الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
**République Algérienne Démocratique et Populaire**
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**
المدرسة الوطنية العليا للتكنولوجيا
**Ecole national supérieur de technologie**
Département : Génie Industriel Et Maintenance

Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme
**D'Ingénieur d'état**

-Filière-
**Génie Industriel**

-Spécialité –
**Management et Ingénierie de la Maintenance Industrielle**

- Thème –

# Mise en place d'un tableau de bord de maintenance et amélioration du taux de rendement synthétique de la ligne de fabrication

Réalisé par
**BOULKENATER Celia**

**Les membres de Jury :**

| | |
|---|---|
| **BOUDHAR Hamza** | Président |
| **BOUGCHICHE Fazia** | Encadrante |
| **CHABANE Ali** | Co-Encadrant |
| **AGGAD Maya** | Examinateur |

**Alger, le 25/06/2023**

**Année universitaire 2022 –2023**

# Dédicaces

“

*À Je le dédie ce travail à mon cher frère Mounir que dieu ait leurs âmes en paix.*

*À A mes merveilleux parents, symbole de sacrifice et d'amour, source de tendresse, de motivation, de noblesse et d'affection. Que dieu les garde et les protège.*

*À A mes Chère Sœur : Kaouther (Coucou), Ilhem (Doudou)*

*À A mes Chers frères : Abdou, lotfi, Mouh*

*Merci.*

”

***- Celia***

# Remerciements

Tout d'abord, je remercie Allah le tout puissant de m'avoir donné le courage et la patience nécessaires à mener ce travail à son terme.

Je tiens aussi à adresser mes remerciements à ma familles, ce présent travail a pu voir le jour grâce à leur soutien et leurs prières.

Je tiens tout particulièrement à remercier mes superviseurs, **M.Chabane Ali** et Mme **Bougchiche Fazia**, pour l'aide compétente qu'ils m'ont apportée. Leur critique m'a été précieux dans l'organisation du travail.

Je tiens à remercier également **M.Tarzolt Nabil** ,**M.Talamali Mohcen M.Boussalah Rabeh**, **M.Mehdi** et **M.Abd Erhmane** pour leurs aides précieuses, leurs encouragements et pour avoir rendu mon stage à Biopharm une expérience très enrichissante.

Je tiens a remercie également les membres de jury, d'avoir accepte d'évaluer ce travail.

J' adressons nos sincères remerciements aux enseignants du département Génie Industriel et Maintenance a l'École Nationale Supérieure de Technologie pour leur aide et pour nous avoir offrir une bonne formation et qui nous ont accompagnes tout au long de cette expérience avec beaucoup de patience et pédagogie.

Pour finir, je souhaite remercier toute personne ayant contribué de prés ou de loin à la réalisation de ce travail.

# Table des matières

**Dédicaces** . . . . . **I**

**Remerciements** . . . . . **II**

**Introduction générale** . . . . . **X**

**1 Généralités et concepts fondamentaux** . . . . . **1**
1.1 Introduction . . . . . 2
1.2 La maintenance industrielle . . . . . 2
1.2.1 Définition de la maintenance . . . . . 2
1.2.2 Objectifs de la maintenance . . . . . 2
1.2.3 Les types de la maintenance . . . . . 2
1.2.4 Les niveaux de la maintenance . . . . . 4
1.3 Les indicateurs clés de performance (KPI) de la maintenance . . . . . 5
1.3.1 Les rôles des indicateurs . . . . . 5
1.3.2 Les indicateur de maintenance . . . . . 6
1.4 La Total Productive Maintenance (TPM) . . . . . 7
1.4.1 Les objectifs de la TPM . . . . . 8
1.4.2 Les piliers de TPM . . . . . 8
1.4.3 Le Taux de Rendement Synthétique (TRS) . . . . . 9
1.5 Tableau de bord . . . . . 11
1.5.1 Les différentes fonctionnalités d'un tableau de bord . . . . . 11
1.5.2 Les types du tableaux de bord . . . . . 12
1.5.3 Les avantages d'un tableau de bord . . . . . 12
1.6 Conclusion . . . . . 13

**2 Processus d'amélioration des indicateurs de performance** . . . . . **14**
2.1 Introduction . . . . . 15
2.2 Les étapes de processus . . . . . 15
2.3 Le langage SysML . . . . . 16
2.4 La méthode DMAIC . . . . . 17
2.4.1 La phase Définir . . . . . 18
2.4.2 La phase Mesurer . . . . . 18
2.4.3 La phase Analyse . . . . . 18
2.4.4 La phase Amélioration . . . . . 19
2.4.5 La phase Contrôle . . . . . 19
2.5 Conclusion . . . . . 20

**3 Modélisation structurelle et fonctionnelle . . . 21**
3.1 Introduction . . . 22
3.2 Présentation d'entreprise . . . 22
3.2.1 L'unité de Oued Smar à Alger . . . 22
3.2.2 L'unité de production de Reghaia . . . 22
3.3 Description du processus de production . . . 23
3.4 Analyse fonctionnelle de système . . . 27
3.4.1 Analyse fonctionnelle externe de la ligne . . . 27
3.4.2 Analyse fonctionnelle interne . . . 29
3.4.3 Diagramme de bloc interne (IBD) . . . 31
3.5 Conclusion . . . 33

**4 La méthode DMAIC . . . 34**
4.1 Introduction . . . 35
4.2 La phase Définir . . . 35
4.2.1 Le taux de disponibilité . . . 36
4.2.2 Le taux de performance . . . 36
4.2.3 Le taux de la qualité . . . 37
4.2.4 Le taux de rendement synthétique (TRS) . . . 38
4.3 La phase Mesurer . . . 38
4.4 La phase Analyser . . . 40
4.4.1 Situation de vide de ligne . . . 40
4.4.2 Situation des interventions aux pannes . . . 42
4.5 La phase améliorer . . . 43
4.5.1 Réduire le temps de vide de ligne . . . 43
4.5.2 Les solutions proposées pour réduire le temps des interventions . . . 44
4.6 Conclusion . . . 47

**5 Mise en oeuvre de tableau d'un bord des KPIs de la maintenance . . . 48**
5.1 Introduction . . . 49
5.2 Présentation de Power BI . . . 49
5.2.1 Composantes . . . 49
5.2.2 Sources de données . . . 50
5.2.3 Fonctionnalités . . . 50
5.2.4 Avantages . . . 50
5.3 Collecte des données . . . 51
5.4 Power BI Desktop . . . 51
5.4.1 Inteface de Power BI Desktop . . . 51
5.4.2 Éditeur de requête . . . 52
5.4.3 Mesures calculées à l'aide de DAX . . . 54
5.4.4 Génération de rapports et de visualisations . . . 55
5.4.5 Filtrage de données . . . 57
5.5 Conclusion . . . 58

**Conclusion et perspectives . . . 59**

**Annexes . . . 63**

**Résumé** . . . . . **66**

**Abstract** . . . . . **67**

**ملخص** . . . . . **68**

# Table des figures


1.1 Les différents types de la maintenance . . . . . 3
1.2 Les états successifs que peut prendre un système réparable [6] . . . . . 6

2.1 Processus de la démarche suivie . . . . . 15
2.2 Les neuf types de diagrammes SysML [11] . . . . . 16
2.3 Phases du cycle de vie de l'amélioration des processus DMAIC[12] . . . . . 17
2.4 Diagramme de Pareto [14]. . . . . 18
2.5 Diagramme d'Ishikawa[14] . . . . . 19

3.1 Zone de préparation . . . . . 24
3.2 Trémie . . . . . 24
3.3 Les douze tubes de remplissage . . . . . 24
3.4 La Bobine . . . . . 25
3.5 Les imprimantes . . . . . 25
3.6 Des sticks prêtes à être coupées . . . . . 26
3.7 La balance . . . . . 26
3.8 Diagramme de cas d'utilisation . . . . . 27
3.9 Diagramme des exigences de la fabrication des Sticks . . . . . 28
3.10 Diagramme de définition de bloc de la ligne Stick Pack . . . . . 29
3.11 Diagramme de définition de bloc de la zone fabrication des Stick Pack . . . 30
3.12 Diagramme de définition de bloc de la remplisseuse Stick Pack . . . . . 30
3.13 Diagramme de définition de bloc de conditionnement secondaire Stick Pack 31
3.14 Diagramme bloc interne de la ligne Stick Pack . . . . . 32

4.1 Le taux de la disponibilité. . . . . 36
4.2 Le taux de performance . . . . . 37
4.3 Le taux de la qualité . . . . . 37
4.4 Courbe montre la représentation de TRS . . . . . 38
4.5 Diagramme de pareto . . . . . 40
4.6 Diagramme d'Ishikawa (5 M) pour le vide des ligne . . . . . 42
4.7 Diagramme d'Ishikawa (5 M) pour la longue durée des pannes. . . . . 43
4.8 Les 7 étapes de la maintenance autonome [15] . . . . . 45
4.9 Exemple d'une fenêtre de saisie de données sous format de Fichier MS-Excel 46

5.1 Interface de Power BI . . . . . 52
5.2 Choix de la source de données Fichier MS-Excel. . . . . 52
5.3 Volet Choisir la source de données (MS-Excel) . . . . . 53
5.4 Importation de fichier historique MS-Excel . . . . . 53
5.5 Onglet Navigateur . . . . . 53

5.6 Onglet Importation de Tableau 1 . . . . . 54
5.7 Visualisation des données . . . . . 54
5.8 Création de nouvelle mesure. . . . . 55
5.9 Insertion de l'équation de la MTBF . . . . . 55
5.10 Choix de notre visualisation . . . . . 56
5.11 Visualisation de la MTBF . . . . . 56
5.12 Filtration des données . . . . . 57
5.13 Visualisation de tableau de bord des KPIs de maintenance . . . . . 58

# Liste des tableaux

1.1 Les niveaux de la maintenance . . . . . 4
1.2 Description des 8 piliers de la TPM . . . . . 8

# Liste des sigles et acronymes

| | |
|---|---|
| **KPI** | *Key Performance Indicator* |
| **TRS** | *Taux de Rendement Synthétique* |
| **TPM** | *Total Productive Maintenance* |
| **AFNOR** | *Association Française de Normalisation* |
| **MTBF** | *Mean Time Between Failure* |
| **MTTF** | *Mean Time To Failure* |
| **MUT** | *Mean Up Time* |
| **MTTR** | *Mean Time To Repaire* |
| **SysML** | *Systeme Modeling Language* |
| **DMAIC** | *Define, Mesure, Analyse, Improve, Control* |
| **BDD** | *Diagramme de Définition de Block* |
| **IBD** | *Diagramme de Block Interne* |
| **BI** | *Business Intelligence* |

# Introduction générale

L'industrie pharmaceutique est caractérisée par des processus complexes qui exigent un contrôle rigoureux de l'ensemble de la chaîne de production et une stricte conformité aux réglementations pour garantir la meilleure qualité de tous les produits fabriqués.

L'entreprise Biopharm s'engage pleinement dans l'amélioration continue de ses processus et s'efforce constamment de développer de nouvelles initiatives en accord avec cette philosophie.

Dans cette perspective, ce présent mémoire se concentre sur la contribution à l'amélioration des indicateurs de performance et la mise en œuvre d'un tableau de bord qui servira d'outil essentiel pour la mesure, l'analyse et le suivi des performances au sein de cette entreprise pharmaceutique, plus spécifiquement, la ligne stick-pack dédiée à la production de sticks.

Pour ce faire, une étude approfondie du système a été entreprise pour comprendre ses interactions et les facteurs qui l'influencent. La méthode DMAIC (Définir, Mesurer, Analyser, Améliorer, Contrôler) est appliquée pour identifier les problèmes afin d'améliorer le Taux de Rendement Synthétique (TRS) de cette ligne de production. La structure générale du mémoire est détaillée ci-dessous :

**Chapitre 1 : « Généralités et concepts fondamentaux ».** Ce chapitre présente les concepts élémentaires relatifs à la maintenance industrielle, les Indicateurs Clés de performance, la TPM et les tableaux de bord.

**Chapitre 2 : « Processus d'amélioration des indicateurs de performance ».** Une présentation détaillée de la démarche adoptée afin de mener à bien notre étude notamment les concepts, les outils et les méthodologies.

**Chapitre 3 : « Modélisation structurelle et fonctionnelle ».** Nous entamons le chapitre par une description du processus de fabrication dans la ligne stick pack. Ensuite, une analyse fonctionnelle du système est effectuée en utilisant des diagrammes SysML.

**Chapitre 4 : « La méthode DMAIC ».** Une analyse approfondie du problème est effectuée, en recueillant des données pertinentes pour quantifier la situation. Différentes techniques sont utilisées pour identifier les principales causes du problème, permettant ainsi de parvenir à une compréhension approfondie du problème et de proposer des solutions.

**Chapitre 5 : « Mise en œuvre d'un tableau de bord des Pis de la maintenance ».** Ce chapitre se concentre sur les étapes de création d'un tableau de bord à l'aide du logiciel Power BI. L'objectif est de visualiser les indicateurs clés de performance (KPI) liés à la maintenance pour une prise de décision optimale.

# Chapitre 1

# Généralités et concepts fondamentaux

# 1.1 Introduction

Le présent chapitre a pour objectif de clarifier les notions de base relatives à la maintenance industrielle avec ses différents types, à savoir la maintenance corrective, la maintenance préventive et la maintenance améliorative. Par la suite, nous avons abordé les indicateurs clés de performance (KPI) de la maintenance, suivie d'une explication de la notion de la Maintenance Productive Totale (TPM) en relation avec le Taux de Rendement Synthétique (TRS). Enfin, nous avons examiné les outils de prise de décision tels que les tableaux de bord utilisés dans le domaine de la maintenance.

# 1.2 La maintenance industrielle

Dans cette section, nous présenterons la maintenance, ses objectifs, ses types et ses niveaux.

## 1.2.1 Définition de la maintenance

D'après la norme française AFNOR X 60-000 (mai 2002), la maintenance peut-être définie par : "l'ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise" [1].

## 1.2.2 Objectifs de la maintenance

Nous pouvons identifier deux objectifs majeurs de maintien d'un site de production :

- **Les objectifs économiques.** Parmi ces objectifs, nous citons :
  - Revoir les dépenses de maintenance en se rapportant au service exigé au taux d'utilisation et à l'âge des installations.
  - Assurer la maintenance dans les limites d'un budget.
  - Minimiser les dépenses de la maintenance.
- **Les objectifs opérationnels.** Parmi ces objectifs, nous citons :
  - Assurer la disponibilité maximale des équipements.
  - Maintenir le bien durable dans un état acceptable et dans les meilleures conditions.
  - Assurer au bien des performances de haute qualité.
  - Éliminer les pannes à tout moment et au meilleur coût.
  - Maximiser la durée de vie du bien.

## 1.2.3 Les types de la maintenance

Ils comprennent la maintenance préventive, la maintenance corrective et la maintenance améliorative (Figure 1.1).

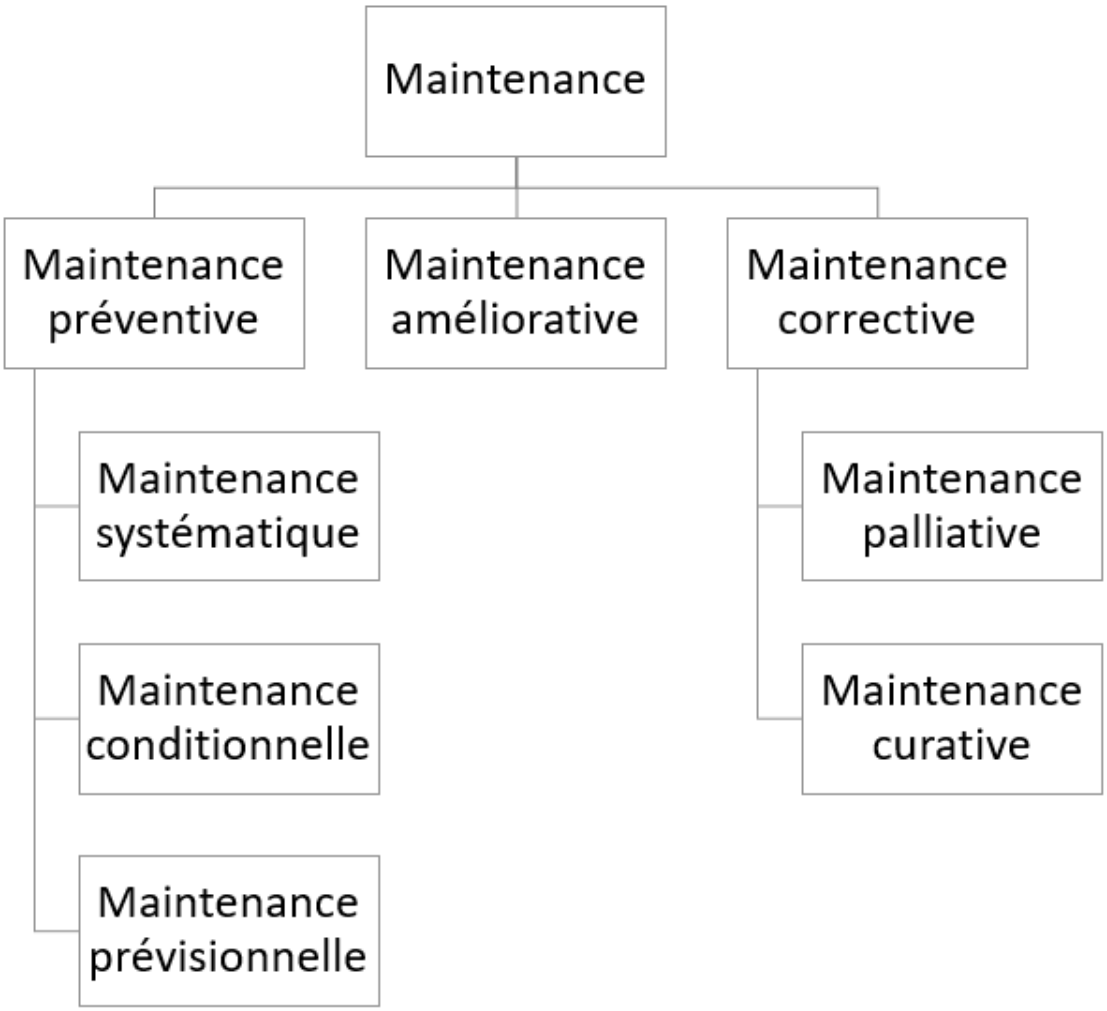



Fig. 1.1 : Les différents types de la maintenance

#### 1.2.3.1 Maintenance corrective

Appelée parfois maintenance curative, c'est une maintenance effectuée après la détection d'une défaillance et destinée à remettre un bien dans un état lui permettant d'accomplir une fonction requise, au moins provisoirement (norme NF EN 13306) [2].

