chef de ligne saisie les informations de la panne sur le fichier de suivi élaboré (le numéro de série, le type de la panne, la date d'occurrence)

- Les ingénieurs de production signalent le feeder immédiatement au département de maintenance
- Après l'intervention des ingénieurs du département de maintenance, le feeder est restitué, et l'action est clôturée.

5.3. Évaluation de l'optimisation de la disponibilité de la ligne de production.

Suite à la mise en œuvre de mesures d'amélioration, tant sur le plan organisationnel que pratique, visant à maîtriser les perturbations de la ligne de production et à optimiser sa disponibilité, le nouveau taux de disponibilité est calculé afin de quantifier l'amélioration obtenue.

$$\text{Taux d'augmentation de la disponibilité} = \sum \frac{\text{Taux d'augmentation de la disponibilité à partir de chaque mesure}}{\text{disponibilité}} (\%) \quad (27)$$

$$\text{Taux d'augmentation de la disponibilité} = \sum D \text{ nozzles} + D \text{ feeders} + D \text{ organisationnel} (\%) \quad (28)$$

$$\text{Taux d'augmentation de la disponibilité} = 0,54 + 0,16 + 2,86$$

$$\text{Taux d'augmentation de la disponibilité} = \mathbf{3,56\%}$$

Ce taux équivaut à une disponibilité d'environ 148h16mn de temps de bon fonctionnement de la ligne de production.

Ainsi le taux de disponibilité de la ligne de production a été rapporté à un taux de 95,55%.

Afin d'avoir une vision globale de l'impact des mesures prises sur l'entreprise et de motiver les équipes à prendre des actions correctives et à s'engager dans l'amélioration continue afin d'instaurer une culture d'amélioration au sein de l'entreprise, on procède à estimer le taux de bénéfice qu'apportent ces actions de maîtrise.

- Calcul du coût total horaire :

1. Coût horaire de l'amortissement :

$$\begin{aligned} \bullet \text{ Amortissement annuel} &= \frac{\text{Coût de machines}}{\text{Durée de vie utile}} \quad (29) \\ &= \frac{3\,832\,767,52}{10} \end{aligned}$$

$$\text{Amortissement annuel} = 3\,832\,76,752 \text{ DA par an}$$

$$\begin{aligned} \bullet \text{ Coût horaire de l'amortissement} &= \frac{383\,276,752}{4165} \\ \text{Coût horaire de l'amortissement} &= 920,23 \text{ DA par heure} \end{aligned}$$

2. Coût horaire d'exploitation :

$$\diamond \text{ Coût total d'exploitation annuel} = \text{Coût de maintenance et d'énergie} + \text{coûts de main-d'œuvre} \quad (30)$$

$$\text{Coût total d'exploitation annuel} = 850\,000 + 2\,467\,335,2$$

Coût total d'exploitation annuel = 3 317 335,2 DA par an

$$\text{❖ Coût horaire d'exploitation} = \frac{\text{Coût total d'exploitation annuel}}{\text{Nombre d'heures de fonctionnement annuel}} \quad (31)$$

$$\text{Coût horaire d'exploitation} = \frac{3\,317\,335,2}{4165}$$

Coût horaire d'exploitation = 796,48 DA par heure

3. Calcul du coût total horaire :

- Coût total horaire = Coût horaire de l'amortissement + Coût horaire d'exploitation (32)

- Coût total horaire = 920,23 DA + 796,48 DA = 1716,71 DA par heure

Ainsi pour calculer le taux de bénéfice qu'apportent ces actions de maîtrise il suffit de multiplier le coût total horaire par le nombre d'heures :

$$\text{le taux de bénéfice} = \text{Coût total horaire} \times \text{Nombre d'heures} \quad (33)$$

$$\text{le taux de bénéfice} = 1716,71 \times 148,26$$

le taux de bénéfice = **254 519,42 DA**

Dans ce dernier chapitre, nous avons procédé à un choix de pistes d'amélioration dans le but d'optimiser la disponibilité de la ligne de production calculée dans le chapitre précédent en se basant sur les sous-systèmes critiques.

Le travail s'est articulé principalement autour de deux volets. Tout d'abord, nous avons abordé la gestion des perturbations sur le plan organisationnel en mettant en place un fichier de suivi de production. Cette initiative a conduit à une augmentation significative de la disponibilité totale, dépassant les 3%.

Ensuite, la deuxième partie du chapitre a traité de la gestion des perturbations sur le plan pratique. Nous avons commencé par élaborer des modèles de plan d'actions, chacun étant caractérisé par des critères bien définis. En utilisant une méthode multicritère, nous avons sélectionné et mis en œuvre des actions de gestion sur les sous-systèmes jugés critiques, basés sur l'analyse de Pareto et l'AMDEC.

Pour conclure notre étude, nous avons évalué l'amélioration globale de la disponibilité en lui attribuant une estimation monétaire. Cette approche vise à concrétiser et à valoriser les efforts déployés dans l'optimisation de la disponibilité de la ligne de production.

CONCLUSION.

Le travail réalisé pour optimiser la disponibilité de la ligne de production des cartes électroniques au sein de l'entreprise Bomare Company nous a permis d'adopter une approche basée sur la sûreté de fonctionnement afin d'atteindre nos objectifs.

Pour mener à bien cette étude, nous avons suivi une démarche méthodique et logique, en utilisant un ensemble de méthodes et de techniques méticuleusement sélectionnées. Notre objectif était de parvenir à une maîtrise efficace et économiquement viable après avoir établi un fondement solide basé sur un ensemble détaillé de notions et de concepts de base.

Nous avons tout d'abord connu l'industrie de fabrication des cartes électroniques au point de vue d'importations et exportation, nous avons également connu le processus de fonctionnement de l'unité spécialisée dans ce domaine, ce qui nous a permis de structurer notre problématique ainsi que la démarche nécessaire afin d'atteindre les objectifs et répondre au besoin de l'entreprise.

Dans la partie qui suit, nous avons abordé les concepts et définitions de base qui serviront de support pour le reste de l'étude.

Ensuite, nous avons procédé à une définition détaillée du système étudié en allant jusqu'aux caractéristiques de chaque activité du processus ce qui nous a incité à exploiter les données historiques concernant notre système en calculant le taux de disponibilité qui est égal à 91,99% qui est relativement un taux modéré. Ce résultat était le point de départ de d'autres investigations et perspectives d'analyse, notamment une analyse et calculs concernant la fiabilité par le biais du modèle mathématique Weibull choisi soigneusement par le logiciel MiniTab. D'autre part, étant donné que la disponibilité est directement liée à la maintenance, nous avons décortiqué les données du département de la maintenance en étalons des interprétations et commentaires caractérisant ces données. Cette interprétation a été suivie de la mise en œuvre de la méthode de l'abaque de noiret qui est le type de maintenance adéquat pour chaque machine de notre système étudié,

Cette analyse a été conclue par la détermination des sous-systèmes critiques et éléments présentant des perturbations fréquentes allant à l'interruption de l'activité de l'unité et ainsi de l'entreprise par le biais de la méthode analytique Pareto et la méthode de gestion des risques majeurs AMDEC.

Les résultats de la partie précédente qui s'articule principalement sur :

- 1. Absence de spécifications des causes d'arrêts;**
- 2. Les nozzles;**
- 3. Le chargeur;**
- 4. Les feeders.**

Cela a permis de mettre en place des mesures amélioratives sur le plan organisationnel à travers un fichier de suivi de production, muni d'un suivi rigoureux et un tableau de bord représentatif, et sur le plan pratique nous avons organisé le travail en proposant des modèles de plans d'action, que nous avons choisi d'appliquer deux entre eux, ce choix a été fait en se basant sur les résultats de l'AHP.

Enfin, la démarche suivie a mené à réaliser des résultats pertinents et efficaces, en investissant des ressources financières négligeables nous avons pu optimiser la disponibilité de la ligne de production d'un taux égal à **3,56%**, autrement **148h** de temps de production supplémentaire dans une période d'une année. Ainsi, pour une perspective d'amélioration continue, nous

proposons de formaliser, capitaliser et généraliser la démarche que nous avons mise en œuvre à l'ensemble des unités de l'entreprise.

Références bibliographiques.

- [1] ONU Commerce et Développement. "La valeur des importations mondiales de produits des technologies de l'information", consulté le 08 mars 2024. Lien : [UNCTAD](#)
- [2] ITC. "Liste des produits disponibles pour l'exportation", consulté le 08 mars 2024. Lien : [Trade Map](#)
- [3] Boussaid, M. (2022). "Presentation Bomare Company". Bomare Company.
- [4] Pagetti, C. (2012). "Module de sûreté de fonctionnement". ENSEEIHT.
- [5] Mortureux, Y. (2001). "La sûreté de fonctionnement : méthodes pour maîtriser les risques". Techniques de l'Ingénieur.
- [6] Giraud, M. (2001). "Sûreté de fonctionnement des systèmes - Principes et définitions". Techniques de l'Ingénieur.
- [7] "Définition de la défaillance". Document non publié.
- [8] Benmokhtar, A. (2016). "Analyse des Modes de Défaillance et de leurs Effets (et Criticité) AMDE(C)". Qualité, Hygiène, Sécurité, Environnement et Gestion des Risques Industriels (QHSE-GRI), 2015/2016.
- [9] "Concepts et stratégies pour tirage". Document interne.
- [10] Bomare Company. (2024). "Manuel de maintenance". Bomare Company.
- [11] Zwingelstein, G. (Sans date). "Sûreté de fonctionnement des systèmes industriels complexes". Techniques de l'Ingénieur, traité Informatique industrielle.
- [12] Pagetti, C. (2012). "Module de sûreté de fonctionnement". ENSEEIHT, 3ème TR.
- [13] (2018). "Six Sigma Master Black Belt Certification". Training Manual.
- [14] Visual Paradigm. "What is Cross-Functional Flowchart?", consulté le 17 Avril 2024. Lien : [Visual Paradigm](#)
- [15] Leclerc, G. (2001). "Organigramme technique". Leclerc et Bourgault IND2301.
- [16] Bellaouar, A. (2013-2014). "Polycopié FMD". Faculté des Sciences de la Technologie Département Génie des Transports.
- [17] "Maintenance l'abaque de Noiret". La Gestion de Production au sein de l'entreprise.
- [18] Rakotoarivelo, J. (2015). "Analyse comparative de méthodes multicritères d'aide à la décision pour le secteur financier". Université Paul Sabatier de Toulouse.

ANNEXES.

Annexe 01 : Résultats de l'élaboration du diagramme SIPOC.

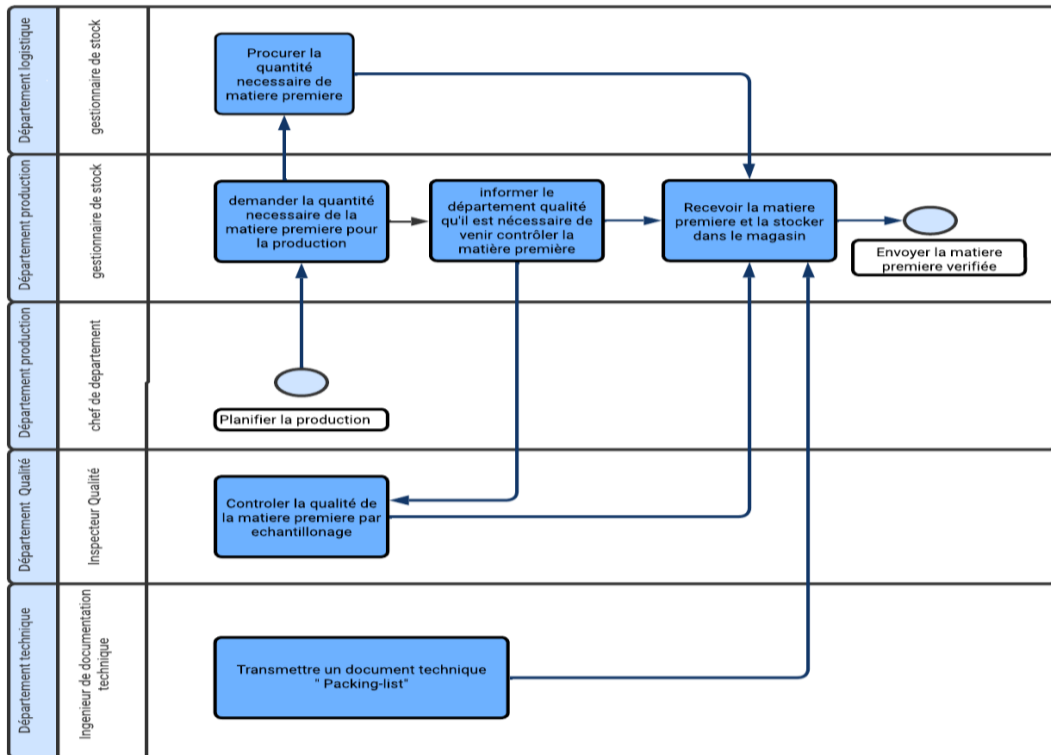
	S	I	P		O	C
	Supplier	Input	PROCESS		Output	Customer
			Matériel/ Personne	Étapes		
Implémentation	Magasin	Cartes PCB emballées	Opérateur Machine loader Rack	Enlever les cartes de l'emballage Mettre les cartes dans les racks Placer les racks dans la machine Envoie des cartes	Carte PCB sans emballage	DEK
Sérigraphie	Loader	Cartes PCB sans emballage	Opérateur Machine DEK Pochoir Pate à souder papier Stencil	Programmer la machine Mettre en place le pochoir adéquat Modifier la vitesse et la pression de la machine selon le produit Mettre la pâte manuellement La machine recouvre les parties en cuivre par la pâte selon un modèle Nettoyer l'excès de pâte	Carte PCB (avec partie en cuivre recouverte de pâte) Déchets (papier stencil)	SPI
Contrôle	DEK	Carte PCB (avec partie en cuivre recouverte de pâte)	Opérateur Machine SPI Écran d'affichage	Programmer la machine Réception de la carte Contrôle par infrarouge	Carte PCB (avec partie en cuivre recouverte de pâte et conforme)	Fuzion universal 120