- **Maintenance corrective palliative.** La maintenance palliative, également connue sous le nom de dépannage, permet à un équipement de maintenir temporairement tout ou partie de sa fonctionnalité requise. Son objectif principal est de prendre des mesures temporaires pour remédier aux effets d'une défaillance, d'où son nom, afin de garantir la continuité de l'opération de l'équipement. Cependant, il est essentiel de noter que ces actions de dépannage doivent être suivies de mesures curatives pour résoudre définitivement le problème.
- **Maintenance corrective curative.** Elle vise à traiter la cause fondamentale du problème et à résoudre définitivement la situation. En d'autres termes, la maintenance corrective s'attaque à la source première du dysfonctionnement afin de rétablir pleinement l'équipement dans un état optimal.

#### 1.2.3.2 Maintenance préventive

« Maintenance exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits et destinée à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'un bien. » (Extrait norme FD X 60-000) [3].
Elle doit permettre d'éviter les défaillances des matériels en cours d'utilisation. L'analyse des coûts doit mettre en évidence un gain par rapport aux défaillances qu'elle permet d'éviter.

- **Maintenance préventive systématique.** C'est une maintenance préventive exécutée à intervalles de temps préétablis ou selon un nombre défini d'unités d'usage mais sans contrôle préalable de l'état du bien (Extrait norme FD X 60-000) [3].
- **Maintenance préventive conditionnelle.** C'est une maintenance préventive basée sur une surveillance du fonctionnement du bien et/ou des paramètres significatifs de ce fonctionnement et intégrant les actions qui en découlent. Sachant que la surveillance du fonctionnement et des paramètres peut être exécutée selon un calendrier, ou à la demande, ou de façon continue (Extrait norme FD X 60-000) [3].

- **Maintenance préventive prévisionnelle.** C'est une maintenance conditionnelle exécutée en suivant les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évaluation de paramètres significatifs de la dégradation du bien (Extrait norme FD X 60-000) [3].

#### 1.2.3.3 Maintenance améliorative

C'est l'ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management, destinées à améliorer la fiabilité et/ou la maintenabilité et/ou la sécurité intrinsèques d'un bien, sans changer la fonction d'origine [4].

### 1.2.4 Les niveaux de la maintenance

Il existe cinq niveaux de maintenance, du plus simple au plus complexe. Chaque niveau a ses propres actions de maintenance correctives et préventives, ces niveaux de maintenance sont représentés dans le tableau I.1.

Tab. 1.1 : Les niveaux de la maintenance

| Niveau | Personnel d'intervention | Nature d'intervention | Moyens requis |
|---|---|---|---|
| 1 | Exploitant sur place | Réglage simple d'organes accessibles sans aucun démontage, ou échanges d'éléments accessibles dans les consignes de toute sécurité conduite. | Outillage léger défini dans les consignes de conduite. |
| 2 | Technicien habilité (dépanneur) sur place | Dépannage par échange standard d'éléments prévus à cet effet, ou opérations mineures de maintenance préventive | Outillage standard et rechanges situés à proximité |

| Niveau | Personnel d'intervention | Nature d'intervention | Moyens requis |
|---|---|---|---|
| 3 | Technicien spécialisé, sur place ou en atelier de maintenance | Identification et diagnostics de pannes, réparations par échange de composants fonctionnels, réparations mécaniques mineures | Outillage prévu plus appareils de mesure, banc d'essai, de contrôle |
| 4 | Équipe encadrée par un technicien spécialisé, en atelier central | Travaux importants de maintenance corrective ou préventive. Révisions | Outillage général et spécialisé |
| 5 | Équipe complète polyvalente, en atelier central | Travaux de rénovation, de reconstruction, réparations importantes confiées à un atelier central souvent externalisés | Moyens proches de ceux de la fabrication par le constructeur |

## 1.3 Les indicateurs clés de performance (KPI) de la maintenance

Les indicateurs clés de performance (KPI) de maintenance industrielle sont des outils permettant de surveiller, comparer et améliorer les interventions de maintenance des équipements. Ils fournissent une évaluation objective de la situation ou de la tendance à un moment précis ou sur une durée déterminée. En d'autres termes, un KPI est un outil d'évaluation et de prise de décision qui permet de mesurer une performance spécifique [5]. « Un indicateur peut être défini comme une information qui permet de connaître l'état du système à un instant T et de pouvoir en déduire très rapidement une amélioration ou une dégradation de la situation »

### 1.3.1 Les rôles des indicateurs

Les indicateurs clés de performance (KPI) ont différents rôles au sein de l'entreprise, notamment :

#### 1.3.1.1 Guider la direction de l'entreprise

Les KPI sont des outils initiaux pour orienter le plan d'action visant à atteindre les objectifs prédéterminés, ainsi que pour surveiller, évaluer et mesurer la performance de l'entreprise ;

#### 1.3.1.2 Favoriser la communication interne/externe

La nature synthétique et factuelle des KPI permet de présenter un lien logique virtuel entre les membres de l'organisation et avec les partenaires extérieurs, à l'aide d'un langage commun de la communication ;

#### 1.3.1.3 Concilier des intérêts divergents

Il s'agit de gérer les intérêts contradictoires afin de tendre vers les mêmes buts et résultats ; Evaluer la mise en œuvre d'une stratégie ou l'efficacité d'une démarche : afin de garantir la pérennité et d'assurer l'amélioration continue de l'entreprise ;

#### 1.3.1.4 Évaluer les conséquences et/ou la performance

Les KPI assurent une lisibilité continue du système de l'entreprise (d'une démarche, d'une action interne/externe).

#### 1.3.1.5 Adapter une démarche pour atteindre les objectifs

Les KPI doivent être pertinents dans le cas où l'effet qu'ils mesurent, particulièrement important et sensible, afin de représenter l'approche appropriée à l'entreprise.

### 1.3.2 Les indicateur de maintenance

Afin de définir la politique de maintenance adéquate pour chaque situation, il est nécessaire de quantifier ce qui est observé dans la pratique. Pour ce faire, les indicateurs sont utiles dans cette analyse, et sont également très importants pour surveiller la performance de maintenance, surveiller la performance de maintenance (Figure 1.2).

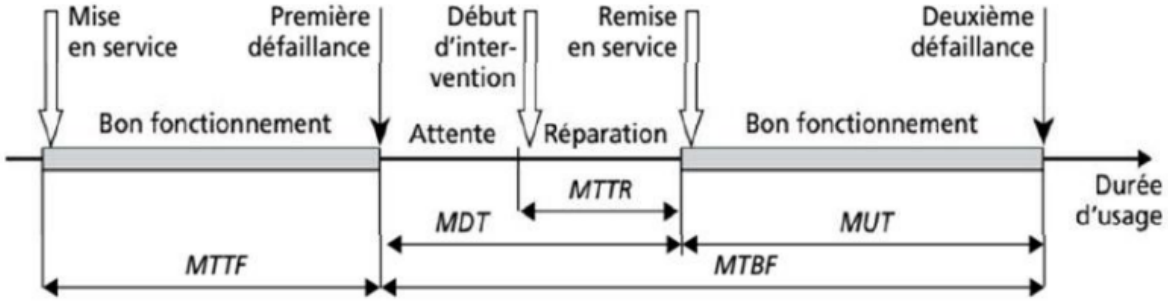



Fig. 1.2 : Les états successifs que peut prendre un système réparable [6]

**a. Statistiques d'arrêt**. Nous mentionnons :

- **Nombre des Arrêts**. C'est le nombre total de fois que l'équipement est hors service, on peut l'enregistrer comme suit date et l'heure d'arrêt, la date et l'heure de résiliation de la panne, ça formule générale (1.1)

$$\sum (\text{Nombre d'arrêt}) \tag{1.1}$$

- **Temps d'arrêt total**. Il s'agit du nombre total d'heures pendant lesquelles les équipements sont hors service, aide à estimer la perte totale de l'équipement en termes de temps pendant la période d'analyse, ça formule générale (1.2)

$$\sum (\text{Temps d'arrêt}) \tag{1.2}$$

- **Moyenne temps d'arrêt**. C'est le rapport du temps d'arrêt total au nombre d'arrêts, aide à comprendre le temps moyen de chaque arrêt, en particulier pour l'équipement défaillant, on peut le calculer utilisant la formule (1.3)

$$\frac{\sum (\text{Temps d'arrêt})}{\sum (\text{Nombre d'arrêt})} \tag{1.3}$$

**b. Fiabilité**

La fiabilité est l'aptitude d'un produit à accomplir une fonction requise, dans des conditions données, pendant un temps donné(FD X 06-005) [7].

- **MTBF (Mean Time Between Failure)**. Il s'agit du temps moyen entre les pannes des équipements **réparables** et des composants, ce qui aide à comprendre le temps moyen entre les pannes inattendues d'un élément ou les arrêts de production d'un élément, nous utilisons la formule (1.4) pour le calculer.

$$\text{MTBF} = \frac{\sum(\text{Temps entre deux défaillances})}{\sum(\text{Nombre d'arrêt})} \tag{1.4}$$

- **MUT (Mean Up Time)**. Il s'agit du temps moyen entre l'instant de remise en marche et l'instant d'apparition de la prochaine défaillance, ce qui aide à comprendre le temps moyen pendant lequel un système est en fonctionnement, nous pouvons le calculer en utilisant la formule (1.6).

$$\text{MUT} = \frac{\sum(\text{Durée de fonctionnement})}{\sum(\text{Nombre Durée de fonctionnement})} \tag{1.6}$$

**c. Maintenabilité**

La maintenabilité c'est dans des conditions données d'utilisation, aptitude d'un bien à être maintenu ou rétabli dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, en utilisant des procédures et des moyens prescrits (NF EN 13306) [7].

- **MTTR (Mean Time To Repaire)** est le temps moyen nécessaire pour réparer une panne ou un dysfonctionnement d'un équipement ou d'un système, à partir du moment où la panne est signalée jusqu'à ce que l'équipement soit à nouveau opérationnel, on peut le calculer suivant la formule (1.7).

$$\text{MTTR} = \frac{\sum(\text{Temps de réparation})}{\sum(\text{Nombre d'arrêt})} \tag{1.7}$$

Un autre indicateur permettant de mesurer la performance de la productivité d'un système de production est le Taux de Rendement Synthétique (TRS). Ce taux est étudié dans le cas d'implantation de la démarche TPM (Total Productive Maintenance).

## 1.4 La Total Productive Maintenance (TPM)

La TPM est une méthodologie qui fonctionne comme un outil, dans lequel le but est de maintenir l'équipement et les machines utilisés dans la production de biens et de services dans des conditions optimales afin de pouvoir fournir des produits et/ou services qui répondent voire dépassent les attentes des clients. De plus, il vise également à réduire les gaspillages, minimiser l'inactivité de l'équipement et améliorer la qualité, mais se concentre principalement sur les programmes de maintenance de l'équipement pour optimiser l'efficacité et les performances grâce à des activités visant à améliorer la maintenance, la maintenance préventive et prédictive. Par conséquent, le fondement du TPM est : "zéro erreurs, accidents et pertes" [8].

### 1.4.1 Les objectifs de la TPM

Dans un premier temps, l'objectif global du TPM est d'augmenter la productivité de l'entreprise et de l'équipe grâce à un ensemble restreint d'activités et à une maintenance autonome développée par l'opérateur de l'équipe [9].
En d'autres termes, il s'agit d'améliorer l'efficacité de l'équipement et de maximiser les rendements, ainsi que de tirer le meilleur parti de son utilité, de sa disponibilité et d'éviter sa dégradation.
De plus, la TPM vise à réduire les aspects suivants :

- Arrêts (pannes)
- Barrières entre les départements
- Problèmes de qualité
- Accidents de sécurité ou environnementaux
- Coûts
- Maintenance d'urgence ou non planifiée.

### 1.4.2 Les piliers de TPM

Le tableau 1.2 résume les huit piliers de la TPM :

Tab. 1.2 : Description des 8 piliers de la TPM

| **Pilier** | **Description** |
|---|---|
| Amélioration au cas par cas | Les priorités sont claires et précises : s'améliorer, s'améliorer et s'améliorer continuellement. Pour éviter de perdre des équipements, des compétences, des matières premières et de l'énergie, tous les membres de l'équipe doivent adopter cette approche. L'équipe doit être ouverte, disposée à essayer de nouvelles approches et désireuse de collaborer à des séances de résolution de problèmes en table ronde. |
| Maintenance autonome | Signifie s'assurer que vos opérateurs sont entièrement formés à la maintenance de routine comme le nettoyage, la lubrification et l'inspection, ainsi que placer cette responsabilité entre leurs seules mains. Cela donne aux opérateurs de machines un sentiment de propriété de leur équipement et augmente leur connaissance de l'équipement particulier. Il garantit également que les machines sont toujours propres et lubrifiées, aide à identifier les problèmes avant qu'ils ne deviennent des pannes et libère le personnel de maintenance pour des tâches de niveau supérieur. |
| Maintenance planifiée | La maintenance planifiée implique l'étude de paramètres tels que les taux de défaillance et les temps d'arrêt historiques, puis la planification des tâches de maintenance en fonction de ces taux de défaillance ou périodes de temps d'arrêt prévus ou mesurés. En d'autres termes, puisqu'il existe un moment précis pour effectuer la maintenance des équipements, nous pouvons planifier la maintenance au moment où les équipements sont inactifs ou produisent à faible capacité, interrompant rarement la production. |

| | |
|---|---|
| Maintien de la qualité | Le pilier du maintien de la qualité se concentre sur la détection et la prévention des erreurs de conception dans le processus de production. Pour ce faire, il utilise l'analyse des causes profondes (en particulier les "5 pourquoi") pour identifier et éliminer les sources récurrentes de défauts. En détectant de manière proactive la source des erreurs ou des défauts, les processus deviennent plus fiables, produisant des produits avec les bonnes spécifications du premier coup. |
| Éducation et formation | Éducation et Formation, les compétences des ressources humaines ont été adaptées pour objectifs organisationnels, des travailleurs polyvalents ont été formés selon les besoins. Ressources humaines ont également été évaluées et mises à jour régulièrement les compétences des employés |
| Sécurité, Santé, Environnement | Ce dernier pilier vise le **Zéro accident**. Il consiste à établir un système de management de la santé et de la sécurité au travail pour éliminer ou réduire au minimum les risques pour le personnel et les autres parties intéressées. |
| Conception produits et équipements | Ce pilier consiste à améliorer la conception des équipements nouveaux ou existants pour réduire les pertes de rendement et les besoins de maintenance. De plus, les employés en apprennent beaucoup sur la qualité de la conception des appareils en participant aux modifications et améliorations des appareils. |
| TPM des services fonctionnels | La TPM est un processus qui doit être piloté en relation avec les autres processus du Système de Management de la Qualité (Ressources Humaines, Pilotage, Amélioration, Contrôle de gestion, Logistiques…). Elle permet d'élargir le champ d'étude de la problématique de maintenance à l'ensemble des processus administratifs de l'entreprise afin de maintenir et d'améliorer leur efficacité. |

### 1.4.3 Le Taux de Rendement Synthétique (TRS)

Le TRS est l'une des indicateurs les plus utilisées pour mesurer l'efficacité d'une ligne de production. Elle a été introduite en tant que métrique pour la maintenance de production totale par Seiichi Nakajima. Cet indice compare le temps pendant lequel la ligne a été efficacement utilisée, par rapport au temps disponible pour la production. Ce pourcentage est affecté par les Six Grandes Pertes proposées par Nakajima [9], qui sont classées dans les trois catégories principales qui composent le TRS. Ces pertes sont :

- Pannes ou défaillances de l'équipement
- Montages et ajustements
- Arrêts mineurs pendant la production
- Vitesse réduite
- Retravailler : produits présentant des défauts mineurs pouvant être retravaillés
- Rejets : produits défectueux ne pouvant être retravaillés

**a. Taux de disponibilité**

Cette première catégorie englobe les deux premières grandes pertes et exprime le

pourcentage de temps pendant lequel un équipement peut fonctionner, elle est calculée à l'aide de la formule (1.8).

$$Taux\ de\ disponibilité = \frac{\text{Temps brut de fonctionnement} - \text{temps d'arrêt non planifiés}}{\text{Temps brut de fonctionnement}} \tag{1.8}$$

Sachant que :

$$Temps\ brut\ de\ fonctionnement = Temps\ d'ouverture - Temps\ des\ arrêts\ planifies \tag{1.9}$$

Pour les temps d'arrêt planifiés, on considère le temps passé en pauses planifiées des opérateurs, en maintenance planifiée, en pauses de communication, en réunions d'équipe, etc. Pour les temps d'arrêt non planifiés, il s'agit du temps perdu en raison de pannes, de montages et d'ajustements, de retards dans la livraison de matériaux, etc. Toute activité planifiée convenue dans le contrat de travail n'a donc pas d'impact sur la disponibilité, mais tout ce qui est en plus a un impact.

**b. Taux de performance**

Cette catégorie comprend les troisième et quatrième grandes pertes et montre le pourcentage du nombre réel de pièces produites par rapport au nombre prévu. Ce pourcentage de la vitesse d'opération maximale utilisée est affecté par chaque arrêt mineur ou réduction de vitesse.La formule de calcul est (1.10).

$$\text{Taux de performance} = \frac{\frac{\text{Total de pièces produites}}{\text{Temps d'opération}}}{\text{Cadence de fonctionnement}} \tag{1.10}$$

Sachant que :

$$Temps\ d'opération = Temps\ brut\ de\ fonctionnement - Temps\ d'arrêt\ non\ planifiés \tag{1.11}$$

La cadence de fonctionnement sans production est en réalité la cadence de production théorique, et la cadence de fonctionnement ne considère que le temps pendant lequel la machine produit réellement.

**c. Taux de qualité**

Les cinquième et sixième pertes sont incluses dans la catégorie Qualité, définie comme le rapport entre les produits de qualité acceptables et le nombre total de pièces produites, en prenant en compte tous les articles défectueux qui doivent être retravaillés ou remplacés.

$$Taux\ de\ qualité = \frac{\text{Nombre total de pièces produites} - \text{Nombre des pièces défectueux}}{\text{Nombre total de pièces produites}} \tag{1.12}$$

Une fois que tous les indicateurs ont été calculés, le TRS est obtenu en les multipliant.

$$TRS = Taux\ de\ disponibilité * Taux\ de\ performance * Taux\ de\ qualité \tag{1.13}$$

Le taux de rendement synthétique (TRS) ne peut jamais dépasser 100% et indique à quel point l'équipement est utilisé efficacement. Bien que le TRS soit un outil précieux pour évaluer la situation, il ne doit pas être utilisé pour comparer différentes machines ou plates-formes. Étant donné qu'il peut y avoir de légères variations dans le calcul du TRS, il est risqué et inutile de le comparer directement avec d'autres usines ou entreprises.

Bien que les trois indicateurs soient très utiles pour décrire l'efficacité, le TRS ne prend pas en compte les coûts économiques ni l'utilisation efficiente des matières premières. Pour améliorer l'efficacité d'un processus, il est nécessaire de regarder l'ensemble de la situation plutôt que de se concentrer sur une seule catégorie, car il pourrait arriver qu'améliorer une catégorie génère une perte plus importante dans les autres, affectant ainsi la performance globale [10].

## 1.5 Tableau de bord

Un tableau de bord est un outil de pilotage de l'entreprise qui permet de visualiser en temps réel les données essentielles pour la prise de décision. Il s'agit d'une interface graphique synthétique et intuitive qui regroupe des informations clés pour permettre une analyse rapide et une évaluation de la performance de l'entreprise. Le tableau de bord est souvent personnalisable et s'adapte aux besoins spécifiques de chaque entreprise.

### 1.5.1 Les différentes fonctionnalités d'un tableau de bord

Peuvent varier en fonction des besoins spécifiques de l'organisation et du contexte dans lequel il est utilisé. Toutefois, voici quelques fonctionnalités courantes que l'on retrouve souvent dans un tableau de bord :

#### 1.5.1.1 La mesure de la performance

Le tableau de bord permet de mesurer la performance de l'entreprise en temps réel en mettant à disposition des indicateurs de performance clés (KPI) qui permettent d'évaluer l'efficacité des différentes activités de l'entreprise. Il permet également de suivre l'évolution des résultats dans le temps et de détecter les tendances à la hausse ou à la baisse.

#### 1.5.1.2 Le suivi des objectifs

Le tableau de bord permet de suivre l'atteinte des objectifs fixés par l'entreprise. Il permet de visualiser en temps réel l'état d'avancement de chaque objectif et de détecter rapidement les écarts par rapport aux prévisions. Il peut également permettre de définir des alertes pour prévenir les responsables en cas d'écart important.

#### 1.5.1.3 La prise de décision

Le tableau de bord permet de faciliter la prise de décision en mettant à disposition des informations claires et synthétiques. Il permet d'avoir une vision globale de la situation de l'entreprise et de détecter rapidement les points critiques. Il peut également aider à identifier les causes des problèmes et à proposer des solutions pour les résoudre.

### 1.5.2 Les types du tableaux de bord

Il existe différents types de tableaux de bord en fonction des besoins et des objectifs de l'organisation, on peut citer :

#### 1.5.2.1 Le tableau de bord stratégique

Un tableau de bord stratégique, également connu sous le nom de balanced scorecard, est un outil utilisé par les dirigeants pour traduire la stratégie d'une entreprise en un ensemble d'indicateurs de performance. Il permet d'évaluer la performance de l'entreprise sur quatre axes principaux : les résultats financiers, la satisfaction des clients, les processus internes et l'apprentissage organisationnel. Il permet de traduire les objectifs à long terme en objectifs à court terme, facilitant ainsi la mise en œuvre de plans d'action concrets.

#### 1.5.2.2 Le tableau de bord de gestion

Un tableau de bord de gestion (portant également le nom de tableau de bord budgétaire) a pour objectif de mettre en évidence les écarts entre les prévisions et la réalité. Son objectif est financier mais il doit également permettre d'analyser les causes de ces écarts et ce afin de mettre en place des actions correctives en temps réel. Un tableau de bord budgétaire est établi de manière assez régulière, c'est-à-dire toutes les semaines ou tous les mois pour permettre une réactivité à toute épreuve. Il s'agit d'un outil de pilotage à moyen terme.

#### 1.5.2.3 Le tableau de bord opérationnel

Un tableau de bord opérationnel a pour objectif de mesurer l'avancement ainsi que la performance des plans d'actions déployés. Il contient deux types d'indicateurs : des indicateurs de pilotage et des indicateurs de performance. Ce tableau de bord est réalisé de manière journalière, hebdomadaire ou mensuelle. Il représente un outil de pilotage à court terme.

### 1.5.3 Les avantages d'un tableau de bord

Les tableaux de bord offrent plusieurs avantages pour les organisations.

#### 1.5.3.1 Une vision globale et synthétique

Le tableau de bord permet d'avoir une vision globale de la situation de l'entreprise en regroupant les données essentielles. Il permet de synthétiser des informations complexes et de les présenter de manière claire et intuitive.

#### 1.5.3.2 Un gain de temps

Le tableau de bord permet de gagner du temps en évitant de devoir collecter et analyser manuellement les données. Il permet également de se concentrer sur les informations clés et de ne pas se perdre dans les détails.

#### 1.5.3.3 Une prise de décision rapide et éclairée

Le tableau de bord permet de prendre des décisions rapidement en mettant à disposition des informations claires et synthétiques. Il permet de détecter rapidement les points critiques et de proposer des solutions pour y remédier.

#### 1.5.3.4 Une amélioration de la performance

Le tableau de bord permet de suivre l'évolution de la performance de l'entreprise et d'identifier les axes d'amélioration. Il permet de détecter rapidement les problèmes et de mettre en place des actions correctives pour améliorer la performance.

## 1.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons rappelé les concepts fondamentaux la définition de la maintenance, ses différents types, ainsi que la méthodologie de la Maintenance Productive Totale (TPM). Nous avons également examiné l'importance des indicateurs clés de performance (KPIs) spécifiques à la maintenance et l'utilisation du tableau de bord pour regrouper et visualiser ces indicateurs.

Ce chapitre nous a fourni une base solide pour poursuivre les processus d'amélioration de notre étude de cas dans le prochain chapitre.

# Chapitre 2

# Processus d'amélioration des indicateurs de performance

## 2.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous aborderons différents outils et méthodologies qui jouent un rôle essentiel dans l'analyse et l'amélioration des processus. Nous commencerons par explorer le langage SysML, un langage de modélisation systémique largement utilisé dans l'ingénierie pour représenter et analyser les systèmes complexes. Ensuite, nous nous concentrerons sur la méthode DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control), ensuite le diagramme d'Ishikawa, également connu sous le nom de diagramme de causes et effets ou diagramme en arête de poisson. Ce diagramme est utilisé pour identifier et analyser les causes potentielles d'un problème ou d'un défaut. Après, nous nous examinerons sur le diagramme de Pareto, qui est un outil statistique utilisé pour hiérarchiser les problèmes ou les causes en fonction de leur fréquence ou de leur impact.

## 2.2 Les étapes de processus

La figure (2.1) représente l'approche proposée dans notre étude. La démarche se déroule en deux étapes d'études. La première est l'étape d'analyse fonctionnelle qui sera réalisée par les diagrammes SysML : le Use Case Diagram, les diagrammes BDD et IBD. Le diagramme de cas d'utilisation aiderait à l'expression des besoins et à la description des fonctions du système. Les diagrammes BDD et IBD sont utilisés pour déterminer la modélisation structurelle interne du système. Quant à la deuxième étape, il s'agit de la méthode DMAIC (Définir, Mesurer, Analyser, Améliorer, Contrôler).

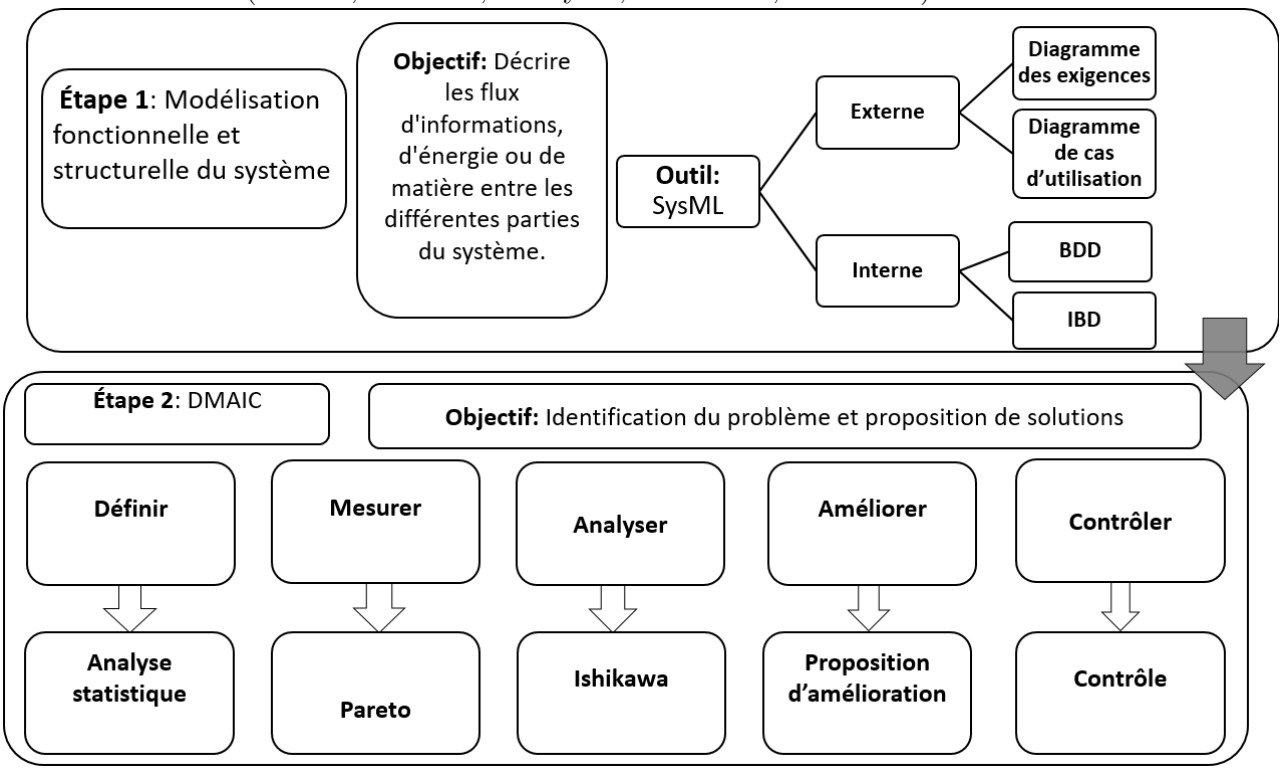



FIG. 2.1 : Processus de la démarche suivie

## 2.3 Le langage SysML

Le langage SysML (Systems Modeling Language) est un langage graphique de modélisation des systèmes utilisé pour spécifier, analyser, concevoir et documenter des systèmes complexes. Il est basé sur le langage de modélisation unifié (UML) et étend ses fonctionnalités pour mieux répondre aux besoins de modélisation des systèmes.

SysML s'articule autour de neuf types de diagramme figure (2.2), chacun d'eux étant dédié à la représentation des concepts particuliers d'un système. Ces types de diagrammes sont répartis par l'OMG (Object Management Group) en trois grands groupes :

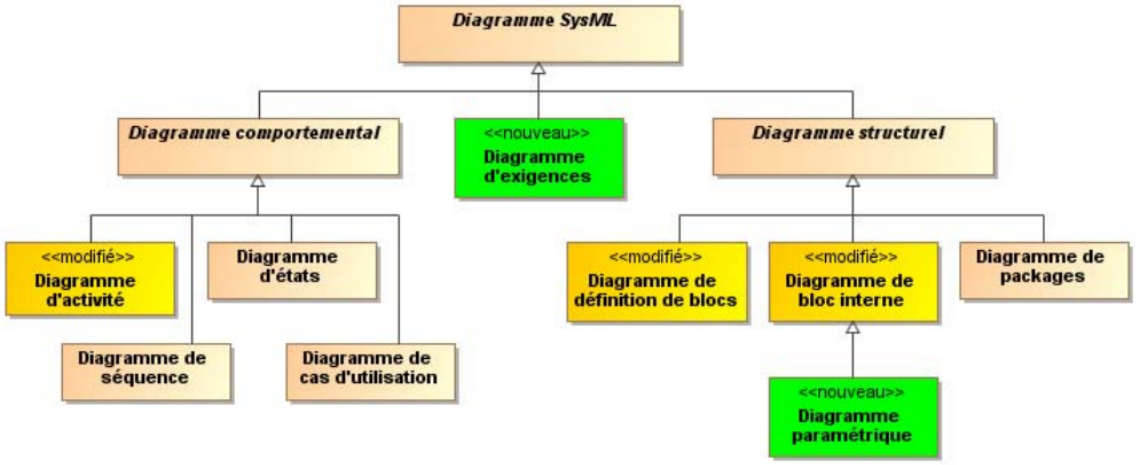



Fig. 2.2 : Les neuf types de diagrammes SysML [11]

- Quatre diagrammes comportementaux :

- **Diagramme d'activité** est employé pour illustrer les étapes d'un processus. Dans le cadre de SysML, les "input et output pins" sont couramment utilisés pour représenter le type d'élément requis en entrée d'une activité ou d'une action, ainsi que ce qui est produit en sortie.
- **Diagramme de séquence** Il décrit le scénario des interactions dans le temps entre les acteurs et les objets. Il montre la chronologie des échanges issus d'un cas d'utilisation.
- **Diagramme d'états** décrit la séquence des états successifs d'un "objet" (tel qu'un système, un sous-système, des composants, etc.) en réponse à des "événements" spécifiques, représentés par des transitions. Il permet de visualiser les événements qui déclenchent un changement d'état.
- **Diagramme de cas d'utilisation** montre les interactions fonctionnelles entre les acteurs et le système à l'étude, a pour but de délimiter le système et d'identifier les possibilités d'interactions entre le système et les acteurs (intervenants extérieurs au système) c'est-à-dire toutes les fonctionnalités que doit fournir le système.

- Un diagramme transverse :

- **Le diagramme d'exigences** montre les exigences du système et leurs relations, permet de recenser et évaluer les contraintes et les performances du système, ainsi que de structurer les exigences. Il représente les fonctionnalités du système de manière visuelle et sert de moyen de communication entre les concepteurs et les clients

du système.

- Quatre diagrammes structurels :

- **Diagramme de définition de blocs (BDD)** définit les éléments de structure d'un système, d'un sous-système ou d'un composant, ainsi que leurs propriétés. Il nous permet de comprendre la structure interne du système en répondant à la question "qui contient quoi ?". Le diagramme de blocs est similaire à la première page d'une notice de montage de meuble, fournissant une liste des éléments et des pièces à assembler avec leurs quantités respectives.
- **Diagramme de bloc interne (IBD)** décrit l'architecture matérielle d'un système, y compris les interactions internes entre ses éléments et les échanges avec l'extérieur. Les blocs peuvent représenter un système complet, un sous-système ou un composant élémentaire. Le diagramme IBD permet de visualiser les connexions entre les blocs, mais surtout les échanges de matière, d'énergie et d'information grâce à la notion de ports.
- **Diagramme paramétrique** représente les contraintes du système, les équations qui le régissent.
- **Diagramme de packages** montre l'organisation logique du modèle et les relations entre packages.

## 2.4 La méthode DMAIC

DMAIC est un acronyme pour les cinq phases : définir, mesurer, analyser, améliorer et contrôler. Ce cycle est basé sur amélioration des processus. Le cycle DMAIC (figure 2.3) peut être utilisé dans de nombreux domaines différents au sein d'une entreprise. Ça peut être utilisé n'importe où au sein d'une organisation pour identifier et résoudre les problèmes dans une approche basée sur les données, manière de contrôler la qualité.