				Détection des erreurs		
				Validation ou refus de la carte par un opérateur		
Insertion	SPI	Bobines Carte PCB (avec partie en cuivre recouverte de pâte et conforme)	Opérateur Nozzle Feeder	Programmer la machine	Cartes PCB contenant les composants	Fuzion Universal 120
	Fuzion Universal 120			insérer les bobines dans les feeders		Fuzion 14
	Fuzion Universal 120			Mettre en place les nozzles adéquats (selon la taille du composant) Les têtes soulèvent les composants par les nozzles la machine met en place les composants selon un modèle		AOI
Inspection	Fuzion 14	Cartes PCB contenant les composants	Opérateur Machine AOI Écran d'affichage	La carte est prise en photo Vérification l'existence des composants Vérification de l'emplacement des composants validation de la carte ou effectuer une rectification Isolation des cartes non conformes	Cartes PCB contenant les composants et conforme	Machine de soudure
Soudage	AOI	Cartes PCB contenant les composants	Machine de soudage	Introduction de la carte dans la machine	Cartes PCB contenant les composants (soudées)	AOI

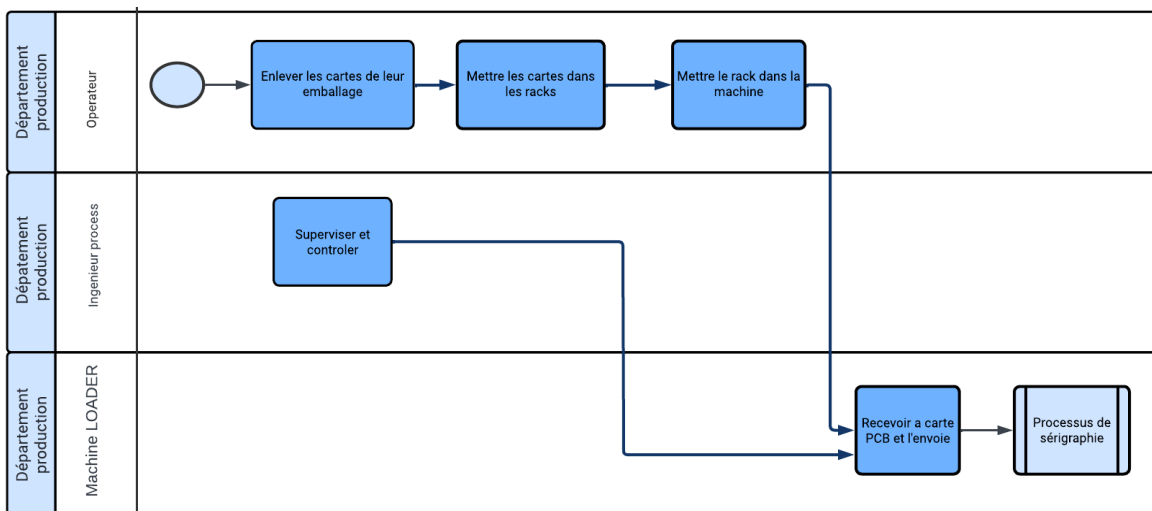
		et conforme		<p>Établissement des limites de températures</p> <p>Réchauffement de la carte jusqu'à la température de fusion de la pâte</p> <p>Les composants sont fixés à leurs places après refroidissement et solidification de la pâte.</p>		
Inspection	Machine de soudure	Cartes PCB contenant les composants (soudées)	Opérateur Machine AOI Écran d'affichage	<p>La carte est prise en photo</p> <p>Vérification l'existence des composants</p> <p>Vérification de l'emplacement des composants</p> <p>Vérification de la soudure</p> <p>validation de la carte ou effectuer une rectification</p> <p>Envoie des cartes non conformes au poste du technicien de retouches</p>	Produit semi-fini	Racks de stockage.

Annexe 02 : Schémas représentatifs du CFD.

Reception de la matiere premiere

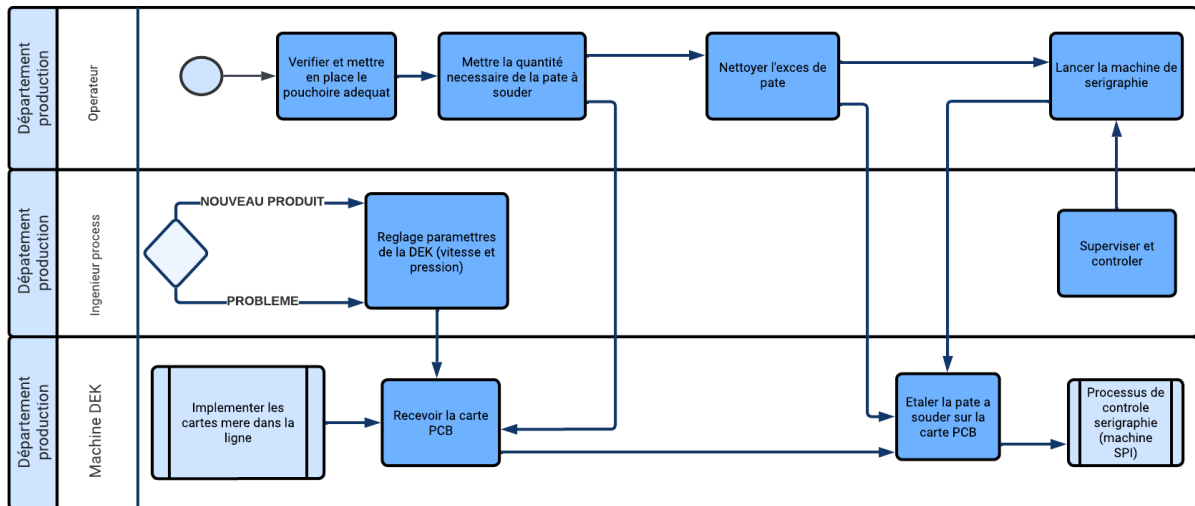


implémentation des cartes mère sur la ligne

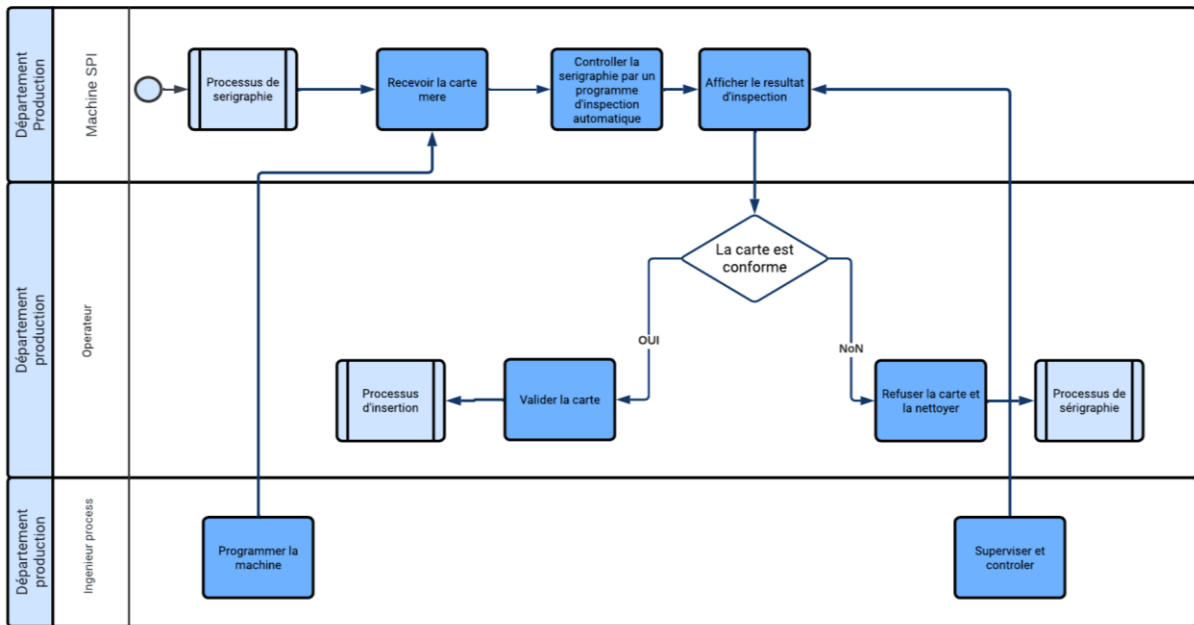


Suite annexe 02.

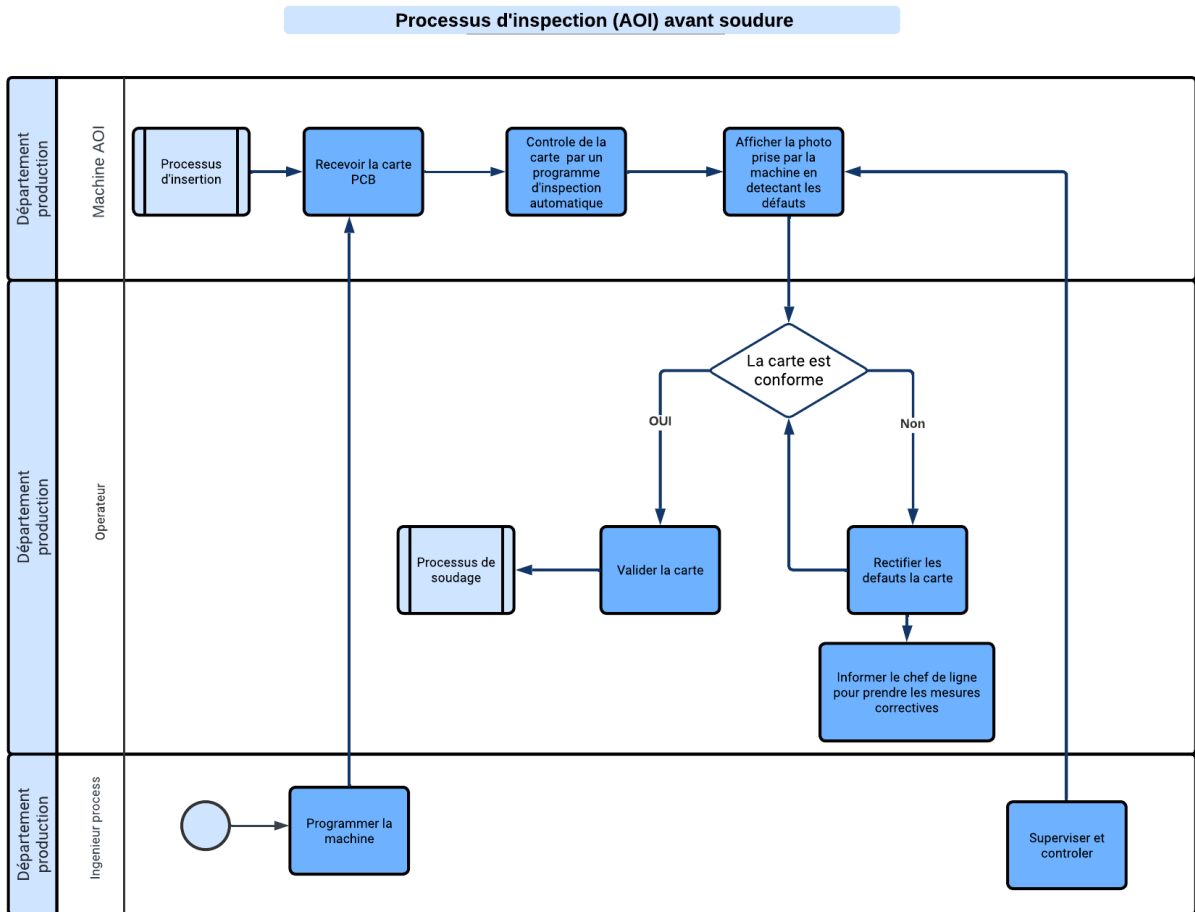
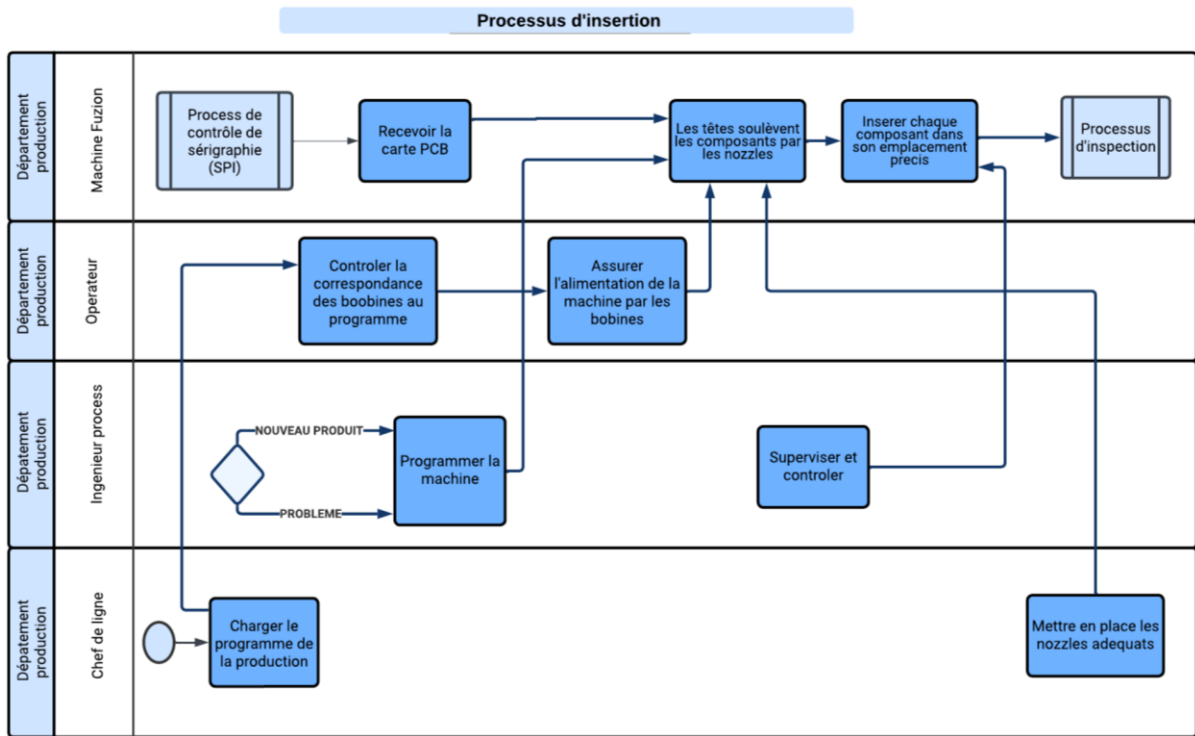
Processus de sérigraphie



Process de contrôle de sérigraphie (SPI)

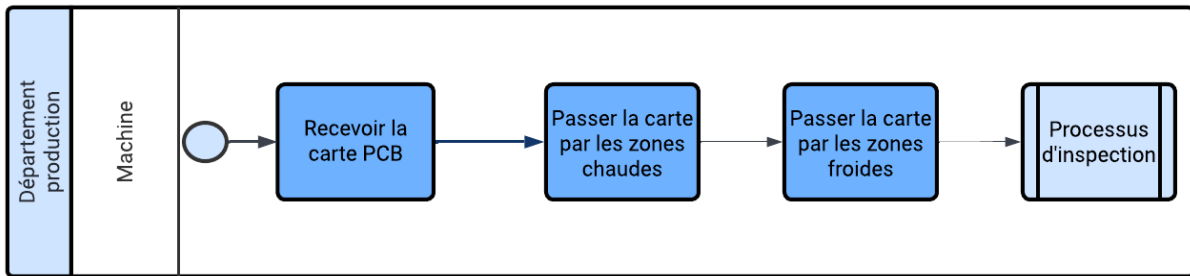


Suite annexe 02.

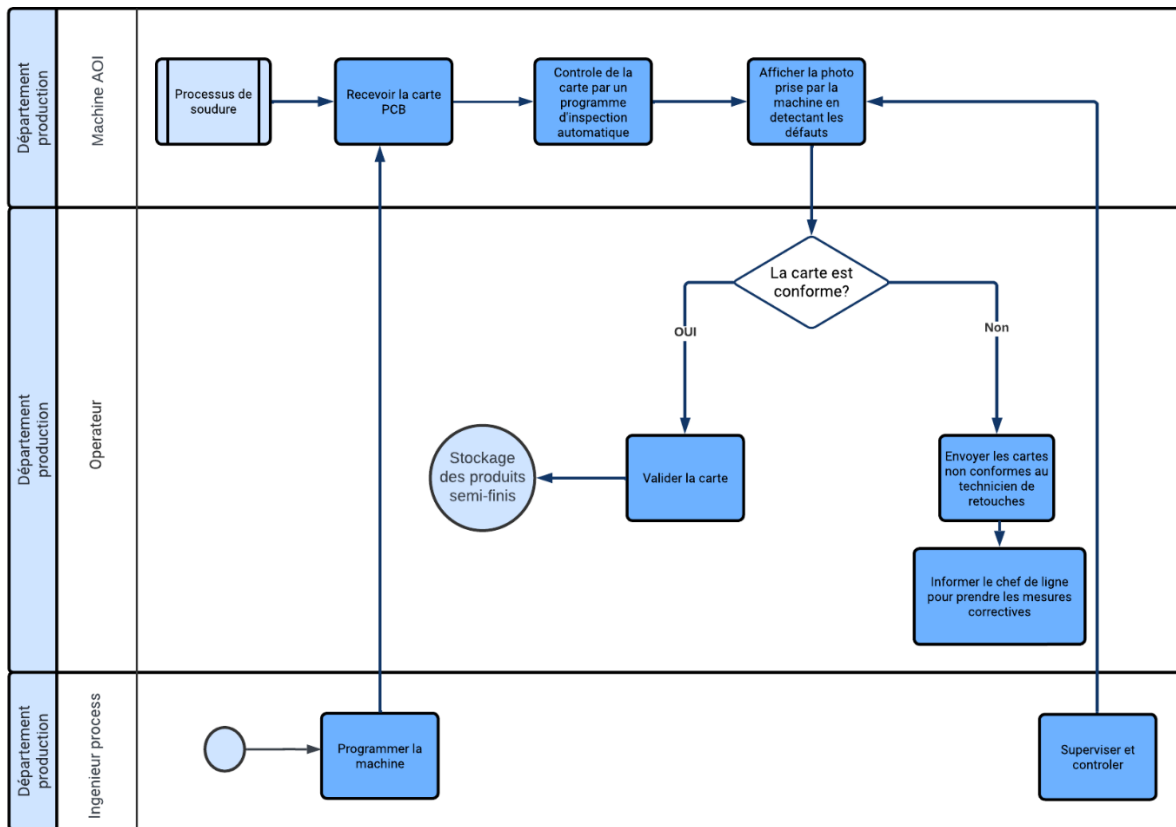


Suite annexe 02.

Processus de soudage



Processus d'inspection (AOI) après soudure



Annexe 03 : Données de l'historique de la ligne de production collectées.

Date	Début d'arrêt	Fin d'arrêt	Temps d'arrêt	Machine	Composant
02/01/2023	08:30:00	09:00:00	00:30:00	FUZION 2	Non spécifié
03/01/2023	14:00:00	15:15:00	01:15:00	FUZION 1	Reglage
05/01/2023	09:45:00	09:55:00	00:10:00	FUZION 1	Tête
08/01/2023	11:30:00	12:00:00	00:30:00	Toutes	Reglage
09/01/2023	18:00:00	18:45:00	00:45:00	Toutes	Reglage
10/01/2023	23:15:00	23:45:00	00:30:00	Toutes	Reglage
10/01/2023	23:45:00	00:30:00	00:45:00	FUZION 2	Chargeur
15/01/2023	16:35:00	16:55:00	00:20:00	Toutes	Reglage
15/01/2023	19:30:00	19:50:00	0:20:00	FUZION-14	Non spécifié
16/01/2023	14:00:00	15:00:00	01:00:00	FUZION 2	Nozzle
17/01/2023	20:30:00	20:50:00	00:20:00	Toutes	Reglage
17/01/2023	20:50:00	22:05:00	01:15:00	FUZION 2	Chargeur
17/01/2023	22:05:00	22:50:00	00:45:00	FUZION 2	Axes
17/01/2023	23:40:00	23:50:00	00:10:00	FUZION 2	Nozzle
18/01/2023	10:00:00	13:50:00	03:50:00	OVEN	Non spécifié
25/01/2023	16:15:00	16:45:00	00:30:00	LOADER	Tige automatique
31/01/2023	20:30:00	22:10:00	01:40:00	Toutes	Reglage
01/02/2023	21:30:00	21:45:00	00:15:00	Toutes	Reglage
01/02/2023	21:45:00	22:00:00	00:15:00	FUZION 2	Nozzle
02/02/2023	14:20:00	14:45:00	00:25:00	FUZION-14	Nozzle
02/02/2023	14:50:00	15:15:00	00:25:00	FUZION-14	Nozzle
14/02/2023	22:10:00	22:25:00	00:15:00	FUZION 2	Axes
15/02/2023	18:10:00	00:30:00	06:20:00	FUZION 1	Axes
16/02/2023	08:00:00	13:00:00	05:00:00	FUZION 1	Axes
20/02/2023	11:00:00	15:00:00	04:00:00	OVEN	Non spécifié
20/02/2023	16:00:00	16:15:00	00:15:00	FUZION 2	tête
21/02/2023	18:05:00	19:00:00	00:55:00	FUZION 1	Nozzle
23/02/2023	08:00:00	09:45:00	01:45:00	SPI	Non spécifié
23/02/2023	10:20:00	10:40:00	00:20:00	AOI 2	Non spécifié
24/02/2023	12:00:00	12:20:00	00:20:00	DEK	Non spécifié
27/02/2023	13:30:00	14:10:00	00:40:00	Toutes	Nettoyage
07/03/2023	20:45:00	21:10:00	00:25:00	FUZION 1	Nozzle
12/03/2023	20:30:00	21:20:00	00:50:00	DEK	Non spécifié
12/03/2023	20:30:00	21:20:00	00:50:00	SPI	Non spécifié