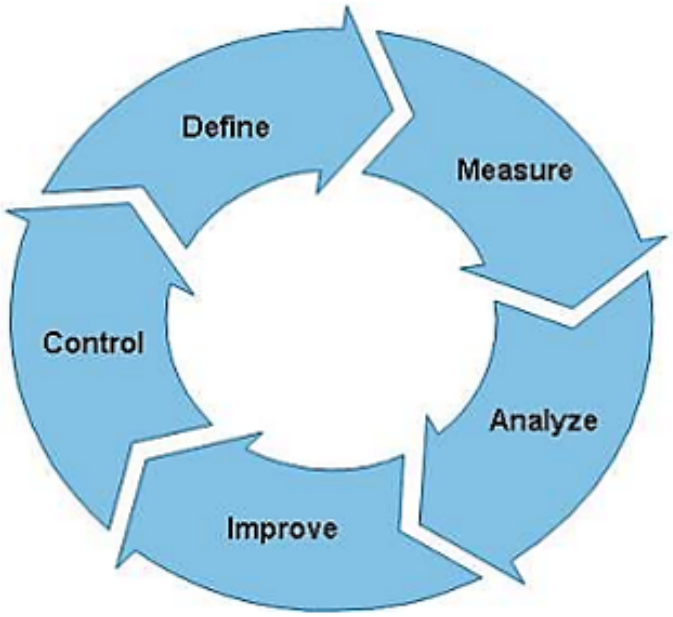



Fig. 2.3 : Phases du cycle de vie de l'amélioration des processus DMAIC[12]

### 2.4.1 La phase Définir

Cette phase consiste à définir clairement le problème ou l'objectif d'amélioration du processus. Les principales activités comprennent la définition de la portée du projet, l'identification des parties prenantes, l'établissement d'objectifs mesurables et la création d'une équipe de projet.

### 2.4.2 La phase Mesurer

Dans cette phase, les données sont collectées pour évaluer les performances actuelles du processus. Cela peut inclure la collecte d'informations sur les temps de cycle, les défauts, les coûts, les ressources utilisées, etc. L'objectif est de comprendre l'état actuel du processus et d'identifier les problèmes ou les domaines d'amélioration potentiels. Dans notre cas étudier nous allons utiliser le diagramme de Pareto.

**Diagramme de Pareto :** c'est un graphique à barres avec la fréquence sur le côté gauche (axe des y), le pourcentage sur le côté droit (axe des z), et les facteurs contributifs sont disposés par ordre décroissant de fréquence sur l'axe des x. La ligne qui reflète le pourcentage cumulatif des facteurs est un élément clé du diagramme de Pareto ; lorsque la ligne atteint 80 %, cela signifie que tous les facteurs précédemment ajoutés représentent 20 % des causes des causes ou les éléments essentiels (Figure 2.4). Si on vas concentre sur ces causes, on pourrez atteindre le résultat souhaité de la manière la plus efficace. Ensuite, nous pouvons orienter nos efforts vers les autres facteurs restants (c'est-à-dire les éléments moins importants) [13].

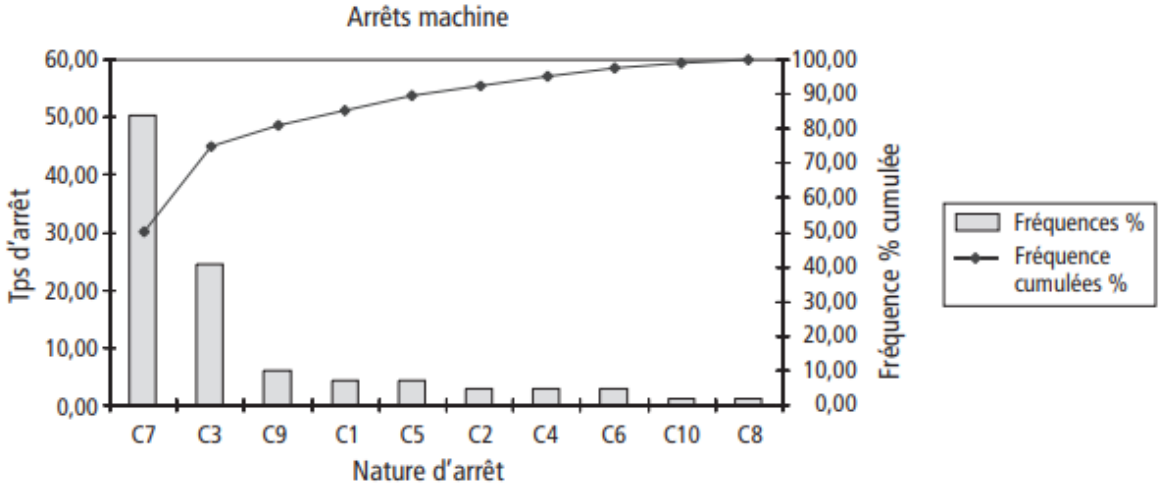



FIG. 2.4 : Diagramme de Pareto [14].

### 2.4.3 La phase Analyse

Pendant cette phase, les données collectées sont analysées pour identifier les causes racines des problèmes du processus. Des outils statistiques et d'analyse sont utilisés pour explorer les relations entre les variables, identifier les sources de variation et comprendre les facteurs qui ont le plus d'impact sur les performances du processus. L'objectif est d'identifier les principales sources de problèmes et de cibler les opportunités d'amélioration. Pour notre étude de cas, nous avons utilisé le diagramme d'Ishikawa, également

connu sous le nom de diagramme de causes et effets, dans le but d'identifier les causes racines des problèmes.

**Diagramme d'Ishikawa :** Il est défini comme une représentation graphique qui illustre schématiquement les relations entre un résultat spécifique et ses causes. L'effet étudié ou le problème négatif est représenté par "la tête du poisson" et les causes potentielles par famille (main-d'œuvre, méthodes, milieu, moyens, matières) les causes susceptibles d'être à l'origine d'un problème afin de rechercher des solutions pertinentes, et sous-causes définissent la "structure en forme de poisson" (Figure 2.5).

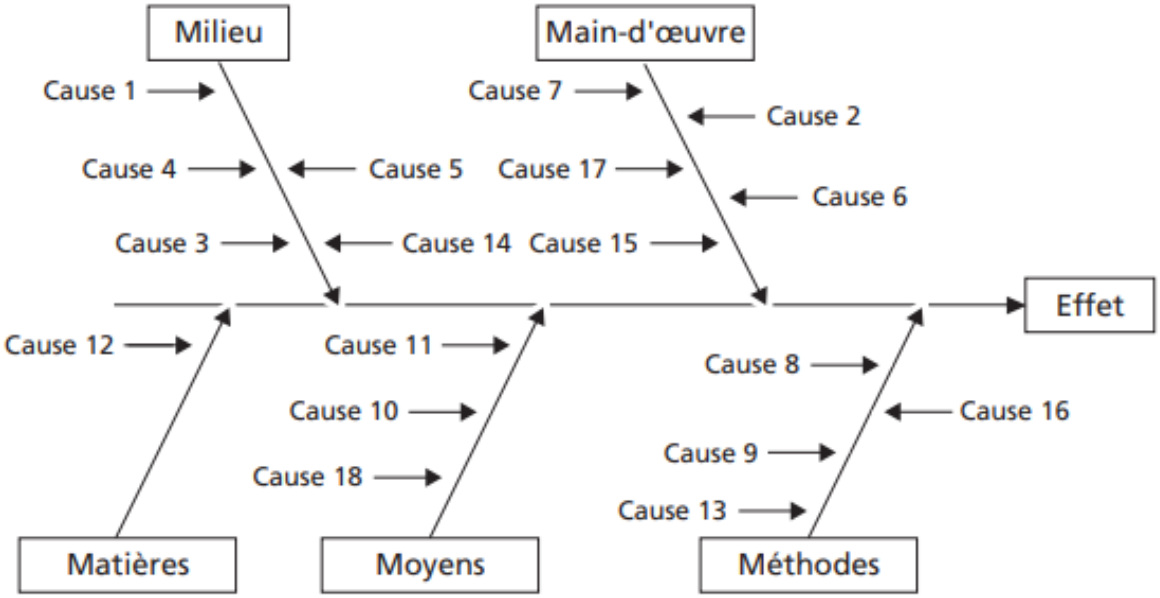



FIG. 2.5 : Diagramme d'Ishikawa[14]

### 2.4.4 La phase Amélioration

Dans cette phase, des solutions potentielles sont générées et mises en œuvre pour résoudre les problèmes identifiés. Des idées d'amélioration sont développées, testées et validées pour déterminer leur efficacité. Les solutions les plus prometteuses sont mises en œuvre, et les résultats sont mesurés pour évaluer leur impact sur les performances du processus.
Cependant, dans ce cas, nous avons utilisé la maintenance autonome utilisée comme un outil pour améliorer la productivité et l'efficacité du système. La maintenance autonome pouvant être définie comme un outil stratégique de maintenance dans lequel les machines étaient surveillés en permanence par des opérateurs pour effectuer les réglages et effectuer diverses tâches. L'opérateur peut être technicien ou cadre. Ainsi, des contrats de maintenance autonomes pour réduire les pertes en effectuant une maintenance préventive et planifiée. Cela aura un impact sur l'efficacité globale de l'équipement.

### 2.4.5 La phase Contrôle

La phase finale consiste à établir des mesures de contrôle pour maintenir les améliorations réalisées et garantir que le processus reste sur la bonne voie. Des outils de

contrôle statistique sont utilisés pour surveiller les performances du processus, détecter les variations indésirables et prendre des mesures correctives si nécessaire.

## 2.5 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté un schéma décrivant les étapes du processus proposé, offrant ainsi une vue d'ensemble claire de la démarche à suivre. Ensuite, nous avons approfondi la définition de SysML en soulignant son importance dans la modélisation et l'analyse des systèmes complexes. Ensuite, nous nous sommes concentrés sur la DMAIC, une méthodologie structurée utilisée pour l'amélioration des processus, en détaillant chaque phase de cette approche. Cette méthodologie exposée précédemment sera explorée en profondeur dans le chapitres suivant afin de mieux comprendre notre problématique spécifique et de formuler des solutions appropriées.

# Chapitre 3

# Modélisation structurelle et fonctionnelle

# 3.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous avons entamé, dans la première partie, la présentation de l'entreprise en mettant l'accent sur ses deux sites de production. Ensuite, nous avons défini les deux lignes de production au sein des lieux de notre stage, et nous avons conclu par une description détaillée des processus de fabrication des sticks. Dans la deuxième partie, nous avons entamé l'analyse fonctionnelle de notre système en utilisant le langage SysML. Nous avons utilisé les diagrammes des exigences et des cas d'utilisation pour déterminer l'analyse fonctionnelle externe, ainsi que les diagrammes BDD (Diagramme de Définition de Bloc) et IBD (Diagramme de Bloc Interne) pour l'analyse fonctionnelle interne.

# 3.2 Présentation d'entreprise

BIOPHARM est un laboratoire pharmaceutique algérien qui a été fondé en 1991 en tant que groupe industriel et commercial. Il a été l'un des premiers investissements privés dans le secteur pharmaceutique en Algérie, et plus généralement dans la santé publique du pays. Depuis sa création, BIOPHARM s'est continuellement amélioré pour maintenir son statut de leader et de premier acteur sur le marché pharmaceutique local.

Les sites de production sont répertoriés en deux unités à savoir l'unité de Oued S'mar et l'unité de Reghaïa situées toutes les deux à Alger.

## 3.2.1 L'unité de Oued Smar à Alger

Elle occupe une superficie de 8 000 mètres carrés et dispose actuellement de neuf lignes de production. Ces lignes de production comprennent deux lignes pour les formes liquides (petites et grandes séries), une gamme de crèmes et de gels, deux lignes pour les suppositoires, ainsi que quatre lignes pour les formes sèches (sachets, poudres, pilules et comprimés). La gamme de production comprend près d'une centaine de médicaments génériques qui couvrent les principales catégories thérapeutiques.

## 3.2.2 L'unité de production de Reghaia

Elle est située à Alger, fonctionne avec deux lignes de production pour les formes sèches, notamment les comprimés et les gélules. En outre, cette unité est chargée de toutes les opérations immobilières, y compris l'achat, la vente, la construction, la promotion et la gestion de la logistique.
L'usine de Reghaia a un flux de production clair et bien organisé, avec plusieurs salles équipées de divers équipements pour aider l'équipe à garantir une production de qualité.

**a. La ligne sèche (Oncologie).** Nous trouvons :

- Un magasin : gérer par un magasinier qui reçois les différents produits que sa sois la matière première ou le prémix , ce magasin est organisé en trois compartiments , à savoir les produits en quarantaine , les produits acceptés ainsi que les refusés .
- Une salle de prélèvement : c'est une zone classée et contrôlée où le préleveur

travaille sous isolateur , le produit à prélever ainsi que le matériels sont transférés a cette salle a travers un Passe Box . Enfin , un Mist Shower pour éliminer toute éventuelle contamination du préleveur .
- Laboratoire de contrôle qualité : l'échantillon prélevé est soumis à plusieurs analyses physico-chimique et microbiologique afin d'assurer sa conformité .
- Salle de pesée : après un ordre de fabrication , transférer le prémix ou les matières à mélanger vers une salle dotée d'une balance équilibrée et aussi d'un mélangeur sous isolateur .
- Mise en gélules ou comprimeuse suivie d'une pelliculeuse .
- Conditionnement primaire
- Conditionnement final et manuel .
- Control in process : test pharmaco technique tel que la pesée par une balance , friabilimétre , densitmètre , durométre et un désintégrateur.
- Un magasin pour les produits finis .
- Chambre de stabilité : trois armoires présentes dans cette chambre , une armoire sous des conditions normales ( 25°c / 60 ) pour une durée de 24 mois , une deuxième armoire sous des conditions intermédiaires ( 30°c ) pour une durée de 12 mois , et enfin , une armoire à (40°c /75)pour 6 mois .

**b. La ligne liquide (Stick pack)**

- **Un magasin :** pour la réception des matières première et les article de conditionnement,
- **Box de pesé** plusieurs balances qui doivent être calibrées puis étalonnées, la pesée se fait sous flux luminaire qui assure un nettoyage de la salle .
- **La salle de production :** dans cette salle existe quatre cuves : cuve de stockage d'eau, une cuve de premix, une cuve de fabrication et enfin une cuve de stockage de produit. Chaque cuve possède un agitateur et un homogénéiseur avec un système de chauffage à vapeur réunie à un système de refroidissement. le nettoyage de cette salle est effectué par un système skide .
- **Une salle de conditionnement :** le conditionnement est effectué par un système automatisé.

## 3.3 Description du processus de production

- La figure (3.1) met en évidence une zone dédiée où sont logés les réservoirs contenant la matière première destinée à être préparée ultérieurement. Ces réservoirs sont reliés au conditionnement primaire à l'aide d'une pompe de transfert, favorisant ainsi le flux de la matière première vers le conditionnement primaire où se trouve la remplisseuse.



FIG. 3.1 : Zone de préparation

- Le liquide contenu dans le réservoir s'écoule vers la trémie par sa partie supérieure. Lorsque le capteur de niveau (flotteur) détecte que le niveau du produit atteint un seuil spécifique, il active la pompe de transfert, qui ajoute davantage de produit dans la trémie (figure 3.2). Cette trémie est continuellement en rotation afin de prévenir l'accumulation de produit.



FIG. 3.2 : Trémie

- À cet endroit, le produit est acheminé à travers douze tubes équivalents, également appelés injecteurs (Figure 3.3). Initialement, le produit est acheminé à l'aide d'une pompe de circulation vers les vannes à membrane, puis vers le piston pour être envoyé aux injecteurs. Ce processus permet une diminution progressive du débit du produit selon la quantité souhaitée.

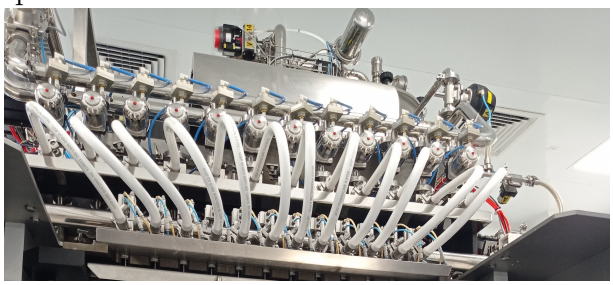


FIG. 3.3 : Les douze tubes de remplissage

- De l'autre côté de la machine, nous trouvons une bobine située à la partie inférieure, qui contient le matériau d'emballage Triplex utilisé pour les sticks (Figure 3.4). La bobine est maintenue tendue à l'intérieur de la machine et se déroule grâce aux mouvements des mâchoires de scellage situées à l'avant de la machine. À l'entrée d'alimentation de la bobine, un photodétecteur (capteur) est positionné pour détecter le repère sur le matériau d'emballage, fournissant ainsi des informations à la machine sur la position du film.



FIG. 3.4 : La Bobine

- Après la lecture du repère, le film se déplace vers une zone spécifique où il est marqué à l'aide d'une imprimante thermique avec des informations telles que le numéro de lot et la date d'expiration, qui ont été préalablement définis au début du processus de production (Figure 3.5). Une fois marqué, le film passe par un autre photodétecteur qui mesure sa longueur, fournissant ainsi des informations essentielles pour la découpe ultérieure. Ensuite, le film continue de circuler jusqu'à atteindre la section où les tubes d'alimentation du produit sont situés.



FIG. 3.5 : Les imprimantes

- À partir de cet instant, le film d'aluminium subit une séparation verticale, formant des bandes individuelles qui s'enroulent autour des tubes d'alimentation du produit. Ces bandes descendent le long des tubes jusqu'à atteindre un point où elles sont cousues verticalement. En poursuivant leur descente, les bandes atteignent un point où elles sont scellées horizontalement à la base, fermant ainsi les sticks sur deux côtés, et permettant l'introduction du produit à l'intérieur. Une fois la quantité appropriée de produit introduite, les bandes sont scellées horizontalement en haut (qui sera la base du prochain stick), puis elles continuent leur descente (Figure 3.6).