15/03/2023	19:25:00	19:55:00	00:30:00	FUZION 2	Capteur
15/03/2023	22:30:00	23:20:00	00:50:00	FUZION 2	Convoyeur
16/03/2023	10:10:00	10:45:00	00:35:00	FUZION 2	Convoyeur
16/03/2023	23:35:00	00:10:00	00:35:00	FUZION 2	Nozzle
17/03/2023	10:05:00	11:20:00	01:15:00	FUZION 2	Convoyeur
17/03/2023	22:20:00	00:30:00	02:10:00	FUZION 1	Rejet composant
18/03/2023	12:30:00	13:00:00	00:30:00	FUZION 2	Maintenance
21/03/2023	14:30:00	16:30:00	02:00:00	DEK	Convoyeur
22/03/2023	09:00:00	10:00:00	01:00:00	Toutes	Nettoyage
26/03/2023	10:35:00	15:00:00	04:25:00	FUZION 1	Non spécifié
27/03/2023	08:00:00	00:30:00	16:30:00	FUZION 1	tête
29/03/2023	01:00:00	02:30:00	01:30:00	FUZION 1	Maintenance
29/03/2023	04:00:00	05:30:00	01:30:00	FUZION 2	Rejet composant
01/04/2023	12:45:00	13:10:00	00:25:00	FUZION 2	Carter
06/04/2023	05:05:00	05:25:00	00:20:00	FUZION 1	Nozzle
11/04/2023	04:30:00	05:50:00	01:20:00	FUZION 1	Rejet composant
12/04/2023	10:30:00	11:10:00	00:40:00	FUZION 2	Axes
13/04/2023	01:00:00	01:35:00	00:35:00	FUZION 1	Nozzle
13/04/2023	01:35:00	02:00:00	00:25:00	FUZION 2	Carter
13/04/2023	03:00:00	03:10:00	00:10:00	FUZION 2	Carter
13/04/2023	10:20:00	10:30:00	00:10:00	OVEN	Non spécifié
13/04/2023	10:50:00	11:40:00	00:50:00	OVEN	Non spécifié
16/04/2023	01:00:00	01:20:00	00:20:00	AOI 1	Non spécifié
16/04/2023	12:40:00	13:05:00	00:25:00	FUZION 2	Nozzle
17/04/2023	01:00:00	01:30:00	00:30:00	FUZION 2	Chargeur
17/04/2023	06:40:00	07:00:00	00:20:00	FUZION 2	Chargeur
18/04/2023	01:00:00	01:30:00	00:30:00	OVEN	Non spécifié
18/04/2023	02:30:00	08:00:00	05:30:00	Toutes	Coupure de courant électrique
18/04/2023	11:00:00	13:00:00	02:00:00	OVEN	Non spécifié
20/04/2023	01:00:00	02:15:00	01:15:00	FUZION 1	Rejet composant
24/04/2023	17:00:00	17:30:00	00:30:00	FUZION 1	Carter
25/04/2023	21:30:00	21:45:00	00:15:00	FUZION 2	Carter
26/04/2023	23:00:00	23:30:00	00:30:00	FUZION 2	Nozzle
30/04/2023	08:00:00	09:00:00	01:00:00	OVEN	Non spécifié
30/04/2023	17:45:00	18:30:00	0:45:00	FUZION-14	Rejet composant
02/05/2023	08:00:00	08:30:00	0:30:00	FUZION-14	Rejet composant
02/05/2023	17:00:00	17:15:00	00:15:00	AOI 1	Reglage

02/05/2023	20:00:00	20:15:00	00:15:00	FUZION 2	Nozzle
02/05/2023	20:15:00	20:30:00	0:15:00	FUZION-14	Feeder
08/05/2023	13:00:00	13:30:00	00:30:00	FUZION 2	Carter
09/05/2023	12:10:00	12:20:00	00:10:00	DEK	Non spécifié
10/05/2023	13:00:00	13:45:00	00:45:00	FUZION-14	Nozzle
15/05/2023	17:40:00	17:50:00	00:10:00	FUZION 2	Nozzle
17/05/2023		18:30:00	18:30:00	OVEN	Carte coincée
21/05/2023	16:30:00	16:50:00	00:20:00	Aucune	Non spécifié
24/05/2023	16:50:00	17:20:00	00:30:00	FUZION 2	Nozzle
27/05/2023	21:50:00	22:50:00	01:00:00	OVEN	Non spécifié
28/05/2023	10:30:00	12:30:00	02:00:00	OVEN	Non spécifié
29/05/2023	20:50:00	21:30:00	00:40:00	OVEN	Non spécifié
30/05/2023	18:10:00	18:55:00	00:45:00	FUZION 1	Nozzle
31/05/2023	19:40:00	20:00:00	00:20:00	FUZION 2	Axes
01/06/2023	14:20:00	15:00:00	00:40:00	FUZION-14	Nozzle
04/06/2023	08:10:00	08:45:00	00:35:00	OVEN	Non spécifié
18/06/2023	12:20:00	13:20:00	01:00:00	Toutes	Coupure de courant électrique
18/06/2023	17:40:00	22:00:00	04:20:00	FUZION 1	Nozzle
10/07/2023	16:30:00	23:00:00	06:30:00	FUZION 2	Tête
12/07/2023	11:20:00	14:40:00	03:20:00	FUZION 2	Rejet composant
17/07/2023	21:00:00	22:00:00	01:00:00	LOADER	Tige automatique
23/07/2023	08:00:00	10:30:00	02:30:00	AOI 1	Non spécifié
24/07/2023	18:40:00	19:10:00	00:30:00	LOADER	Non spécifié
31/07/2023	15:20:00	15:30:00	00:10:00	FUZION 1	Non spécifié
31/07/2023	23:20:00	23:50:00	00:30:00	FUZION 2	Non spécifié
05/09/2023	16:30:00	17:30:00	01:00:00	FUZION 1	Nozzle
05/09/2023	18:10:00	19:10:00	01:00:00	DEK	Non spécifié
07/09/2023	09:30:00	09:50:00	00:20:00	FUZION 2	Carter
07/09/2023	10:20:00	11:45:00	01:25:00	FUZION 2	Carter
10/09/2023	08:00:00	08:50:00	00:50:00	AOI 1	Non spécifié
12/09/2023	20:30:00	20:55:00	00:25:00	FUZION 2	Nozzle
13/09/2023	20:00:00	20:20:00	00:20:00	FUZION-14	Nozzle
17/09/2023	00:00:00	00:30:00	00:30:00	FUZION 1	Chargeur
18/09/2023	08:00:00	09:30:00	01:30:00	FUZION 1	Chargeur
19/09/2023	08:00:00	11:00:00	03:00:00	OVEN	Non spécifié
19/09/2023	15:30:00	15:50:00	0:20:00	FUZION-14	Non spécifié
20/09/2023	08:00:00	09:00:00	01:00:00	FUZION 2	Carter

24/09/2023	13:25:00	16:10:00	02:45:00	Toutes	Coupure de courant électrique
25/09/2023	09:45:00	10:10:00	00:25:00	FUZION 2	Rejet composant
27/09/2023	18:15:00	19:00:00	00:45:00	FUZION 1	Axes
27/09/2023	22:00:00	23:05:00	01:05:00	FUZION 1	Rejet composant
01/10/2023	09:00:00	11:00:00	02:00:00	FUZION 2	Nozzle
01/10/2023	15:00:00	15:30:00	00:30:00	FUZION 2	Nozzle
02/10/2023	08:00:00	09:30:00	01:30:00	FUZION 2	Carter
02/10/2023	22:30:00	22:55:00	00:25:00	FUZION 1	Nozzle
04/10/2023	08:50:00	11:50:00	03:00:00	AOI 1	Reglage
04/10/2023	21:00:00	21:30:00	00:30:00	FUZION 2	Nozzle
05/10/2023	08:00:00	16:30:00	08:30:00	LOADER	Non spécifié
09/10/2023	10:00:00	11:00:00	01:00:00	Toutes	Nettoyage
10/10/2023	10:20:00	11:20:00	01:00:00	FUZION 2	Nozzle
12/10/2023	12:50:00	13:00:00	0:10:00	FUZION-14	Reglage
16/10/2023	20:30:00	21:15:00	00:45:00	FUZION 2	Chargeur
22/10/2023	08:00:00	08:30:00	00:30:00	FUZION 1	Nozzle
06/11/2023	13:00:00	13:30:00	0:30:00	FUZION-14	Reglage
08/11/2023	08:30:00	11:30:00	03:00:00	FUZION-14	Nozzle
12/11/2023	08:00:00	09:30:00	1:30:00	FUZION-14	Reglage
12/11/2023	14:00:00	15:30:00	01:30:00	DEK	Reglage
20/11/2023	08:00:00	09:00:00	01:00:00	DEK	Reglage
21/11/2023	08:15:00	09:00:00	00:45:00	FUZION 2	Reglage
22/11/2023	16:00:00	16:30:00	00:30:00	FUZION 2	Chargeur
22/11/2023	16:30:00	17:20:00	00:50:00	FUZION 2	Rejet composant
26/11/2023	13:20:00	14:20:00	01:00:00	DEK	Reglage
28/11/2023	16:00:00	16:30:00	00:30:00	AOI 1	Non spécifié
28/11/2023	16:30:00	17:10:00	00:40:00	AOI 1	Non spécifié
03/12/2023	17:15:00	18:15:00	01:00:00	FUZION 2	Nozzle
07/12/2023	23:00:00	23:25:00	00:25:00	FUZION-14	Nozzle
10/12/2023	08:00:00	08:30:00	00:30:00	FUZION 1	Carter
11/12/2023	12:00:00	12:45:00	00:45:00	FUZION 2	Feeder
12/12/2023	08:00:00	11:30:00	03:30:00	FUZION 1	Nozzle
12/12/2023	18:00:00	19:45:00	01:45:00	Toutes	Carte coincée
13/12/2023	08:00:00	08:30:00	00:30:00	SPI	Reglage
13/12/2023	18:00:00	18:30:00	00:30:00	Toutes	Reglage
13/12/2023	16:30:00	18:00:00	01:30:00	Toutes	Maintenance
17/12/2023	15:00:00	15:40:00	00:40:00	FUZION 2	Nozzle

17/12/2023	21:25:00	22:40:00	1:15:00	FUZION-14	Rejet composant
18/12/2023	08:00:00	11:40:00	03:40:00	Toutes	Reglage
18/12/2023	13:00:00	15:00:00	02:00:00	FUZION 2	Rejet composant
21/12/2023	09:20:00	10:30:00	01:10:00	DEK	Non spécifié
24/12/2023	17:40:00	18:40:00	01:00:00	FUZION 2	Convoyeur
25/12/2023	15:10:00	15:20:00	00:10:00	FUZION 2	Convoyeur
25/12/2023	15:30:00	15:45:00	00:15:00	FUZION 2	Convoyeur
26/12/2023	08:00:00	08:30:00	00:30:00	FUZION 2	Nozzle
26/12/2023	10:20:00	10:50:00	00:30:00	FUZION 2	Convoyeur
26/12/2023	11:00:00	11:30:00	00:30:00	FUZION 2	Reglage
28/12/2023	09:50:00	10:00:00	00:10:00	OVEN	Compresseur

Annexe 04 : Données des temps de bon fonctionnement des machines de la ligne
SMT.

i	Loader	DEK	SPI	AOI	OVEN	FZ14	FZ1	FZ2
1	62,5	70,5	200,25	191,16	0,33	0,08	3	0,16
2	533,33	92	2907,16	262	4,16	6	9,5	0,16
3	2433,75	141,66		281	7,66	11,75	17,5	0,5
4		142,5		598,5	9,5	28	27,5	0,5
5		292,5		676,16	22,66	29,5	28,83	0,83
6		770,33		931,25	24,83	61,16	32,41	1
7		580,66			118,83	86,66	32,5	1,83
8		1078,83			160	91,5	39,75	2,41
9					205,25	257,83	48,58	2,41
10					409,5	264	54,08	3,33
11					704,83	278,16	81,91	4
12					923,25	281,08	83,5	4,41
13					1153,83	327	101,58	5,16
14						879	118,08	6,91
15						1075	124,25	8,75
16							133,16	9
17							138,5	9,5
18							199,75	12,83
19							213,08	13,33
20							232,58	14,16
21							396,66	15,33
22							504,83	17,75
23							517,25	21,33
24							560,5	22,33
25								23,5
26								28,5
27								39
28								44,5
29								46
30								48,33
31								50,25
32								58,25
33								58,75
34								60,08
35								68,25
36								68,66
37								71,33
38								75,16
39								86,66
40								86,91
41								92,75
42								97
43								101,16
44								101,33
45								114,66
46								115,41
47								128,25
48								145,83
49								146,5
50								148,66

51								212,41
52								239,66
53								316,58
54								399,5
55								425,5

Annexe 05 : Données tracés de Weibull.

	TBF	F(t) calculée	Y	X	
1	62,5	0,21	-1,47	4,14	LOADER
2	533,33	0,50	-0,37	6,28	
3	2433,75	0,79	0,46	7,80	
1	70,5	0,08	-2,44	4,26	DEK
2	92	0,20	-1,49	4,52	
3	141,66	0,32	-0,95	4,95	
4	142,5	0,44	-0,54	4,96	
5	292,5	0,56	-0,20	5,68	
6	770,33	0,68	0,13	6,65	
7	580,66	0,80	0,47	6,36	
8	1078,83	0,92	0,91	6,98	
1	200,25	0,29	-1,06	5,30	SPI
2	2907,16	0,71	0,21	7,97	
1	191,16	0,11	-2,16	5,25	AOI
2	262	0,27	-1,18	5,57	
3	281	0,42	-0,60	5,64	
4	598,5	0,58	-0,15	6,39	
5	676,16	0,73	0,28	6,52	
6	931,25	0,89	0,79	6,84	
1	0,33	0,05	-2,93	-1,11	OVEN
2	4,16	0,13	-2,00	1,43	
3	7,66	0,20	-1,49	2,04	
4	9,5	0,28	-1,13	2,25	
5	22,66	0,35	-0,84	3,12	
6	24,83	0,43	-0,59	3,21	
7	118,83	0,50	-0,37	4,78	
8	160	0,57	-0,16	5,08	
9	205,25	0,65	0,05	5,32	
10	409,5	0,72	0,25	6,01	
11	704,83	0,80	0,47	6,56	
12	923,25	0,87	0,72	6,83	

13	1153,83	0,95	1,08	7,05	
1	0,08	0,05	-3,07	-2,53	Fuzion-14
2	6	0,11	-2,15	1,79	
3	11,75	0,18	-1,65	2,46	
4	28	0,24	-1,29	3,33	
5	29,5	0,31	-1,01	3,38	
6	61,16	0,37	-0,77	4,11	
7	86,66	0,44	-0,56	4,46	
8	91,5	0,50	-0,37	4,52	
9	257,83	0,56	-0,18	5,55	
10	264	0,63	-0,01	5,58	
11	278,16	0,69	0,17	5,63	
12	281,08	0,76	0,35	5,64	
13	327	0,82	0,55	5,79	
14	879	0,89	0,79	6,78	
15	1075	0,95	1,13	6,98	
1	3	0,04	-3,20	1,10	Fuzion 120-1
2	9,5	0,08	-2,48	2,25	
3	17,5	0,12	-2,06	2,86	
4	27,5	0,16	-1,75	3,31	
5	28,83	0,20	-1,50	3,36	
6	32,41	0,24	-1,29	3,48	
7	32,5	0,28	-1,11	3,48	
8	39,75	0,32	-0,95	3,68	
9	48,58	0,36	-0,81	3,88	
10	54,08	0,40	-0,67	3,99	
11	81,91	0,44	-0,55	4,41	
12	83,5	0,48	-0,42	4,42	
13	101,58	0,52	-0,31	4,62	
14	118,08	0,56	-0,20	4,77	
15	124,25	0,60	-0,09	4,82	
16	133,16	0,64	0,02	4,89	
17	138,5	0,68	0,13	4,93	
18	199,75	0,72	0,24	5,30	
19	213,08	0,76	0,36	5,36	

20	232,58	0,80	0,48	5,45	
21	396,66	0,84	0,61	5,98	
22	504,83	0,88	0,75	6,22	
23	517,25	0,92	0,93	6,25	
24	560,5	0,96	1,17	6,33	
1	0,16	0,02	-4,02	-1,83	
2	0,16	0,04	-3,31	-1,83	
3	0,5	0,05	-2,90	-0,69	
4	0,5	0,07	-2,60	-0,69	
5	0,83	0,09	-2,37	-0,19	
6	1	0,11	-2,18	0,00	
7	1,83	0,13	-2,01	0,60	
8	2,41	0,14	-1,87	0,88	
9	2,41	0,16	-1,74	0,88	
10	3,33	0,18	-1,63	1,20	
11	4	0,20	-1,52	1,39	
12	4,41	0,21	-1,42	1,48	
13	5,16	0,23	-1,33	1,64	
14	6,91	0,25	-1,25	1,93	
15	8,75	0,27	-1,17	2,17	
16	9	0,29	-1,09	2,20	Fuzion 120-2
17	9,5	0,30	-1,02	2,25	
18	12,83	0,32	-0,95	2,55	
19	13,33	0,34	-0,88	2,59	
20	14,16	0,36	-0,82	2,65	
21	15,33	0,38	-0,76	2,73	
22	17,75	0,39	-0,70	2,88	
23	21,33	0,41	-0,64	3,06	
24	22,33	0,43	-0,58	3,11	
25	23,5	0,45	-0,53	3,16	
26	28,5	0,46	-0,47	3,35	
27	39	0,48	-0,42	3,66	
28	44,5	0,50	-0,37	3,80	
29	46	0,52	-0,32	3,83	
30	48,33	0,54	-0,26	3,88	
31	50,25	0,55	-0,22	3,92	

32	58,25	0,57	-0,17	4,06	
33	58,75	0,59	-0,12	4,07	
34	60,08	0,61	-0,07	4,10	
35	68,25	0,63	-0,02	4,22	
36	68,66	0,64	0,03	4,23	
37	71,33	0,66	0,08	4,27	
38	75,16	0,68	0,13	4,32	
39	86,66	0,70	0,18	4,46	
40	86,91	0,71	0,23	4,46	
41	92,75	0,73	0,28	4,53	
42	97	0,75	0,33	4,57	
43	101,16	0,77	0,38	4,62	
44	101,33	0,79	0,43	4,62	
45	114,66	0,80	0,49	4,74	
46	115,41	0,82	0,54	4,75	
47	128,25	0,84	0,60	4,85	
48	145,83	0,86	0,67	4,98	
49	146,5	0,88	0,73	4,99	
50	148,66	0,89	0,80	5,00	
51	212,41	0,91	0,88	5,36	
52	239,66	0,93	0,97	5,48	
53	316,58	0,95	1,07	5,76	
54	399,5	0,96	1,20	5,99	
55	425,5	0,98	1,39	6,05	

Annexe 06 : Tableau données du département de maintenance.

Jour	Équipement	Pièce	Organe	Heure Arrêt	Heure Reprise	Catégorie Intervention	Effet
2023-01-02	FZ120 B (01)	Module b	beam2; head d1; spindles; spindle26	2023-01-02 09:00	2023-01-02 08:48	Maintenance curative	Sans gêne
2023-01-04	FZ120 B (01)	Module a	beam1; head a1; spindles; spindle1	2023-01-04 14:40	2023-01-04 14:22	Échange de pièces	Sans gêne
2023-01-04	FZ120 B (01)	Module b	beam1; head a1; spindles; spindle23	2023-01-04 14:42	2023-01-04 14:22	Échange de pièces	Sans gêne
2023-01-07	AOI1 L2	Unité centrale	Système	2023-01-07 12:00	2023-01-07 11:44	Maintenance curative	Avec gêne
2023-01-09	FOUR SOLTECH	Extracteur	Disjoncteur	2023-01-09 08:30	2023-01-09 08:18	Maintenance curative	Sans gêne
2023-01-19	FOUR SOLTECH	Système de refroidissement	Zone de refroidissement basse	2023-01-19 12:45	2023-01-19 11:00	Maintenance curative	Avec arrêt
2023-02-13	FOUR SOLTECH	Radiateur		2023-02-13 16:28	2023-02-13 15:00	Maintenance curative	Avec arrêt
2023-02-16	FZ120 B (01)	Module b	beam1; head a1; axe z	2023-02-16 09:00	2023-02-16 08:00	Maintenance curative	Avec arrêt
2023-02-19	FZ120 B (01)	Module b	Beam1	2023-02-19 13:00	2023-02-19 10:50	Maintenance curative	Avec arrêt
2023-03-06	FOUR SOLTECH	Zone de refroidissement	Radiateur	2023-03-06 15:15	2023-03-06 13:35	Maintenance curative	Sans gêne
2023-03-06	DEK L2	Print carriage	Courroie	2023-03-06 15:45	2023-03-06 15:25	Maintenance curative	Avec arrêt
2023-03-16	FZ120 B (02)	Module b	Courroie	2023-03-16 11:10	2023-03-16 10:55	Échange de pièces	Avec gêne
2023-03-17	FZ120 B (02)	Module a	Courroie	2023-03-17 11:41	2023-03-17 11:28	Échange de pièces	Avec arrêt
2023-04-17	FZ120 B (02)	Feeders	Pogo	2023-04-17 10:30	2023-04-17 10:13	Maintenance curative	Sans gêne
2023-04-18	FZ120 B (02)	Feeders	Pogo	2023-04-18 08:15	2023-04-18 07:52	Maintenance curative	Sans gêne
2023-04-18	FZ120 B (02)	Feeders	Pogo	2023-04-18 10:00	2023-04-18 09:20	Maintenance curative	Sans gêne

2023-04-19	FZ120 B (02)	Feeders	Pogo	2023-04-19 09:30	2023-04-19 09:11	Maintenance curative	Sans gêne
2023-05-04	AOI1 L2	Pc	Software	2023-05-04 09:30	2023-05-04 08:26	Maintenance curative	Avec arrêt
2023-05-10	FOUR SOLTECH	Convoyeur1	Réglage de la largeur	2023-05-10 08:20	2023-05-10 08:10	Maintenance curative	Avec gêne
2023-05-21	FOUR SOLTECH	Cathox	Sonde	2023-05-21 09:37	2023-05-21 08:00	Maintenance curative	Avec arrêt
2023-05-24	FZ14 4704B	Beam 2	Rejet belt	2023-05-24 12:30	2023-05-24 10:38	Maintenance curative	Sans gêne
2023-05-28	FOUR SOLTECH	Radiateur	Radiateur	2023-05-28 16:30	2023-05-28 15:21	Maintenance curative	Avec gêne
2023-06-04	FOUR SOLTECH	Radiateur	[Tout]	2023-06-04 08:25	2023-06-04 08:40	Maintenance curative	Avec gêne
2023-06-19	DEK L2	Problème de pression	Tuyaux	2023-06-19 16:30	2023-06-19 16:22	Échange de pièces	Avec gêne
2023-07-09	DEK L2	Pression	Tuyau	2023-07-09 12:30	2023-07-09 12:16	Échange de pièces	Avec gêne
2023-10-09	DEK L2	Convoyeur	Courroie	2023-10-09 15:45	2023-10-09 15:55	Échange de pièces	Avec gêne
2023-11-06	AOI1 L2	Convoyeur	Courroies	2023-11-06 08:56	2023-11-06 08:46	Échange de pièces	Avec gêne
2023-11-13	AOI1 L2	Convoyeur	Moteur convoyeur; détecteur de sortie carte	2023-11-13 09:00	2023-11-13 08:35	Maintenance curative	Avec gêne
2023-11-19	FZ14 4704B	Beam 2	Nozzle changer	2023-11-19 10:22	2023-11-19 10:05	Maintenance curative	Avec arrêt
2023-11-19	AOI1 L2	Convoyeur	Système de détection	2023-11-19 15:45	2023-11-19 15:20	Maintenance curative	Avec arrêt
2023-11-23	FZ120 B (02)	Module a	beam1; head a1; spindles; spindle23	2023-11-23 09:20	2023-11-23 08:57	Maintenance curative	Avec arrêt
2023-11-23	FZ120 B (02)	Module a	beam2; head d1; spindles; spindle3	2023-11-23 11:40	2023-11-23 11:27	Échange de pièces	Avec arrêt
2023-11-23	FZ120 B (02)	Module a	beam1; head a1; axe z; moteur z	2023-11-23 16:25	2023-11-23 16:12	Maintenance curative	Avec arrêt

2023-12-12	FZ120 B (01)	Module a	beam1; head a1; spindles; spindle21	2023-12-12 11:00	2023-12-12 08:53	Maintenance curative	Avec arrêt
2023-12-13	SPI L2	Pc	Disques durs; disque d	2023-12-13 09:00	2023-12-13 08:41	Maintenance curative	Avec gène
2023-12-14	FZ120 B (01)	Module a	Beam1	2023-12-14 09:30	2023-12-14 08:29	Réglage	Sans gène
2023-12-14	LOADER	Mécanisme de montée descente	Vérin horizontal	2023-12-14 09:00	2023-12-14 08:36	Réglage	Avec gène

Annexe 07 : Critères de la méthode de l'abaque de noiret.

1. L'âge de l'équipement :

Âge	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Points	10	14	18	22	26	30	34	38	42	46	50	54	58	62	66	70	74	78	82	86	90

2. Son l'interdépendance : dans quelle mesure est-il vital pour la production ?

Critère	Points
Matériel essentiel et marche continue	70
Matériel essentiel et marche semi discontinue	60
Matériel essentiel et marche discontinue	50
Matériel sans tampon aval ou amont	40
Matériel semi indépendant	30
Matériel indépendant	20
Matériel double (ou plus)	10

3. Son coût :

Critère en dinar Algérien	Points
Moins de 450000	5
450000-2000000	15
2000000-4500000	25
4500000-6500000	35
6500000-20000000	45
20000000 ou plus	55

4. Sa complexité et son accessibilité :

Critère	Points
Matériel peu complexe et accessible	5
Matériel très complexe et accessible	25
Matériel peu complexe et inaccessible	25
Matériel très complexe et inaccessible	45

5. Sa robustesse et sa précision :

Critère	Points
Robuste	5
Courant	10
Robuste et de précision	15
Peu robuste	20
Travail en surcharge	25
Délicat et de précision	30

6. Son origine :

Critère	Points
Algérien de grande série	20
Algérien de petite série	40
Étranger avec SAV en Algérie	50
Étranger sans SAV en Algérie	70
Étranger sans service technique	90

7. Son utilisation dans le temps :

Critère	Points
Marche à 1 poste de travail	75
Marche à 2 postes de travail	175
Marche à 3 postes de travail	250

8. Les conséquences de ses défaillances sur les produits :

Critère	Points
Produits vendables	10
Produits à reprendre	35
Produits perdus	55

9. Les délais de production qui lui sont liés

Critère	Points
Délai libre (constitution de stock)	25
Délai serré	100
Délai impératif (risque de pénalités de retard)	150
Délai impératif (risque de pénalités de perte client)	225

Annexe 07 : Tableau représentatif des résultats de l'AMDEC.