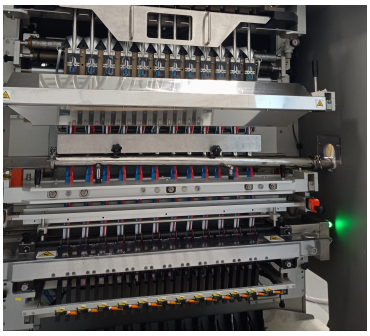


FIG. 3.6 : Des sticks prêtes à être coupées

- Une fois que la bande de sticks est hermétiquement scellée de tous les côtés, elle continue sa descente jusqu'à atteindre une zone où elle est découpée horizontalement et séparée en sticks individuels. Chaque stick passe ensuite sur un capteur de poids très précis, préalablement calibré avec le poids de l'emballage de film et du produit. Si le poids total se situe en dehors des limites de tolérance, l'ensemble est éliminé. En cas de poids incorrect pour un seul stick, seul celui-ci est éliminé tandis que les autres sticks sont éliminés sur la balance générale car il manque un stick. Si plusieurs sticks présentent un poids incorrect, les douze sticks sont éliminés. Les sticks sont saisis par le bas et placés sur une ligne de convoyage qui les transporte vers la prochaine station : le robot pick and place.
- Une fois que le bon nombre de stick a été rassemblé, ils sont introduits dans la machine de mise en étui. Il y a un rack de boîtes en carton, qui a toutes les boîtes pliées, d'où la machine abaisse les boîtes une par une et les déplie. Elle insère ensuite les sticks dans la boîte, ainsi qu'un feuillet de notice pour les produits qui en ont besoin, ferme la boîte, et ajoute une petite goutte de colle sur les rabats. Elle passe ensuite sur un autre tapis roulant jusqu'à atteindre la balance de tri, qui prend en compte le poids de chaque stick individuel, le poids de la boîte et le poids du feuillet d'instructions en cas de présence. Si le poids est en dehors des limites de contrôle, il est rejeté, et les opérateurs l'ouvrent pour compter combien de stick il y a. s'il en manque un, les opérateurs prennent un stick du dépôt des rejets corrects et l'introduisent dans la boîte, qui sera re-pesée.



FIG. 3.7 : La balance

## 3.4 Analyse fonctionnelle de système

Dans cette section nous présentons l'analyse fonctionnelle de la ligne de fabrication des stick pack a l'aide des diagrammes de SysML, nous explorerons en détail les différentes méthodes et outils permettant de modéliser et de comprendre le fonctionnement de notre systèmes complexes.

### 3.4.1 Analyse fonctionnelle externe de la ligne

pour réaliser cette phase d'analyse, nous utilisons les deux diagrammes de SysML le diagramme de cas d'utilisation et le diagramme des exigences, afin de mieux comprendre son fonctionnement dans son contexte environnemental.

#### 3.4.1.1 Diagramme de cas d'utilisation

Il montre les interactions fonctionnelles des acteurs et du système d'étude. Il délimite précisément le système, décrit ce que fera le système sans spécifier comment. Il exprime les services (use cases) offert par le système aux utilisateurs (actors).

- Nous avons tracé un cadre délimitant le système et contenant un ensemble de séquences d'actions.
- À gauche nous avons placé les acteurs humains, à droite les acteurs non humains.
- Nous avons décrit les actions réalisables par le système (les services rendus par le système aux acteurs, sous forme de verbe à l'infinitif plus compléments).

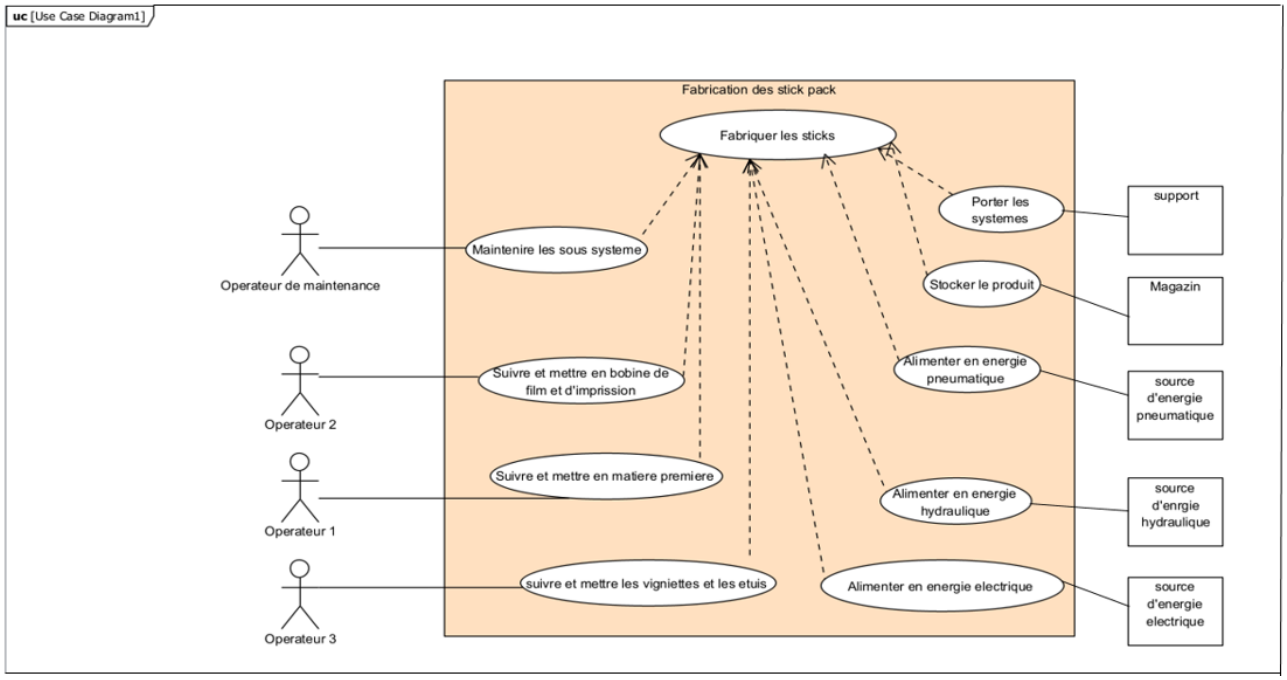



Fig. 3.8 : Diagramme de cas d'utilisation

### 3.4.1.2 Diagramme des exigences

Dans notre cas, nous avons utilisé le diagramme des exigences pour représenter les capacités et les contraintes à satisfaire par notre système. Chaque exigence exprime une fonction que le système doit accomplir ou une condition de performance technique, physique, de sécurité. Ce diagramme nous a permis de documenter et de visualiser de manière structurée les besoins et les attentes liés au système, afin de garantir sa conformité aux exigences des parties prenantes.

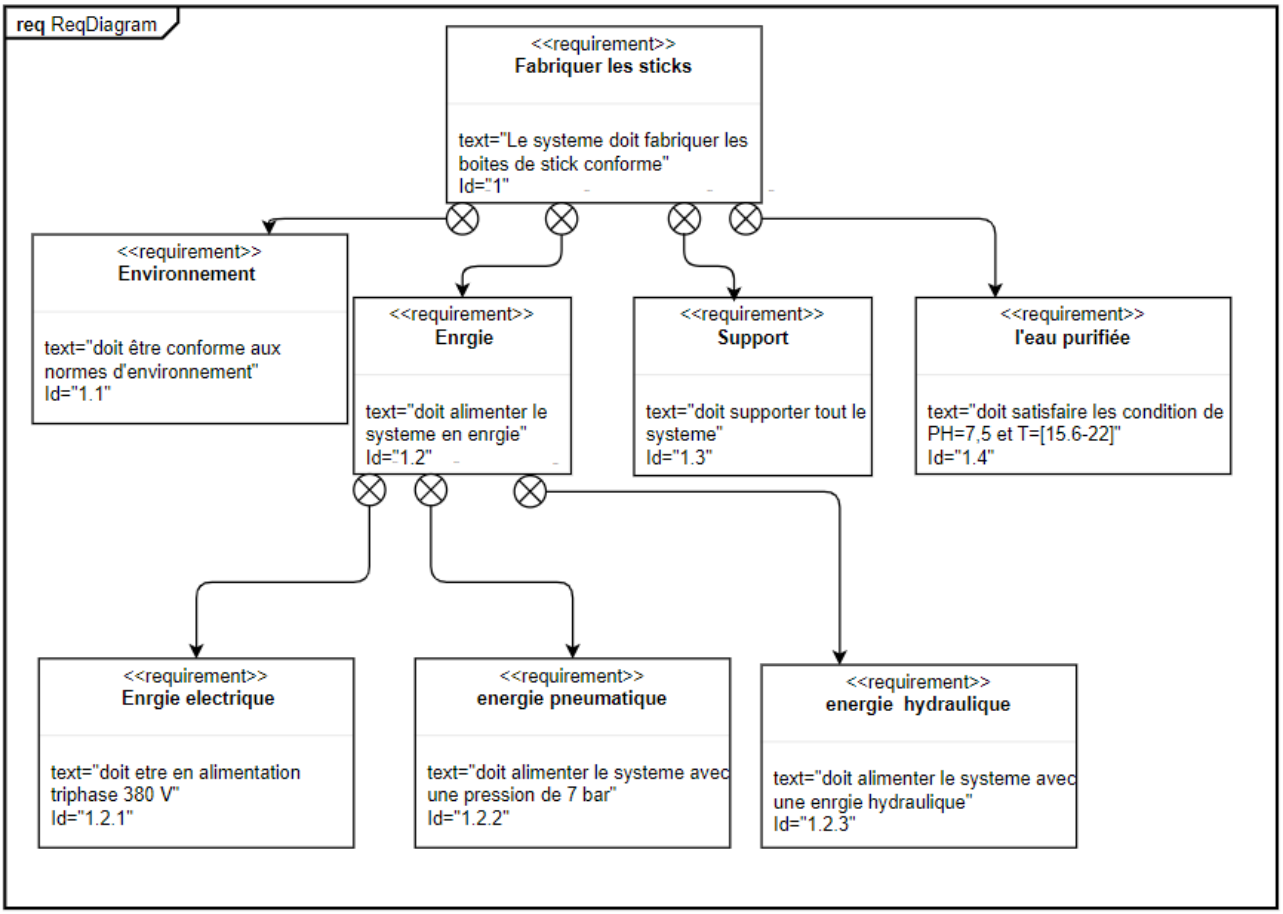



Fig. 3.9 : Diagramme des exigences de la fabrication des Sticks

### 3.4.2 Analyse fonctionnelle interne

Cette analyse nous permet de décomposer le système en sous-systèmes, en modules ou en composants, afin de mieux comprendre leur rôle et leur contribution dans l'ensemble du système, également d'identifier les contraintes, les dépendances et les interactions entre les composants, pour une compréhension approfondie et structurée du fonctionnement interne d'un système, pour réaliser cette phase d'analyse, nous utilisons les deux diagrammes de SysML : BDD et IBD.

#### 3.4.2.1 Diagramme de définition de blocs (BDD)

Nous avons utilisé le BDD pour représenter les principaux composants fonctionnels de la ligne de fabrication stick pack et leurs relations. Il sert à décomposer le système global en blocs fonctionnels plus petits, ce qui permet de comprendre les fonctions et les interactions entre les différentes parties du système. Comme le montre la figure (3.10).

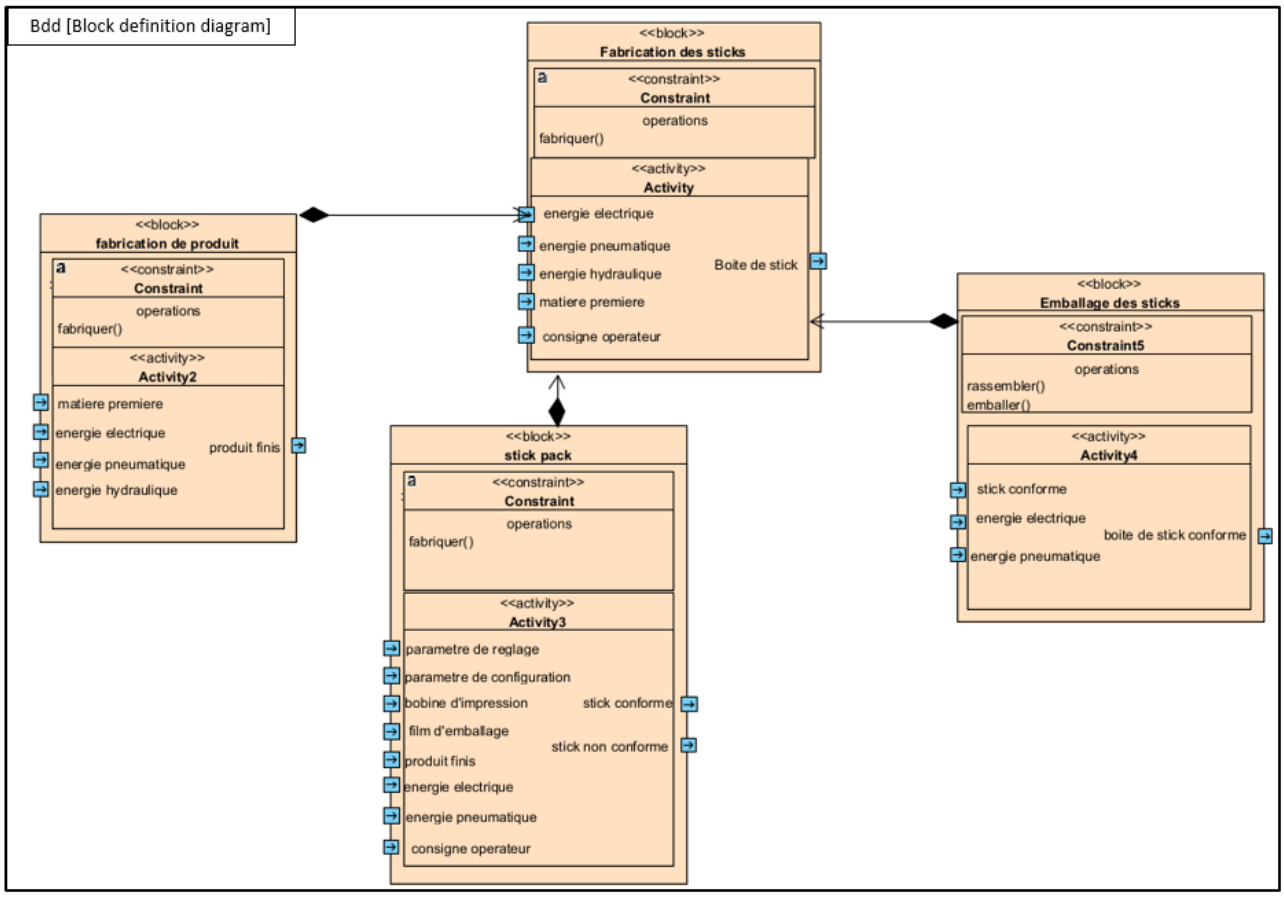



FIG. 3.10 : Diagramme de définition de bloc de la ligne Stick Pack

En utilisant le BDD, nous avons pu analyser les entrées, les sorties, les transformations et les interactions internes du sous-système de fabrication des sticks, fournissant ainsi une vision approfondie de son fonctionnement interne (figure 3.11).

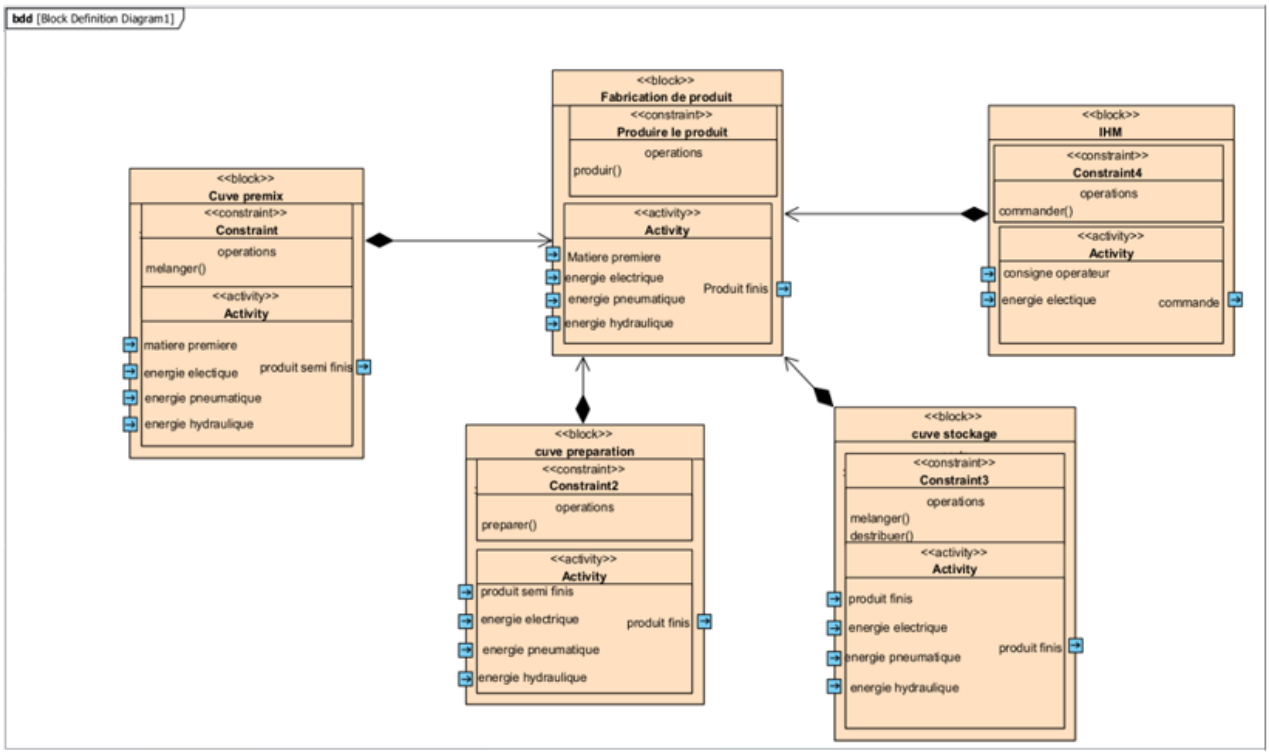



FIG. 3.11 : Diagramme de définition de bloc de la zone fabrication des Stick Pack

Dirigeons notre attention vers le sous-système de remplisseuse stick pack afin d'approfondir notre compréhension des entrées, des sorties et des flux d'information et de matière, comme illustré dans la figure (3.12).