Sous système	Élément	Fonction	MdD	Causes	Effets	Criticité				
						F	G	D	C	
Module	Tête	Happer les composants de différentes formes et tailles.	Dégradation de la fonction (partielle/totale)	Rupture du mécanisme de serrage	Dommage aux composants de la carte PCB	2	2		12	
					Erreur de placement des composants	2	2	3	12	
					Perturbation de l'activité	2	1		6	
			Court-circuit	Défaillance des composants électriques	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Arrêt de la machine ; ▪ Perte de données/ produit ; ▪ Altération des composants de la carte. 	3			6	
						Présence des corps étrangers (conducteurs)	3	1	2	6
						Surtension	3			6
						Défauts de conception	3			6
			Fonctionnement irrégulier	Dérive des performances de calibration	Erreur d'emplacement des composants	1		2	4	
				Usure des composants d'adhérence		3	2	3	18	
				Vibrations excessives		3	3	2	18	
	Spindle	Récupérer les composants électroniques des feeders et de les placer avec précision sur la carte PCB	Usure mécanique	Utilisation intensive	Diminution de la précision de ramassage	1	2	2	4	
			Dégradation structurelle partielle (pointes)	Chocs et collisions	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Adhérence insuffisante ; ▪ Erreur de ramassage 	1	1	2	2	
			Court-circuit	Défaillance des composants électriques	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Arrêt de la machine ; ▪ Perte de données/ produit ; 	3			6	
	Présence des corps étrangers (conducteurs)	3		1		2	6			

				Surtension	<ul style="list-style-type: none"> Altération des composants de la carte. 	3			6	
				Défauts de conception		3			6	
			Fonctionnement irrégulier	Défaut de calibrage	<ul style="list-style-type: none"> Erreur de placement ; Altération de la qualité du produit fini 	1	2	2	4	
	Caméra	Localiser et inspecter avec précision les composants des circuits imprimés	Défaillance optique	Lentilles rayées	<ul style="list-style-type: none"> Diminution de la qualité d'image ; Diminution de la précision d'inspection ; Erreur d'alignement des composants ; Absence de système de contrôle. 	3		3	18	
			Fonctionnement irrégulier	Défaut de calibrage		2		2	8	
				Vibrations excessives				2	8	
			Perte de connexion	Câbles endommagés				2	2	8
				Connecteurs défectueux		2	2	8		
				Interférences électromagnétiques				2	8	
			Dégradation totale/ partielle de la fonction	Surchauffe des composants de la caméra		2		1	4	
Obstruction	Débris / poussières sur les lentilles	3		2	12					
Feeder	Faire avancer les composants vers la tête de la machine (contiennent des bobines)	Blocage	Composants déformés Pièces défectueuses	Arrêt d'alimentation de la machine	1	1	2	2		
		Indication erronée	Erreur de chargement Bobine mal alignée	Erreur de placement de composants	1	1	3	3		
		Court-circuit	Défaillance des composants électriques	<ul style="list-style-type: none"> Arrêt de la machine ; Perte de données/ produit ; 				6		
			Présence des corps étrangers (conducteurs)		3	1	2	6		
		Surtension					6			

				Défauts de conception	<ul style="list-style-type: none"> Altération des composants de la carte. 				6
			Perte de fonction	Usure des composants constituant le feeder	Arrêt d'alimentation de la machine	2	1	2	4
			Fonctionnement irrégulier	Ajustement incorrecte Mécanisme de réglage défectueux	Arrêt d'alimentation de la machine	2	1	2	4
	Bobine	Contiennent les composants électroniques	Coupure du fil de bobinage	Flexion / torsion Chocs physiques	Interruption de la circulation	2	3	3	18
			Blocage physique/ coincement	Mauvaise manipulation Mauvaise qualité de la bobine	<ul style="list-style-type: none"> Perte de matière première ; Perturbation de la production 	2	2	2	8
	Chargeur	Transfert qui permet un changement rapide et automatisé des buses	Blocage physique/ coincement	Présence des corps étrangers	Arrêt d'alimentation de la machine	2	1	2	4
			Court-circuit	Défaillance des composants électriques	<ul style="list-style-type: none"> Arrêt de la machine ; Perte de données/ produit ; Altération des composants de la carte. 	2	1	2	4
				Présence des corps étrangers (conducteurs)					4
				Surtension					4
				Défauts de conception					4
			Dégradation de la fonction (partielle/totale)	Court-circuit Problème mécanique	<ul style="list-style-type: none"> Arrêt de l'alimentation de la machine ; Incohérence de l'alimentation. 	2	1	1	2
			Fonctionnement irrégulier	Problème de réglage	<ul style="list-style-type: none"> Erreur de chargement de composants ; 	2		2	8
	Ajustement incorrect	1		2		2	4		

					<ul style="list-style-type: none"> Manque de composants sur la carte PCB. 				
Nozzle	Récupérer les composants électroniques de leur chargeur et les placer sur le PCB.	Fonctionnement irrégulier	Usure mécanique Utilisation intensive Taille de composant inappropriée Problème de réglage	<ul style="list-style-type: none"> Diminution de la capacité du nozzle Erreur de placement Dommages aux composants Diminution de la stabilité lors du placement 	1		1	1	
		Défaillance structurelle (déformations, fissurations...)	Présence d'obstacles Défaut sur la carte PCB Contact avec composants mal orientés		1	1	2	2	
		Fixation erronée / Vibration	Vis desserrés Support endommagés		1		2	2	
Convoyeur	Mécanisme qui transporte les PCB à travers les différentes étapes du processus d'assemblage.	Blocage	Piese défectueuse Présence d'obstacles	Arrêt de la production	2	1	2		
				Perturbation de la production		2	8		
		Dégradation de la fonction (partielle/totale)	Coupure de courant Usure des pièces internes Rupture de la courroie	Arrêt de la production	2	1	2		
				Perturbation de la production		1	4		
Boite à rejets	Partie de la machine vers laquelle sont redirigés les composants qui ne sont pas placés correctement ou qui présentent des défauts.	Ne s'ouvre pas	Obstruction (déchets, composants...)	Perturbation de la production	2	2	12		
				Empêchement d'élimination des déchets	2	3	18		
		Ne se ferme pas	Obstruction (déchets, composants...)	Perturbation de la production	2	2	3	12	

				Empêchement d'élimination des déchets			3		18
		Débordement	Atteinte de la capacité maximale de la boîte	Perturbation de la production	1	2	3		6
				Problème d'hygiène		3			9
		Fuite	Boîte endommagée	Accident de travail (glissement.)	3	1	2		6
PC	Contrôle et programmation	Arrêt soudain	Coupure de courant électrique Problème de câblage	Perte de données	2	1			6
							3		9
		Encombrement (problème de stockage)	Absence de contrôle de la capacité du pc	Dysfonctionnement du PC	3			3	9
		Immobilité du pointeur	Capteur du mouvement écrasé		3	1		3	9
		Pannes logicielles	Erreur système Virus/ logiciels malveillants		3		2		6
									6
Surchauffe	Accumulation de poussières Mauvaise ventilation	Diminution de la performance	3	3	2		18		
Chaîne métallique	Transporter les PCB à travers les différentes étapes du processus de soudure	Blocage	Pièce défectueuse Présence d'obstacles	Arrêt de la production	1	1			2
				Perturbation de la production		2			4
		Coinçage	Manque de lubrification	Arrêt de la production	1	1	3		3
				Arrêt de la production	2	1	1		2

		Dégradation de la fonction (partielle/totale)	Coupure de courant Usure des pièces internes Rupture de la courroie	Perturbation de la production		2			4
Résistances	Aide à maintenir un profil de température constant et contrôlé au processus de soudage	Fonctionnement irrégulier	Défaut au circuit électrique Perte de chaleur	Perturbation de la production	3	2	2	12	
		Perte de chaleur	Usure des composants internes Dégradation des matériaux	Diminution de la durée de vie de la machine	2	2	3	12	
		Défaillance structurelle	Formation de points chauds	Surchauffe locale	2	3	1	6	
		Corrosion	Exposition à l'humidité	Problème de conductivité	3	3	3	27	
				Diminution de la performance	3	3	3	27	
				Endommagement des connexion électriques	3	2	3	12	
Ventilateurs	Assurer un chauffage et un refroidissement uniformes des PCB et des composants	Blocage	Accumulation de poussière Présence de corps étrangers dans les palés	Perturbation de la production	1	2	2	4	
				Diminution du flux d'air	1	2	2	4	
		Fonctionnement irrégulier	Usure des roulements	Perturbation de la production	3	2	2	12	
		Vibrations	Chocs physiques	Nuisances sonores	2	3	2	12	

			Surchauffe	Accumulation de poussières Mauvaise ventilation	Diminution de la performance	3	3	2	18		
			Corrosion	Exposition à l'humidité	Problème de conductivité	3	3	3	27		
						Diminution de la performance	3	2	3	18	
						Endommagement des connexion électriques	3	2	3	18	
			Dégradation de la fonction (partielle/totale)	Chocs physique Vibrations excessives	Dommages structurels	2	1	2	4		
						Diminution de la performance	2	3	2	12	
	Gaz d'azote	Créer une atmosphère inerte pour prévenir l'oxydation de la soudure et améliorer sa qualité.	Fuite de gaz	Problème de jointure Fissures dans les conduites Défaut de raccordement	Diminution de l'efficacité de refusion	3	2	2	12		
							Risque sur le personnel	3	2	2	12
					Fonctionnement irrégulier	Baisse de pression Contamination du gaz	Diminution de l'efficacité en tant qu'environnement inerte	2	2	2	8
								Défaut de soudure	2	1	2
	Compresseur	Fournir de l'air comprimé propre, sec à divers équipements	Fuite	Usure de composants internes (soupape, joint...) Défaut de fabrication	Diminution de l'efficacité (diminution de la pression d'air)	3	2	3	18		

			Fonctionnement irrégulier	Usure de composants internes (soupape, joint, pistons...) Surchauffe	Perturbation de la production	2	2	3	12
--	--	--	---------------------------	--	-------------------------------	---	---	---	----

Annexe 09 : PV de formation et feuille de présence.

❖ PV de formation.

Date.	24-04-2024.
Lieu.	Unité de production des cartes électroniques (UPCE).
Début-Fin.	15h00-16h30.

Objet : Initiation et formation sur la mise en œuvre du fichier de suivi de production pour le personnel de production.

Points discutés et arrêtés :

- ✓ Pour la préparation de la formation, le contenu a été condensé en une présentation concise comprenant quelques diapositives, dans le but de simplifier la compréhension et de rendre l'utilisation du nouvel outil plus aisée.
- ✓ Les personnes impliquées dans l'utilisation de l'outil ont été invitées, notamment le chef d'unité, les chefs de lignes (SMT) et les ingénieurs de processus.
- ✓ La formation, d'une durée d'environ une heure, a été organisée avec succès. Elle a été caractérisée par un échange d'informations enrichissant et un partage de connaissances entre les participants.
- ✓ Une séquence de questions-réponses a été intégrée à la formation pour permettre aux participants de clarifier leurs doutes et d'approfondir leur compréhension de l'outil.

La formation s'est conclue avec succès, démontrant une bonne assimilation du contenu par les participants et une préparation adéquate pour l'utilisation]

Ce document est la propriété de BOMARE COMPANY, aucune utilisation et/ou reproduction ne peut être faite sans autorisation écrite

STREAM le 1^{er} téléviseur algérien exporté vers l'Europe

www.streamsystem.com



SARL BOMARE COMPANY

RC : 0014165 B Cl - MF : 000 116 00 14 16 542 - NIS : 000 116 100 195 064

Al : 164 079 640 31 - CS : 1.023.000.000,00 DA

Siège social : 26 rue Mohamed Ouidir Amelal, El Biar, Alger 16406

sbomare@streamsystem.net • Tél : +213 (0) 23 050 609 • Fax : +213 (0) 23 050 602

EXPORT
TROPHY
2019



STREAM

Marque commerciale de
BOMARE COMPANY

❖ Feuille de présence.

Feuille de présence

Date : 24-04-2024

Objet de la réunion : initiation et formation sur la mise en œuvre du fichier de suivi de production pour le personnel de production.

Nom & Prénom de l'animateur : Arous Meriem.

Fonction de l'animateur : Stagiaire.

Nom et prénom	Fonction	Structure
Rahali Mohammed	Responsable d'unité	UPCE
Toumi Mohamed Amine	Ingénieur de processus	UPCE
Khelladi Younes	Chef de ligne	UPCE
Abdelfattah Mohammed	Chef de ligne	UPCE

Ce document est la propriété de BOMARE COMPANY, aucune utilisation et/ou reproduction ne peut être faite sans autorisation écrite

STREAM le 1^{er} téléviseur algérien exporté vers l'Europe

www.streamsystem.com



SARL BOMARE COMPANY

RC : 001485 B 01 - MF : 000 06 00 14 36 542 - NIS : 000 06 100 295 064

Al : 364 079 640 31 - CS : 1.023.000.000,00 DA

Siège social : 26 rue Mohamed Ouadr Amelal, El Biar, Alger 16406

sarlbomare@streamsystem.net • Tél : +213 (0) 23 050 600 • Fax : +213 (0) 23 050 602

EXPORT
TRIESTE
2019




STREAM

Marque commerciale de
BOMARE COMPANY

Annexe 10 : Fichier de suivi de production.

❖ Feuille 01 :

			
Nom de l'employé		Mohammed RAHALI	
Année civile		2024	
Heures par jour		16H	
Pause		0,5H	

Brève description des feuilles de calcul :

- * **Données de base**
- * **Saisie des temps** : inscription des heures quotidiennes.
- * **Tableau de bord** : contient des indicateurs d'évaluation

Type d'arrêt	Cause d'arrêt	Type d'intervention	Constat d'arrêt
Arret planifié	Changement de produit	Maintenance	Rejet Composant
Arret non planifié	Réglage machine	Production	Collision
	Test et validation		Axes
	Organisation de la ligne		probleme Feeder
	Maintenance préventive		Problem Camera
	erreur de changement		Blockage Système
	AXES DTF		Manque composant
	REGLAGE PROCES		Configuration de Nozzle convoyeur
			programme AOI non disponible
			Programme SPI non Disponible
			Serigraphie non conforme
			blockage ASCENSEUR DTF
			composant errone
			BLOCAGE DTF
			PROBLEME CUTTER

❖ Feuille 02

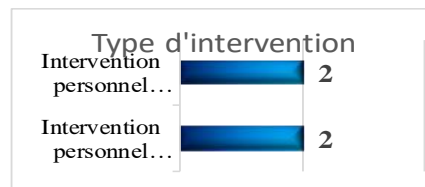
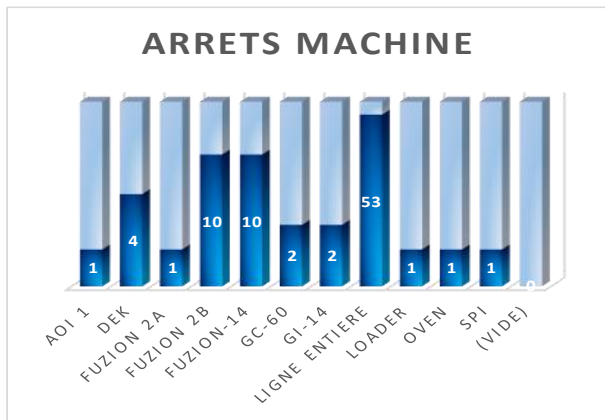
❖ Feuille 03 :



Jour	Produit	LOT	Marché	SIDE	Taille de lot	Ligne	Shift	Quantité produite	Reste
2024-05-02	40GTF2			TOP		2	1	342	
2024-05-02	LG65UR			TOP		2	2	499	
2024-05-02	LG65UR BOT			BOT		1	2	255	
2024-05-05	LG65UR BOT			BOT		1	1	244	
2024-05-05	LG55UR			TOP		2	1	699	
2024-05-05	LG55UR BOT			BOT		1	1	490	
2024-05-05	LG75UR			TOP		2	2	300	
2024-05-06	LG55UR BOT			BOT		1	1	210	
2024-05-06	LG75UR BOT			BOT		1	1	295	
2024-05-06	PCB12			TOP		1	1	46	
2024-05-06	LG50UR			TOP		2	2	363	
2024-05-07	PCB12			TOP		1	1	1540	
2024-05-07	PCB7			TOP		1	2	16	

❖ Feuille 04 :

Tableau de bord Production



Nombre total d'heures de travail

542h

Nombre total d'heures d'arrêt

63h

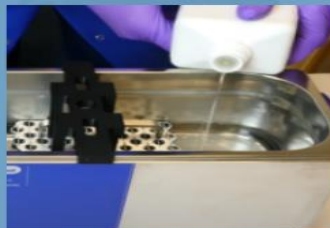
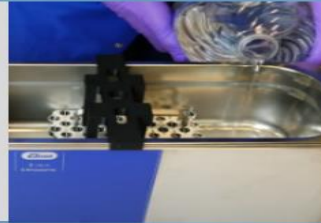
201...	202...	202...	202...	202...	202...	202...
202...	202...	202...	202...	202...	202...	202...
202...	202...	202...	202...	202...	202...	202...
202...	(vide)					

PROCEDURE DE NETTOYAGE DES NOZZLES



Placer l'outil de retrait de nozzle avec les nozzles dans le nettoyeur ultrasonique.

Remplir le nettoyeur ultrasonique avec de l'eau distillée ($\frac{1}{4}$ en dessous des nozzles).



Ajouter le solvant de nettoyage des nozzles au nettoyeur ultrasonique jusqu'à atteindre la moitié.

Fermer le nettoyeur ultrasonique et lancer le nettoyage. Ensuite nettoyer les nozzles avec de l'eau et laisser sécher.



Maintenir les nozzles fixées à l'outil de retrait, séchez-les à l'air comprimé propre.

Fermer le nettoyeur ultrasonique et lancer le nettoyage. Ensuite nettoyer les nozzles avec de l'eau et laisser sécher.



Annexe 12 : Inventaire des feeders.

Nombre	Type	Num de série	Conforme/ non conforme
1	Ion 8mm/2mm ou /4mm	FDR2022190	Conforme
2	Ion 8mm/2mm ou /4mm	FDR2022170	Conforme
3	Ion 8mm/2mm ou /4mm	FDR2022175	Conforme
4	Ion 8mm/2mm ou /4mm	FDR2022185	Conforme
5	Ion 8mm/2mm ou /4mm	FDR2022194	Conforme
6	Ion 8mm/2mm ou /4mm	FDR2022267	Conforme
7	Ion 8mm/2mm ou /4mm	FDR2022258	Conforme
8	Ion 8mm/2mm ou /4mm	FDR2022182	Conforme
9	Ion 8mm/2mm ou /4mm	FDR2022227	Conforme
10	Ion 8mm/2mm ou /4mm	FDR2022207	Conforme
11	Ion 8mm/2mm ou /4mm	FDR2022238	Conforme
12	Ion 8mm/2mm ou /4mm	FDR2022261	Conforme
13	Ion 8mm/2mm ou /4mm	FDR2022171	Conforme
14	Ion 8mm/2mm ou /4mm	FDR2022260	Conforme
15	Ion 8mm/2mm ou /4mm	FDR2022234	Conforme
16	Ion 8mm/2mm ou /4mm	FDR2022251	Conforme
17	Ion 8mm/2mm ou /4mm	FDR2022228	Conforme
18	Ion 8mm/2mm ou /4mm	FDR2022187	Conforme
19	Ion 8mm/2mm ou /4mm	FDR2022231	Conforme
20	Ion 8mm/2mm ou /4mm	FDR2022265	Conforme
21	Ion 8mm/2mm ou /4mm	FDR2022230	Conforme
22	Ion 8mm/2mm ou /4mm	FDR2022196	Conforme
23	Ion 8mm/2mm ou /4mm	FDR2022180	Conforme
24	Ion 8mm/2mm ou /4mm	FDR2022252	Conforme
25	Ion 8mm/2mm ou /4mm	FDR2022202	Conforme
26	Ion 8mm/2mm ou /4mm	FDR2022173	Conforme
27	Ion 8mm/2mm ou /4mm	FDR2022199	Conforme
28	Ion 8mm/2mm ou /4mm	FDR2022254	Conforme
29	Ion 8mm/2mm ou /4mm	FDR2022233	Conforme
30	Ion 12mm/16mm	FDR2021955	Conforme
31	Ion 8mm/2mm ou /4mm	FDR2022179	Conforme
32	Ion 8mm/2mm ou /4mm	FDR2022198	Conforme
33	Ion 8mm/2mm ou /4mm	FDR2022262	Conforme
34	Ion 8mm/2mm ou /4mm	FDR2022266	Conforme
35	Ion 12mm/16mm	FDR2021957	Conforme
36	Ion 8mm/2mm ou /4mm	FDR2022256	Conforme
37	Ion 8mm/2mm ou /4mm	FDR2022206	Conforme
38	Ion 8mm/2mm ou /4mm	FDR2022174	Conforme
39	Ion 8mm/2mm ou /4mm	FDR2022269	Conforme
40	Ion 8mm/2mm ou /4mm	FDR2022184	Conforme
41	Ion 8mm/2mm ou /4mm	FDR2022189	Conforme

42	Ion 8mm/2mm ou /4mm	FDR2022191	Conforme
43	Ion 8mm/2mm ou /4mm	FDR2022250	Conforme
44	Ion 8mm/2mm ou /4mm	FDR2022201	Conforme
45	Ion 8mm/2mm ou /4mm	FDR2022232	Conforme
46	Ion 8mm/2mm ou /4mm	FDR2022264	Conforme
47	Ion 8mm/2mm ou /4mm	FDR2022249	Conforme
48	Ion 8mm/2mm ou /4mm	FDR2022178	Conforme
49	Ion 8mm/2mm ou /4mm	FDR2022197	Conforme
50	Ion 8mm/2mm ou /4mm	FDR2022209	Conforme
51	Ion 8mm/2mm ou /4mm	FDR2022186	Conforme
52	Ion 8mm/2mm ou /4mm	FDR2022172	Conforme
53	Ion 8mm/2mm ou /4mm	FDR2022208	Conforme
54	Ion 8mm/2mm ou /4mm	FDR2022188	Conforme
55	Ion 8mm/2mm ou /4mm	FDR2022181	Conforme
56	Ion 8mm/2mm ou /4mm	FDR2022236	Conforme
57	Ion 8mm/2mm ou /4mm	FDR2021822	Conforme
58	Ion 8mm/2mm ou /4mm	FDR2022200	Conforme
59	Ion 8mm/2mm ou /4mm	FDR2022203	Conforme
60	Ion 8mm/2mm ou /4mm	FDR2022235	Conforme
61	Ion 8mm/2mm ou /4mm	FDR2022257	Conforme
62	Ion 8mm/2mm ou /4mm	FDR2022255	Conforme
63	Ion 8mm/2mm ou /4mm	FDR2022259	Conforme
64	Ion 8mm/2mm ou /4mm	FDR2022205	Conforme
65	Ion 8mm/2mm ou /4mm	FDR2021958	Conforme
66	Ion 8mm/2mm ou /4mm	FDR2022229	Conforme
67	Ion 12mm/16mm	FDR2021964	Conforme
68	Ion 12mm/16mm	FDR2021877	Conforme
69	Ion 8mm/2mm ou /4mm	FDR2021959	Conforme
70	HP GOLD 24mm	FDR1309624	Conforme
71	HP GOLD 16mm	FDR0081754	Conforme
72	HP GOLD 24mm	FDR1309631	Conforme
73	Ion 8mm/2mm ou /4mm	FDR2022193	Conforme
74	Ion 12mm/16mm	FDR1287101	Conforme
75	Ion 12mm/16mm	FDR2021873	Conforme
76	Ion 12mm/16mm	FDR2021962	Conforme
77	Ion 12mm/16mm	FDR2021881	Conforme
78	Ion 12mm/16mm	FDR2021880	Conforme
79	Ion 12mm/16mm	FDR2021876	Conforme
80	HP GOLD 32mm	FDR1310313	Conforme
81	HP GOLD 32mm	FDR1310161	Conforme
82	Ion 8mm/2mm ou /4mm	FDR1310168	Conforme
83	HP GOLD PLUS DL-60 8mm	FDR2022195	Conforme
84	HP GOLD PLUS DL-60 8mm	FDR1311256	Non conforme
85	HP GOLD PLUS DL-60 8mm	FDR0083071	Non conforme
86	HP GOLD PLUS DL-60 8mm	FDR1311479	Non conforme