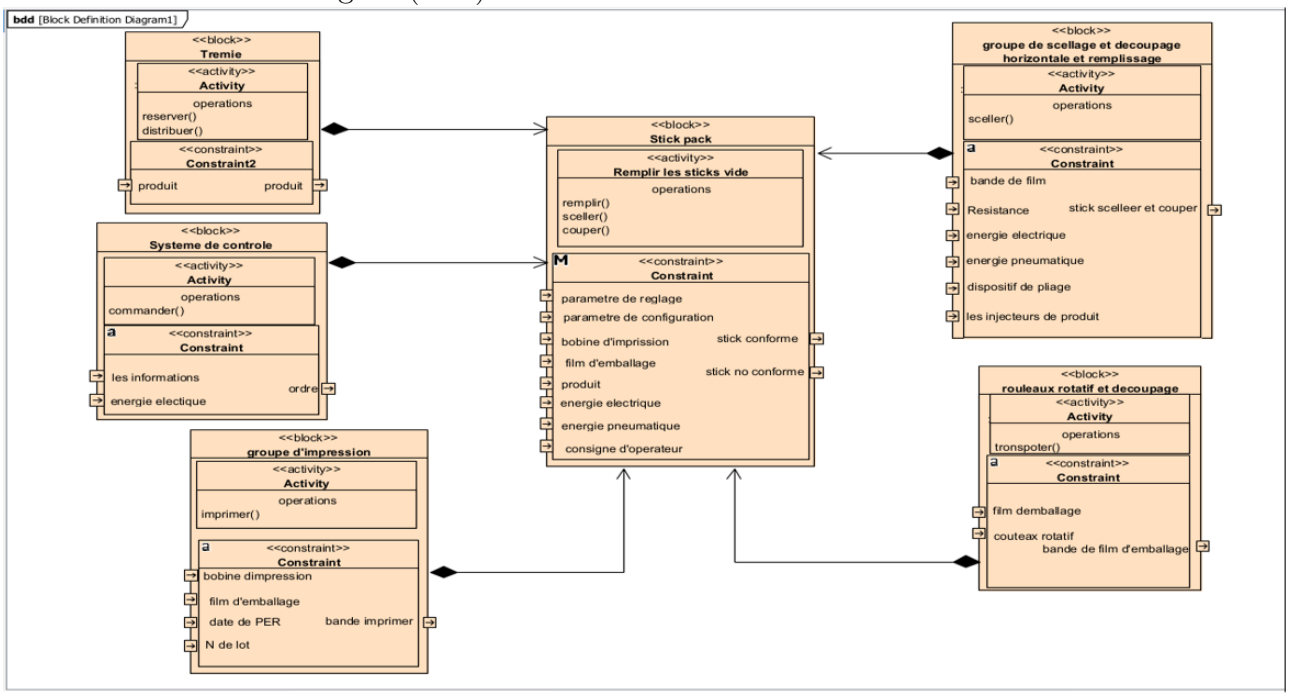



FIG. 3.12 : Diagramme de définition de bloc de la remplisseuse Stick Pack

A l'aide de diagramme BDD comme le montre dans la figure (3.13), nous avons détaillé le sous-système d'emballage des sticks,et on a présenter ses sous-ensembles.

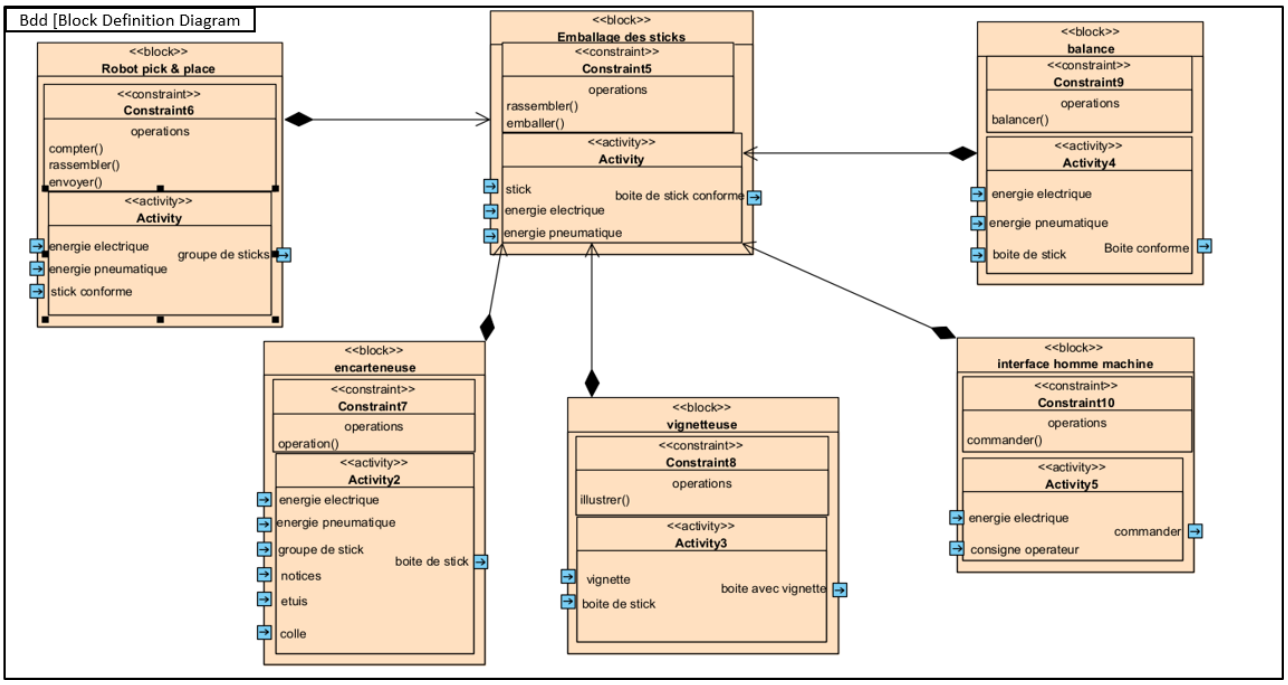



FIG. 3.13 : Diagramme de définition de bloc de conditionnement secondaire Stick Pack

### 3.4.3 Diagramme de bloc interne (IBD)

Nous allons utilisé le IBD pour détailler les sous-systèmes, les composants et les connexions internes d'un bloc fonctionnel donné. Il nous a permet de visualiser les éléments internes d'un bloc, tels que les sous-blocs, les ports, les flux de données et les relations entre eux, ainsi comment interagissent entre eux pour réaliser sa fonction spécifique. Comme le montre la figure (3.14) il permet de représenter les flux de matière, d'énergie et d'information qui circulent à travers le système.

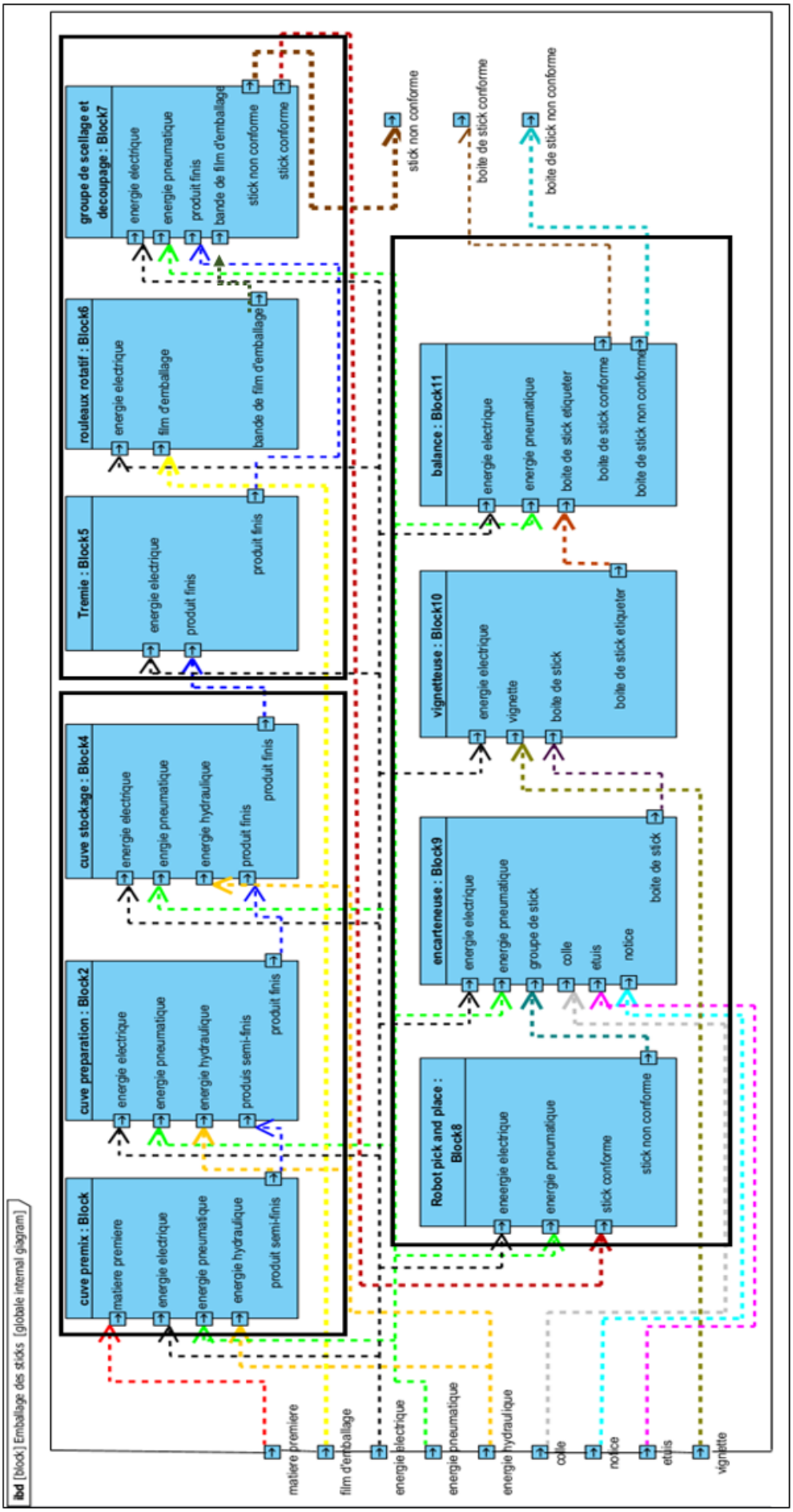



FIG. 3.14 : Diagramme bloc interne de la ligne Stick Pack

## 3.5 Conclusion

Dans ce présent chapitre, nous avons effectué une description détaillée de la ligne étudiée dans le but de mieux comprendre son fonctionnement global. Par la suite, nous avons réalisé une analyse fonctionnelle complète de la ligne, en examinant à la fois ses aspects internes (à travers les cas d'utilisation et les exigences) et ses interactions externes (en utilisant les diagrammes de blocs fonctionnels BDD et de blocs internes IBD).

Cette approche nous a permis de mettre en évidence les différentes fonctions exercées par les composants de la ligne, d'identifier les exigences spécifiques à satisfaire et de modéliser les interactions entre les différents éléments. Ces informations ont constitué une base solide pour poursuivre notre étude dans le prochain chapitre, qui portera sur l'amélioration du Taux de Rendement Synthétique (TRS).

# Chapitre 4

# La méthode DMAIC

## 4.1 Introduction

Ce chapitre a pour principal objectif d'améliorer le Taux de Rendement Synthétique (TRS) de la ligne de l'unité de Réghaïa. Les différentes sections du présent chapitre correspondent l'étude des différentes phases de la méthode DMAIC. La première section est dédiée la phase définir. La deuxième section est consacrée à la phase mesurée. La troisième et la quatrième section présentent respectivement les phases analyse et amélioration.

## 4.2 La phase Définir

Afin de pouvoir atteindre notre objectif qui est de faire une amélioration sur le TRS, nous avons pu approfondir l'analyse pour comprendre ce qui génère exactement toutes ces pertes de temps, afin d'investiguer les raisons possibles et de proposer des solutions appropriées.

Pour ce faire, nous avons effectué plusieurs visites sur site, menées sur plusieurs jours et pendant différents créneaux horaires, afin de pouvoir discuter avec plusieurs opérateurs directement impliqués dans le processus et apprendre de leur expérience.

Au cours des visites sur le site de production, nous avons pu comprendre comment fonctionnait l'ensemble du processus, depuis les matières premières jusqu'aux produits finis, et grâce aux conversations avec les opérateurs, nous avons pu comprendre quels problèmes se posaient le plus fréquemment et comment ils les résolvaient. Il a également été très utile de repérer tous les moments d'inefficacité, tels que les temps d'arrêt techniques, les réglages des machines, les microarrêts, etc. Ainsi, nous avons pu observer tous les scénarios possibles pour mieux comprendre le processus lui-même, et d'interpréter de manière plus solide les données qui peuvent être analysées jusqu'à présent.

Ces données sont contenues dans un ensemble de données dans lequel, pour chaque jour et pour chaque poste, tous les temps requis pour mener à bien les différentes activités sont spécifiés afin de construire une base de données. Dans cette base de données, le temps perdu en ralentissements, en microarrêts, en réglages, etc., est enregistré. Grâce à cela, il est possible d'analyser quelles activités ont le plus grand impact sur le calcul du TRS.
Toutes les principales catégories d'inefficacité sont :

- Réglage : inclut tous les temps consacrés à la préparation de la machine pour la production, qui peuvent être réglage de poids des stick dans les limite de tolérance pour avoir des stick conforme, le lancement, l'insertion de date et numéro de lot,le nettoyage, etc.
- Technique : elle considère tous les problèmes liés aux problèmes des pannes de la machine.
- Micro-arrêts c'est-à-dire ceux qui durent moins de cinq minutes, et qui peuvent être causés par n'importe quel facteur.
- Changement de bobine cela comprend tout le temps consacré à retirer l'ancienne bobine, à introduire la nouvelle et à tester que le changement a été effectué correctement.
- Changement de bobine d'impression où il y'a six bobine d'impression de numéro de lot et la date qui doivent être changer après 96% de consommation.

Comme nous avions besoin de données sur les quantités produites par jour, nous les avons récupérées auprès du bureau de production, responsable de la planification de la production et de la coordination des activités. Toutes les données nécessaires sont présentées dans le tableau 4.1.

**Tab 4.1** Les données collecter

| Date | Quantité (unité | Pannes(min | Réglage(min) | Micros-arrêts(min | Non qualité(min |
|---|---|---|---|---|---|
| 23/03/2023 | 9716 | 10 | 10 | 15 | 0.67 |
| 26/03/2023 | 7805 | 120 | 8 | 14 | 1.11 |
| 27/03/2023 | 6711 | 40 | 15 | 16 | 0.92 |
| 28/03/2023 | 8768 | 0 | 22 | 19 | 0.54 |
| 29/03/2023 | 9136 | 0 | 13 | 12 | 0.49 |
| 30/03/2023 | 9154 | 0 | 15 | 17 | 0.75 |
| 31/03/2023 | 6189 | 0 | 28 | 10 | 0.42 |
| 4/2/2023 | 4600 | 60 | 25 | 12 | 1.02 |
| **Total** | 62079 | 230 | 136 | 115 | 5.92 |

### 4.2.1 Le taux de disponibilité

La figure (Fig 4.1) illustre l'évolution du taux de disponibilité au cours de la période étudiée, mettant en évidence la mesure de la disponibilité des équipements ou des ressources calculé en utilisant la formule du taux de disponibilité 1.8 (cf. chapitre 1). Ce taux varie dans l'intervalle [83,1%- 97,0%].

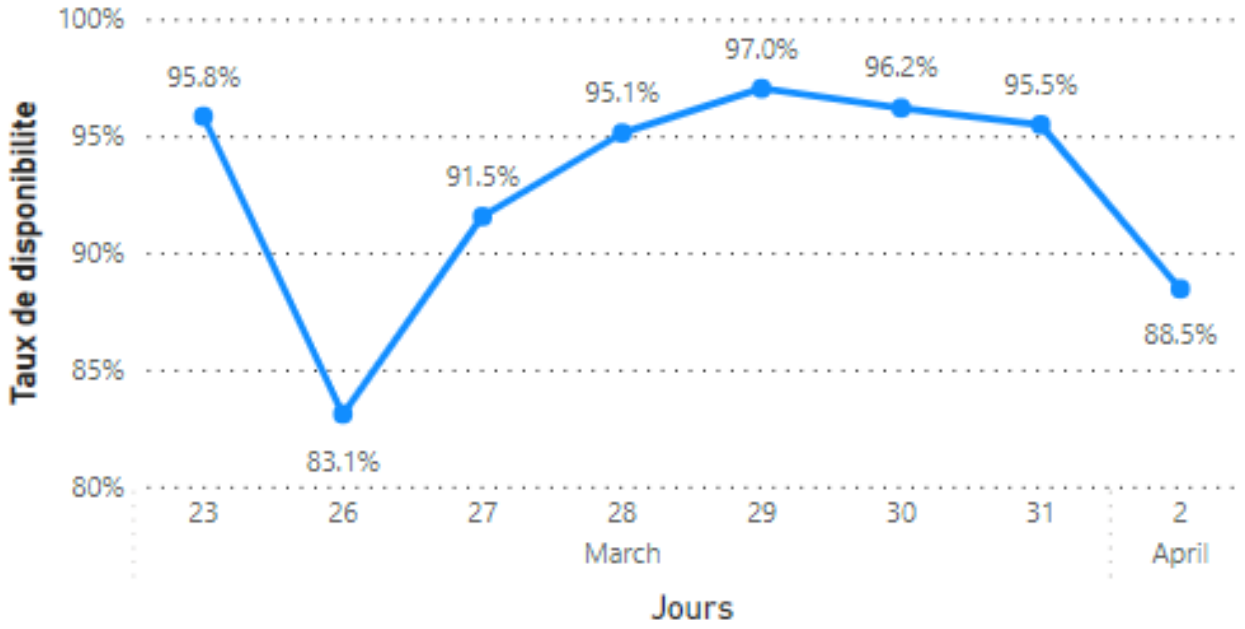



FIG. 4.1 : Le taux de la disponibilité.