87	HP GOLD PLUS DL-60 8mm	FDR0083067	Non conforme
88	HP GOLD 32mm	FDR1311553	Non conforme
89	HP GOLD 44mm	FDR1346650	Non conforme
90	HP GOLD 32mm	FDR1308089	Non conforme
91	HP GOLD-60 8mm	FDR1318264	Non conforme
92	HP GOLD-60 8mm	FDR0083209	Non conforme
93	HP GOLD-60 8mm	FDR0083193	Non conforme
94	HP GOLD 16mm	FDR0083068	Non conforme
95	HP GOLD 16mm	FDR1308912	Non conforme
96	HP GOLD 16mm	FDR1308910	Non conforme
97	HP GOLD PLUS DL-60 8mm	FDR0081813	Non conforme
98	HP GOLD 24mm	FDR0083210	Non conforme
99	Ion 8mm/2mm ou /4mm	FDR1309637	Non conforme
100	Ion 8mm/2mm ou /4mm	FDR2022268	Non conforme
101	HP GOLD-60 8mm	FDR0083172	Non conforme
102	ABS	FDR0082890	Conforme
103	Green DL 8mm/2mm ou 4mm	FDR0082899	Conforme
104	Green DL 8mm/2mm ou 4mm	FDR0082730	Conforme
105	Green DL 8mm/2mm ou 4mm	FDR0082896	Conforme
106	Green DL 8mm/2mm ou 4mm	FDR0082892	Conforme
107	HP GOLD 16mm	FDR1308914	Conforme
108	HP GOLD 44mm	FDR1308086	Conforme
109	HP GOLD-60 8mm	FDR0083136	Non conforme
110	HP GOLD-60 8mm	FDR0083072	Non conforme
111	HP GOLD-60 8mm	FDR0083235	Non conforme
112	HP GOLD-60 8mm	FDR0083214	Non conforme
113	HP GOLD-60 8mm	FDR0083218	Non conforme
114	HP GOLD-60 8mm	FDR0083189	Non conforme
115	HP GOLD-60 8mm	FDR0083201	Non conforme
116	HP GOLD-60 8mm	FDR0083217	Non conforme
117	HP GOLD-60 8mm	FDR0083069	Non conforme
118	HP GOLD-60 8mm	FDR0083202	Non conforme
119	HP GOLD-60 8mm	FDR0083207	Non conforme
120	HP GOLD-60 8mm	FDR0083213	Non conforme
121	HP GOLD-60 8mm	FDR0083215	Non conforme
122	HP GOLD-60 8mm	FDR0083206	Non conforme
123	HP GOLD-60 8mm	FDR0083134	Non conforme
124	HP GOLD-60 8mm	FDR0083212	Non conforme
125	HP GOLD-60 8mm	FDR0083203	Non conforme
126	HP GOLD-60 8mm	FDR0083216	Non conforme
127	HP GOLD-60 8mm	FDR0083186	Non conforme
128	HP GOLD 24mm	FDR1309632	Non conforme
129	HP GOLD PLUS DL-60 8mm	FDR1311547	Non conforme
130	Ion 8mm/2mm ou /4mm	FDR2022239	Non conforme
131	Ion 8mm/2mm ou /4mm	FDR2022263	Non conforme

132	Ion 8mm/2mm ou /4mm	FDR2022183	Non conforme
133	Green DL 8mm/2mm ou 4mm	FDR0082894	Non conforme
134	HP GOLD PLUS DL-60 8mm	FDR1311517	Non conforme
135	HP GOLD 24mm	FDR0081753	Non conforme
136	HP GOLD 32mm	FDR1310315	Non conforme
137	HP GOLD-60 8mm	FDR0083205	Non conforme
138	HP GOLD 24mm	FDR0081752	Non conforme
139	Green DL 8mm/2mm ou 4mm	FDR0082875	Non conforme
140	Green DL 8mm/2mm ou 4mm	FDR0082863	Non conforme
141	Ion 12mm/16mm	FDR2021960	Non conforme
142	HP GOLD PLUS DL-60 8mm	FDR1311490	Non conforme
143	HP GOLD PLUS DL-60 8mm	FDR1311064	Non conforme
144	HP GOLD 16mm	FDR0081802	Non conforme
145	HP GOLD 44mm	FDR0110446	Non conforme
146	HP GOLD 24mm	FDR0081734	Non conforme
147	HP GOLD 24mm	FDR0081716	Non conforme
148	HP GOLD 16mm	FDR1308926	Non conforme
149	Green DL 8mm/2mm ou 4mm	FDR0082884	Non conforme
150	Green DL 8mm/2mm ou 4mm	FDR0082893	Non conforme
151	Green DL 8mm/2mm ou 4mm	FDR0082852	Non conforme
152	HP GOLD 16mm	FDR0081810	Non conforme
153	HP GOLD 16mm	FDR0081811	Non conforme
154	HP GOLD 16mm	FDR0081814	Non conforme
155	HP GOLD 16mm	FDR1308909	Non conforme
156	Green DL 8mm/2mm ou 4mm	FDR0082897	Non conforme
157	HP GOLD 32mm	FDR1346647	Non conforme
158	HP GOLD 16mm	FDR1308920	Non conforme
159	HP GOLD 24mm	FDR0081717	Non conforme
160	HP GOLD 16mm	FDR0081793	Non conforme
161	HP GOLD 16mm	FDR0081809	Non conforme
162	Green DL 8mm/2mm ou 4mm	FDR0082895	Non conforme
163	HP GOLD 56mm	FDR1318328	Non conforme
164	Green DL 8mm/2mm ou 4mm	FDR0082871	Non conforme
165	Green DL 8mm/2mm ou 4mm	FDR0082873	Non conforme
166	Green DL 8mm/2mm ou 4mm	FDR0082882	Non conforme
167	HP GOLD-60 8mm	FDR0083245	Non conforme
168	HP GOLD-60 8mm	FDR0083200	Non conforme
169	HP GOLD-60 8mm	FDR0083174	Non conforme
170	HP GOLD-60 8mm	FDR0083195	Non conforme
171	HP GOLD 44mm	FDR1308091	Non conforme
172	HP GOLD 16mm	FDR0081812	Non conforme
173	HP GOLD 32mm	FDR1318263	Non conforme
174	HP GOLD 44mm	FDR0110445	Non conforme
175	HP GOLD-60 8mm	FDR0083208	Non conforme
176	HP GOLD-60 8mm	FDR0083070	Non conforme

177	HP GOLD PLUS DL-60 8mm	FDR0083211	Non conforme
178	HP GOLD PLUS DL-60 8mm	FDR0083204	Non conforme
179	Ion 8mm/2mm ou /4mm	FDR0022237	Non conforme
180	HP GOLD PLUS DL-60 8mm	FDR1311238	Non conforme
181	Green DL 8mm/2mm ou 4mm	FDR0082866	Non conforme
182	HP GOLD 16mm	FDR00815Z	Non conforme
183	Ion 8mm/2mm ou /4mm	FDR2022176	Non conforme
184	HP GOLD PLUS DL-60 8mm	FDR1311488	Conforme
185	HP GOLD PLUS DL-60 8mm	FDR1311320	Conforme
186	HP GOLD PLUS DL-60 8mm	FDR1311290	Conforme
187	HP GOLD PLUS DL-60 8mm	FDR1311251	Conforme
188	HP GOLD PLUS DL-60 8mm	FDR1311477	Conforme
189	HP GOLD PLUS DL-60 8mm	FDR1311288	Conforme
190	HP GOLD PLUS DL-60 8mm	FDR1311247	Conforme
191	HP GOLD PLUS DL-60 8mm	FDR1311561	Conforme
192	HP GOLD PLUS DL-60 8mm	FDR1311116	Conforme
193	HP GOLD PLUS DL-60 8mm	FDR1311560	Conforme
194	HP GOLD PLUS DL-60 8mm	FDR1311077	Conforme
195	HP GOLD PLUS DL-60 8mm	FDR1311555	Conforme
196	HP GOLD PLUS DL-60 8mm	FDR1311056	Conforme
197	HP GOLD PLUS DL-60 8mm	FDR1311076	Conforme
198	HP GOLD PLUS DL-60 8mm	FDR1311170	Conforme
199	HP GOLD PLUS DL-60 8mm	FDR1311487	Conforme
200	HP GOLD PLUS DL-60 8mm	FDR1311297	Conforme
201	HP GOLD PLUS DL-60 8mm	FDR1311550	Conforme
202	HP GOLD PLUS DL-60 8mm	FDR1311075	Conforme
203	HP GOLD PLUS DL-60 8mm	FDR1311341	Conforme
204	HP GOLD PLUS DL-60 8mm	FDR1311203	Conforme
205	HP GOLD PLUS DL-60 8mm	FDR1311252	Conforme
206	HP GOLD PLUS DL-60 8mm	FDR1311498	Conforme
207	HP GOLD PLUS DL-60 8mm	FDR1311544	Conforme
208	HP GOLD PLUS DL-60 8mm	FDR1311127	Conforme
209	HP GOLD PLUS DL-60 8mm	FDR1311551	Conforme
210	HP GOLD 12mm	FDR0083251	Conforme
211	HP GOLD PLUS DL-60 8mm	FDR1311037	Conforme
212	HP GOLD PLUS DL-60 8mm	FDR1311484	Conforme
213	HP GOLD PLUS DL-60 8mm	FDR1311253	Conforme
214	HP GOLD PLUS DL-60 8mm	FDR1311554	Conforme
215	HP GOLD PLUS DL-60 8mm	FDR1311548	Conforme
216	HP GOLD PLUS DL-60 8mm	FDR1311073	Conforme
217	HP GOLD 16mm	FDR1308915	Conforme
218	HP GOLD 24mm	FDR1309623	Conforme
219	HP GOLD Plus 12mm	FDR1310303	Conforme
220	HP GOLD 16mm	FDR1308917	Conforme
221	HP GOLD 16mm	FDR1308911	Conforme

222	HP GOLD PLUS DL-60 8mm	FDR1311357	Conforme
223	HP GOLD PLUS DL-60 8mm	FDR1311072	Conforme
224	HP GOLD 16mm	FDR1308923	Conforme
225	HP GOLD 16mm	FDR1308922	Conforme
226	HP GOLD Plus 12mm	FDR1310103	Conforme
227	HP GOLD Plus 12mm	FDR1310138	Conforme
228	HP GOLD 32mm	FDR1310313	Conforme
229	HP GOLD PLUS DL-60 8mm	FDR1311491	Conforme
230	HP GOLD PLUS DL-60 8mm	FDR1311562	Conforme
231	HP GOLD PLUS DL-60 8mm	FDR1311063	Conforme
232	HP GOLD PLUS DL-60 8mm	FDR1311496	Conforme
233	HP GOLD PLUS DL-60 8mm	FDR1311483	Conforme
234	HP GOLD PLUS DL-60 8mm	FDR1311559	Conforme
235	HP GOLD Plus 12mm	FDR1287101	Conforme
236	HP GOLD Plus 12mm	FDR1287103	Conforme
237	HP GOLD Plus 12mm	FDR1287102	Conforme
238	HP GOLD Plus 12mm	FDR1310132	Conforme
239	HP GOLD 12mm	FDR0083025	Conforme
240	HP GOLD 16mm	FDR1308908	Conforme
241	HP GOLD PLUS DL-60 8mm	FDR1311079	Conforme
242	HP GOLD 32mm	FDR1310161	Conforme
243	HP GOLD 16mm	FDR1308916	Conforme
244	HP GOLD 32mm	FDR1346649	Conforme
245	HP GOLD 16mm	FDR0081754	Conforme
246	HP GOLD 16mm	FDR1308918	Conforme
247	HP GOLD PLUS DL-60 8mm	FDR1311287	Conforme
248	HP GOLD-60 8mm	FDR1311239	Conforme
249	HP GOLD-60 8mm	FDR1311375	Conforme
250	HP GOLD-60 8mm	FDR1311564	Conforme
251	HP GOLD 16mm	FDR1308921	Conforme
252	HP GOLD-60 8mm	FDR1311572	Conforme
253	HP GOLD 12mm	FDR1310134	Conforme
254	HP GOLD 16mm	FDR1308924	Conforme
255	HP GOLD 12mm	FDR1310105	Conforme
256	HP GOLD 24mm	FDR1345581	Conforme