### 4.2.2 Le taux de performance

La figure 4.2 représente le taux de la performance de la ligne étudiée calculé en utilisant la formule de taux de performance 1.10 (cf. chapitre 1). Nous remarquons que le taux varie dans l'intervalle [30.4%- 64.3%].

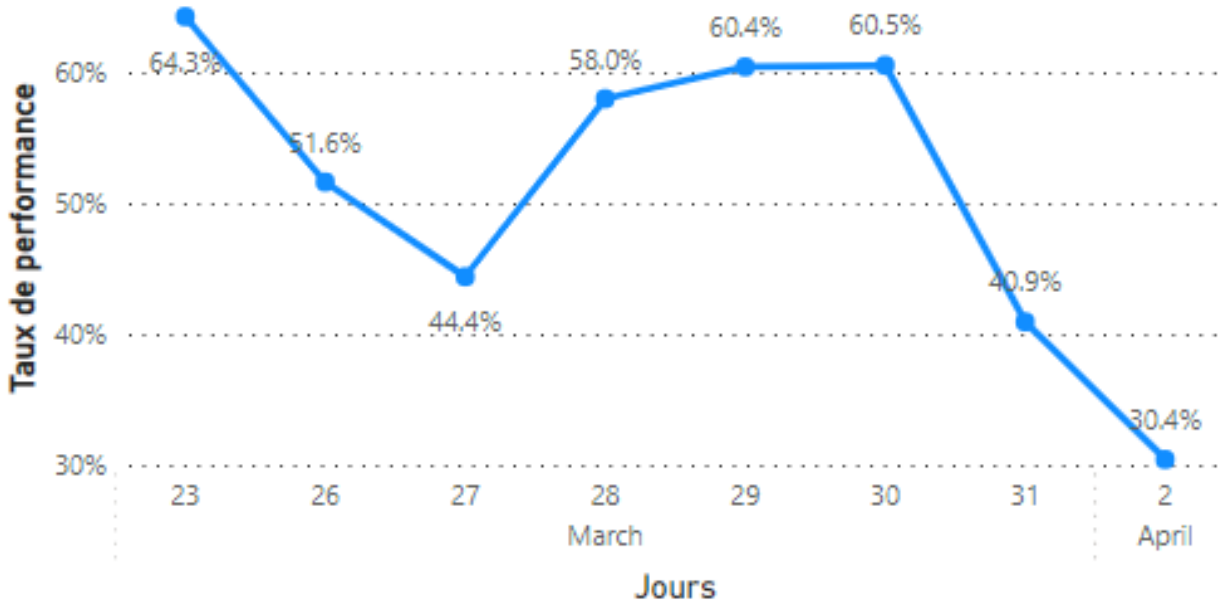



FIG. 4.2 : Le taux de performance

### 4.2.3 Le taux de la qualité

La figure 4.3 illustre le taux de la qualité de l'équipement de la ligne étudiée calculé à l'aide de la formule de taux de la qualité 1.12 (cf. Chapitre 1). Elle met en évidence une variation du taux de disponibilité dans la plage allant de 99.60% à 99,88%.

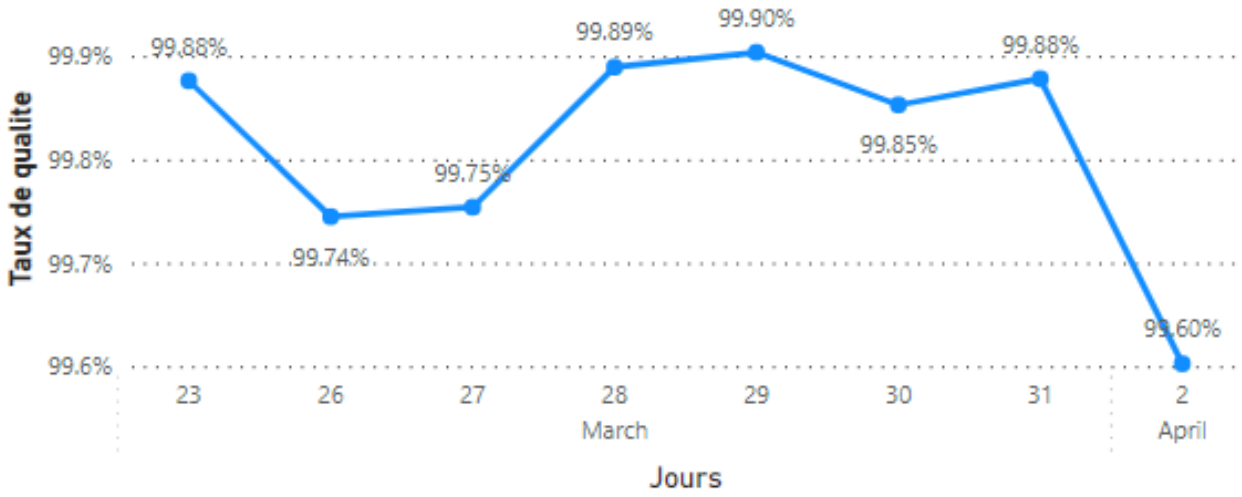



FIG. 4.3 : Le taux de la qualité

Le graphique ci-dessus illustre le taux de la qualité de l'équipement de notre ligne d'étude, calculé à l'aide de la formule de taux de la qualité (1.12) présentée dans le chapitre 1. Il met en évidence une variation du taux de disponibilité dans la plage de [99.60% - 99,88%].

### 4.2.4 Le taux de rendement synthétique (TRS)

La figure 4.4 représente l'efficacité globale de la ligne stick-pack calculé en utilisant les trois facteurs tels que la disponibilité de l'équipement, l'efficacité des performances, la qualité (cf. formule 1.13 du chapitre 1). Nous remarquons la variation du TRS de la ligne de 30% à 62%.

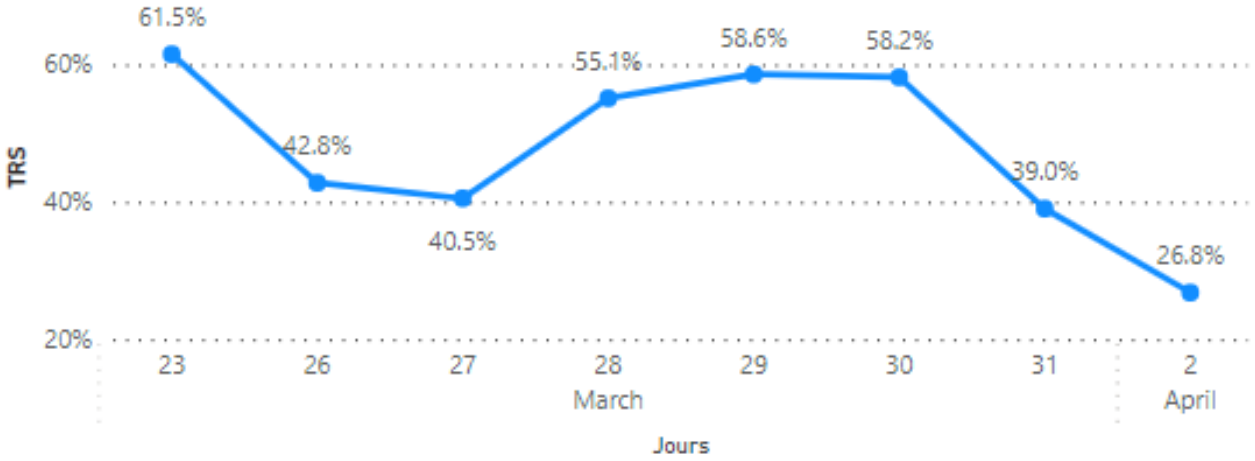



FIG. 4.4 : Courbe montre la représentation de TRS

L'utilisation de graphiques nous permet de surveiller le Taux de Rendement Synthétique (TRS) dans le cadre de cette étude de cas, ce qui nous permet de définir notre problématique axée sur l'amélioration des performances.

## 4.3 La phase Mesurer

Afin d'étudier cette phase, nous procédons à la collecte de données que nous analysons grâce au diagramme de Pareto.

**a. Collecte de données**

Afin d'effectuer la collecte de données relatives aux activités du processus de production, nous avons procédé à des observations sur une période de 23 jours consécutifs, couvrant les deux équipes de travail. Les données collectées comprenaient les ajustements effectués par les opérateurs, les micros-arrêts, la durée des interventions liées aux pannes, les temps d'arrêt pour changement de bobine, ainsi que les opérations liées à l'impression des bobines. Il convient de noter que les tâches effectuées pendant la nuit ou au cours de mon absence ne pouvaient pas être directement surveillées. De plus, il est important de souligner que la mesure précise des temps requis pour chaque action réalisée par chaque opérateur n'est pas une tâche aisée et nécessite une attention particulière. Le tableau 4.2 présente les données collectées.

**Tab 4.2** Les données collecter

| Date | Quantité produit (Kg) | Réglages (min) | Micros-arrêts (min) | Changement de bobine(mi | Changement bobine d'impression (min) | Non qualité (min) | pannes(min) | Vide de ligne(min) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 24/4/2023 | 7321 | 30 | 20 | 10 | 5 | 2 | 196 | 60 |
| 25/4/2023 | 7540 | 14 | 30 | 8 | 6 | 0.66 | 211 | 90 |
| 26/4/2023 | 11290 | 16 | 26 | 7 | 5 | 0.44 | 0 | 103 |
| 27/4/2023 | 3948 | 20 | 30 | 7 | 6 | 2.2 | 0 | 0 |
| 30/4/2023 | 8342 | 18 | 23 | 6 | 5 | 0.81 | 145 | 60 |
| 1/05/2023 | 11223 | 16 | 25 | 8 | 7 | 1.17 | 73 | 90 |
| 2/05/2023 | 10425 | 17 | 28 | 10 | 6 | 0.79 | 0 | 105 |
| 3/05/2023 | 6000 | 19 | 22 | 7 | 5 | 0.63 | 0 | 98 |
| 7/05/2023 | 11789 | 14 | 29 | 9 | 6 | 0.92 | 0 | 75 |
| 8/05/2023 | 10546 | 15 | 24 | 11 | 5 | 1.05 | 0 | 80 |
| 9/05/2023 | 7583 | 18 | 21 | 6 | 5 | 0.54 | 35 | 65 |
| 14/5/2023 | 5075 | 15 | 20 | 9 | 7 | 1.01 | 0 | 0 |
| 15/5/2023 | 5240 | 17 | 25 | 8 | 6 | 0.49 | 0 | 73 |
| 16/5/2023 | 11060 | 19 | 27 | 6 | 6 | 1.11 | 0 | 68 |
| 17/5/2023 | 10648 | 18 | 24 | 7 | 5 | 0.67 | 15 | 60 |
| 18/5/2023 | 9067 | 17 | 23 | 10 | 6 | 0.39 | 0 | 0 |
| 21/5/2023 | 10196 | 16 | 26 | 8 | 5 | 0.92 | 0 | 55 |
| 22/5/2023 | 8515 | 15 | 30 | 9 | 7 | 0.42 | 0 | 100 |
| 23/5/2023 | 11200 | 17 | 29 | 11 | 5 | 0.75 | 0 | 54 |
| 24/5/2023 | 6788 | 17 | 22 | 7 | 6 | 1.02 | 265 | 62 |
| 25/5/2023 | 5860 | 15 | 23 | 10 | 7 | 0.58 | 0 | 0 |
| **Total** | 179656 | 363 | 527 | 174 | 121 | 18.57 | 940 | 1298 |

### b. Le diagramme de Pareto

Une fois les données collectées de manière exhaustive et rigoureuse, nous avons pu procéder à la construction du diagramme de Pareto, en utilisant ces données comme base pour l'analyse et la représentation graphique des fréquences relatives des différents problèmes ou causes identifiés. Le tableau 4.3 présente les calculs effectués pour la construction du diagramme Pareto.

**Tab 4.3** Calculs relatifs au diagramme de Pareto.

| Les tâches | La durée | Pourcentage | Pourcentage cumulé |
|---|---|---|---|
| **Vide de ligne** | 1298 | 37.72% | 37.72% |
| **Panne** | 940 | 27.31% | 65.03% |
| **Micro arrêt** | 527 | 15.31% | 80.34% |
| **Reglage** | 363 | 10.55% | 90.89% |
| **Changement de bobine** | 174 | 5.06% | 95.94% |
| **Changement de bobine d'impression** | 121 | 3.52% | 99.46% |
| **Non qualité** | 18.57 | 0.54% | 100.00% |
| **Total** | 3441.57 | 100.00% | |

Le diagramme de Pareto est illustré par la figure 4.5.

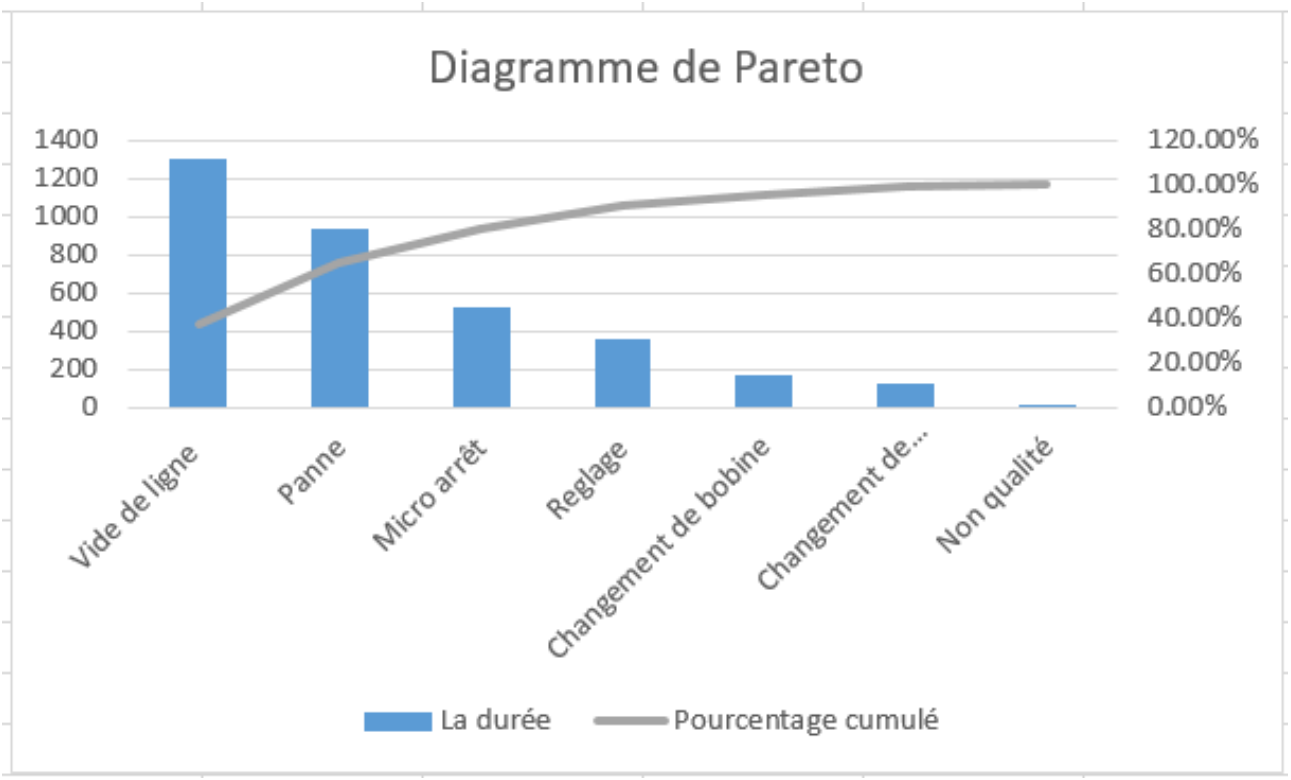



FIG. 4.5 : Diagramme de pareto

Le diagramme de Pareto nous permet d'extraire l'activité la plus consommatrice de temps qui est vide de ligne, qui représente environ 80% de toutes les inefficacités relevées. Elle est suivie par les problèmes de pannes, qui ont un poids d'environ 50%. Ce diagramme est très utile pour comprendre l'impact de chaque cause possible et fournit également des informations sur les catégories les plus critiques qui doivent être abordées plus rapidement.
Une fois les causes ayant un impact significatif sur le Taux de Rendement Synthétique (TRS) identifiées, il devient impératif de procéder à une analyse plus approfondie de ces causes, afin de déterminer précisément les aspects sur lesquels notre étude se concentrera et d'élaborer une approche spécifique pour leur résolution.

## 4.4 La phase Analyser

Conformément au diagramme de Pareto, nous retenons le vide de ligne, qui est la principale activité entraînant les périodes d'arrêt les plus longues, suivi des problèmes de pannes. Ainsi, ces aspects nécessitent une attention immédiate et la mise en œuvre de mesures appropriées pour les réduire. Par conséquent, notre analyse porte spécifiquement sur la réduction du temps d'arrêt lié au vide de ligne et à la durée des pannes, en essayant de comprendre les causes.

### 4.4.1 Situation de vide de ligne

La procédure vide de ligne est effectuée lors de la fabrication du même produit mais en le divisant en lots séparés pour une distribution pratique. Pour chaque lot, la quantité de produit nécessaire dans le réservoir est calculée pour produire le nombre requis de boîtiers

de stick.
Pour effectuer le vide de ligne, il est nécessaire de vider toute la ligne des stick précédents, de changer les données variables imprimées sur les sticks et les boîtiers, de remplir la documentation pour clôturer le lot précédent et ouvrir le lot actuel, d'obtenir la nouvelle tare pour les sticks et le nombre des sticks dans les boîtiers avec la balance de processus, et d'autres activités autour de la ligne. À la fin de vide de ligne, la production recommence avec le nouveau numéro de lot imprimé sur les sticks et les boîtiers.
Le tableau (4.4) ci-après représente les activités à suivre pour le vide de ligne avec leurs temps impartis.

**Tab 4.4** Les différentes tâches de vide ligne.

| **Description** | **La durée** |
|---|---|
| Collecte de la fiche de dépôt | 3 min |
| Récupération des impressions et du dossier de lot pour le lot suivant | 5 min |
| Clôture des documents | 12 min |
| Enlèvement et pesée des déchets | 7 min |
| Comptage des matériaux | 5 min |
| Contrôle des matériaux | 1 min |
| Changement de compostage | 2,5 min |
| Échantillonnage des caisses pour le dossier de lot et prélèvement de notice,étuis et notices pour la tare | 1 min |
| Changement de codage des sticks | 3 min |
| Division, assemblage et montage de bobine de vignette | 14 min |
| Échantillonnage des sticks pour le dossier de lot et prélèvement de 10 sticks pour la tare | 4 min |
| Double vérification du dossier de lot | 2 min |
| Liste de contrôle + début de production | 3 min |

Le vide de ligne est une activité complexe qui nécessite de nombreuses sous-activités qui doivent être suivies dans un certain ordre.

Pour illustrer la différence entre ces quatre opérateurs, les trois opérateurs sont dédié aux tâches simples d'emballage des caisses dans les boîtes en carton, puis sur la palette, tandis que l'opérateur **X** est responsable de l'exploitation de la machine et est plus expérimenté.

En ce qui concerne le vide de ligne, l'opérateur **X** effectue toutes les activités qui nécessitent une plus grande responsabilité, tandis que les trois d'autre opérateurs effectue celles qui sont plus faciles à gérer. De plus, certaines activités sont très simples et prennent peu de temps pour être terminées, tandis que d'autres peuvent durer jusqu'à une demi-heure.

Une fois que nous avons définie la cause racine qui affecte l'efficacité de la ligne de stick-pack, nous identifions, en utilisant le diagramme d'Ishikawa, toutes les raisons possibles qui peuvent avoir un impact sur la durée d'un vide de ligne. La Figure 4.6 illustre le diagramme.

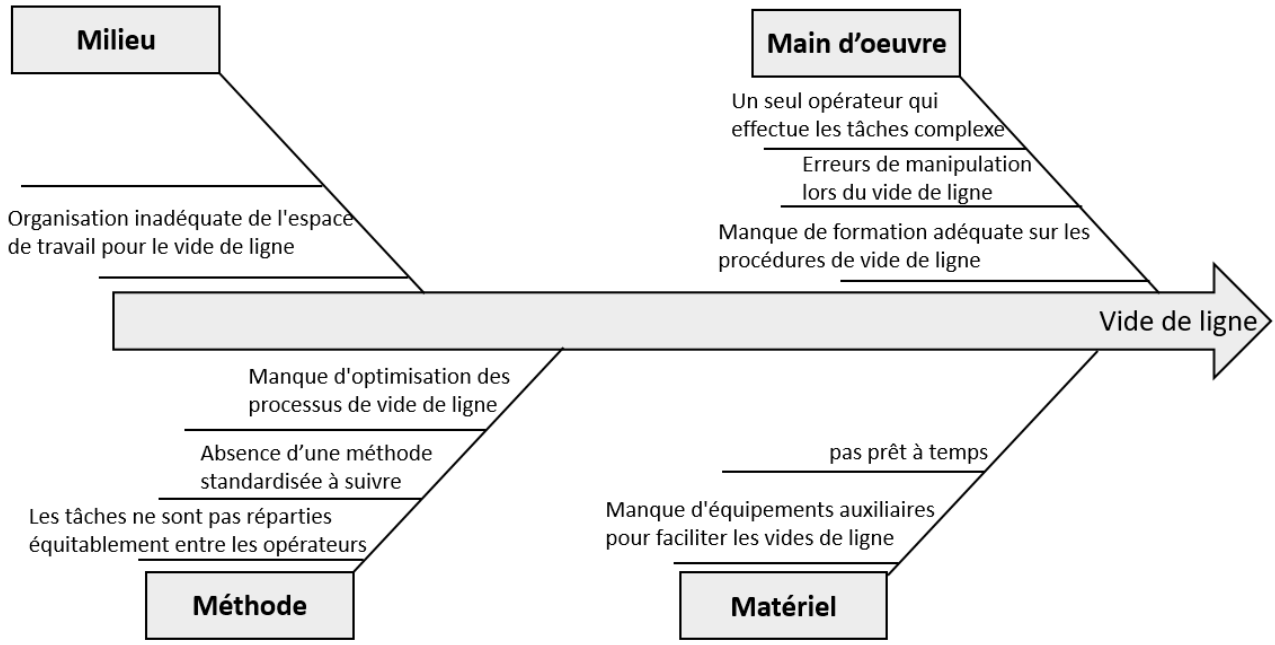



Fig. 4.6 : Diagramme d'Ishikawa (5 M) pour le vide des ligne

### 4.4.2 Situation des interventions aux pannes

Après qu'une panne survient, le chef de ligne sollicite l'intervention du technicien de maintenance. Ce dernier procède alors à un diagnostic approfondi de la panne, en utilisant les outils et équipements appropriés. Si l'intervention nécessite des outils qui ne sont pas disponibles à ce moment-là, il faudra perdre du temps à les apporter. Dans le cas où une pièce de rechange est nécessaire, une demande de livraison est effectuée. Une fois tous les éléments en place, le technicien intervient pour résoudre la panne et rétablir le bon fonctionnement du système. le problème dans ce processus qu'il n'a pas un moyenne professionnel utiliser pour les flux d'information entre les services, comme il n'existe pas des demandes d'intervention sur papier et a la fin de chaque intervention il n'a pas un système pour faire un historique machine.

En procédant à une surveillance minutieuse des incidents de pannes et en appliquant la méthode du diagramme d'Ishikawa (Figure 4.7), nous pouvons visualiser systématiquement les multiples facteurs susceptibles de prolonger la durée des pannes. Ce processus permet d'identifier avec précision les domaines critiques nécessitant une attention particulière afin d'améliorer l'efficacité opérationnelle et de réduire les périodes d'arrêt non planifiés. Grâce à cette approche analytique, nous sommes en mesure de disséquer les causes racines potentielles, telles que les problèmes de maintenance inadéquats, les défaillances de l'équipement ou les erreurs humaines, qui peuvent tous contribuer aux temps d'arrêt prolongés.

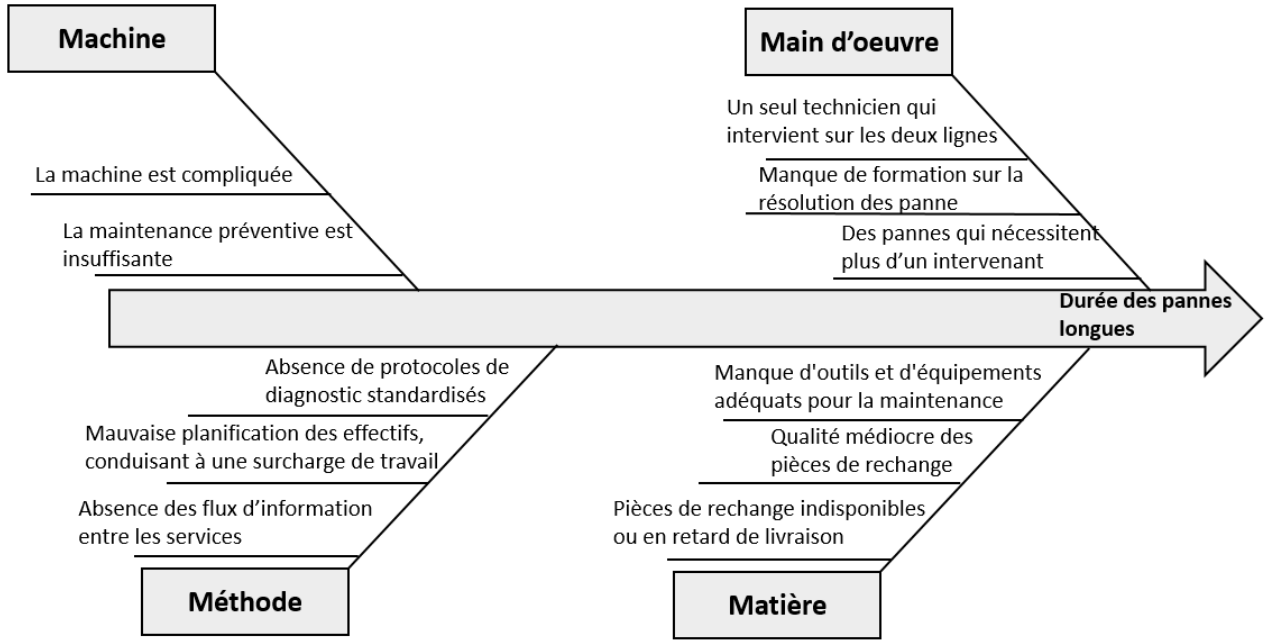



Fig. 4.7 : Diagramme d'Ishikawa (5 M) pour la longue durée des pannes.

## 4.5 La phase améliorer

Une fois que les causes potentielles qui affectent la durée du vides de ligne ont été listées, une phase d'amélioration suggérer, en prenant en compte celles qui ont été mises en évidence lors des visites effectuées dans la zone de production, ainsi que celles qui ont été identifiées grâce aux le diagramme d'Ishikawa.

### 4.5.1 Réduire le temps de vide de ligne

Une des solutions proposée est la réduction du temps de vide de ligne. Cette solution comprend trois éléments.

a. **Résoudre certaines des causes liées à la méthode** (Diagramme d'Ishikawa). Actuellement, la répartition des tâches est très inégale entre les opérateurs, il est conseiller d'établir une nouvelle procédure standard. Pour concevoir cette procédure, une liste des activités impliquées dans les vide de lignes est à établir.

b. **Réduire la durée de certaines des activités les plus critiques.** Les activités de fermeture de la documentation du lot en cours et d'ouverture de la documentation du lot suivant sont les plus chronophages. Afin de réduire le temps passé sur ces activités qui est fait juste par un seule opérateur c'est conseillé de faire une formation pour les autres opérateurs pour qu'ils Puissent se partager le remplissage de document, une autre solution si possible introduises un nouveau dossier de lot beaucoup plus facile à remplir.
   Cela réduirait la durée de ces activités, mais les rendrait également plus robustes face à la variabilité de la vitesse d'écriture.
   Cette nouvelle procédure devrait offrir une répartition plus équitable des tâches, de sorte que le goulot d'étranglement actuel dans un seule opérateur pourrait être

moins occupé et transférer les activités au autres opérateurs réduisant ainsi le temps total de vide de ligne. De plus, tous les opérateurs seraient en mesure d'effectuer de nombreuses activités.

c. **Résoudre les problèmes généralement liés à la formation des opérateurs.** Elle vise à résoudre les problèmes généralement liés à la formation des opérateurs et vise à leur permettre d'être plus compétents et d'agir de manière plus efficace. Actuellement, bien que la plupart des opérateurs soient hautement qualifiés et formés pour effectuer leurs tâches sur la ligne, par exemple ce qui concerne la division, l'assemblage et le montage de bobine de vignette pour l'opérateur X fait ces trois taches a la fois avant de commencer la production et cela prend environ 14 min, par contre l'opérateur Y il a ça manière de le faire qui consiste de deviser la bobine ensuite il monte la un partie de la bobine et ça prend environ 8 min , la deuxième partie de la bobine il le monte durent la production sachant que la machine ne d'arrêt pas alors c'est un temps de changement de bobine masquer puisque il se fait durent la production ça permet de gagner de 6 min juste dans la tache de la bobine dans le vide de ligne c'est pour ça il faut prendre en considération la méthode de l'opérateur Y pour le standardiser.

### 4.5.2 Les solutions proposées pour réduire le temps des interventions

Les propositions de solutions permettant de réduire les temps d'intervention consiste en l'implantation de la maintenance autonome qui représente le deuxième pilier de la TPM et la constitution d'un historique informatisé.

a. **La maintenance autonome**
Elle permet aux opérateurs de contribuer au rendement optimal de l'équipement et de le pérenniser. En plus, elle les rend responsables de la qualité de ces mêmes équipements. La maintenance autonome est conduite en 7 étapes comme le montre la figure (4.8).

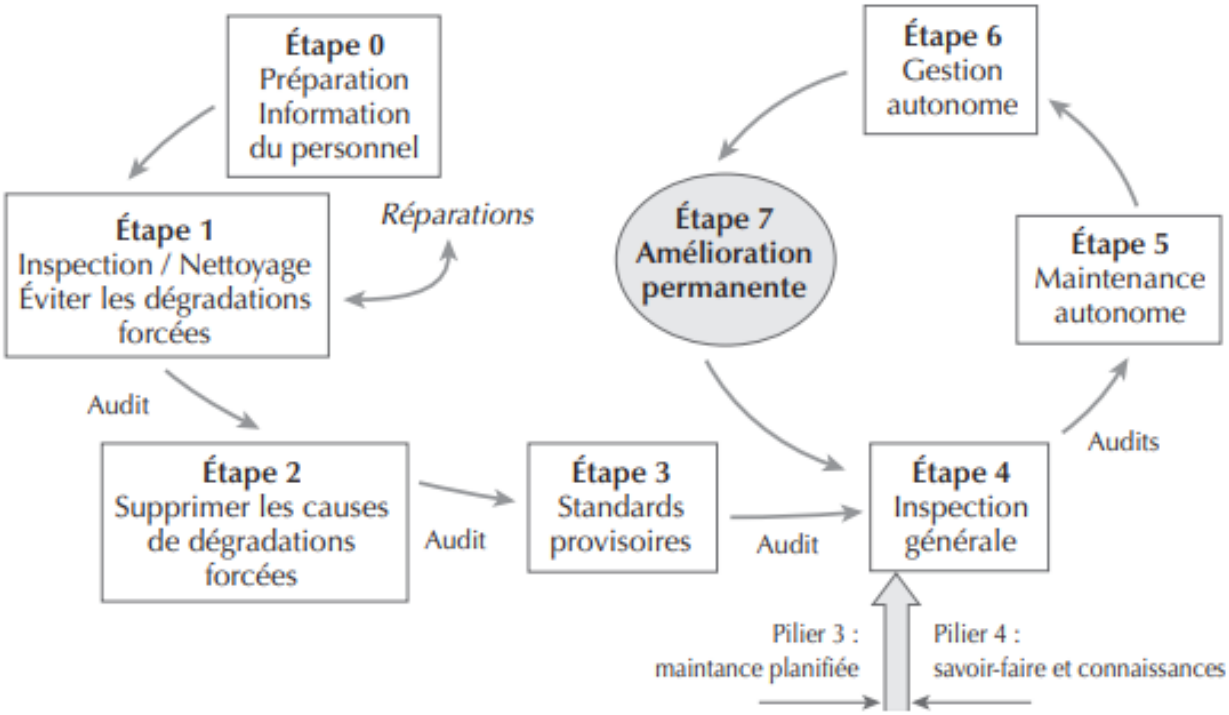



FIG. 4.8 : Les 7 étapes de la maintenance autonome [15]

**Étape 0 :** Rappeler les principes de la TPM– Réactiver la sensibilisation du personnel – Préparer l'étape 1.
**Étape 1 :** Inspecter/Nettoyer – Détecter les anomalies – Les réparer.
**Étape 2 :** Supprimer les causes premières d'anomalies – Protéger la machine si on ne sait pas encore faire autrement – Faciliter le nettoyage, la lubrification, le contrôle de la boulonnerie – Améliorer l'accès aux endroits difficiles pour toutes ces opérations.
**Étape 3 :** Établir avec les opérateurs et les techniciens de maintenance les standards provisoires de nettoyage/inspection, de lubrification et de contrôle de la boulonnerie – Les mettre en œuvre.
**Étape 4 :** Définir les inspections préventives et les interventions pouvant être réalisées par les opérateurs – Former les opérateurs (connaissances de base et techniques d'inspection) pour les rendre capables d'assurer ces inspections de routine.
**Étape 5 :** Mettre en œuvre la maintenance autonome (inspections suivant les standards et réparations des anomalies) – Rendre les opérateurs responsables de l'appréciation des standards.
**Étape 6 :** Étendre et optimiser la maintenance autonome – Les opérateurs gèrent eux-mêmes les performances de leur machine, la disponibilité des outillages et des consommables.
**Étape 7 :** Augmenter les connaissances des opérateurs pour qu'ils puissent participer à l'amélioration permanente de leur travail et à la chasse aux pertes.[15] Dans notre cas puisque la maintenance autonome n'était pas implémentée dans l'entreprise et c'est l'une de nos propositions donc nous avons réalisé des liste de contrôle pour les suivre par les opérateurs.

Par conséquent, nous avons réalisé des listes de contrôle pour que opérateurs les suivent.

**b. La constitution d'un historique informatisé** La construction d'un fichier historique informatiser (ex : utiliser une GMAO), en recensant les interventions correctives, permet une exploitation opérationnelle en fournissant des informations sur les temps passés sur les interventions, les moyens utilisés, les consommations et les coûts. Le fichier historique est généralement constitué par la saisie chronologique des bons de travail (BT) liés à un équipement. Il est essentiel d'inclure les paramètres relatifs aux microdéfaillances dans l'historique, car elles peuvent entraîner des rebuts, affectent gravement la disponibilité de manière répétitive, restent souvent invisibles en raison de leur caractère routinier et peuvent être négligées en apparence. Il est important de diagnostiquer ces microdéfaillances avec autant de soin que les pannes durables et de rechercher des améliorations, car leur négligence est souvent à l'origine de pannes plus importantes.

## Nature des informations

Ces informations sont traditionnellement relevées sur les bons de travail (BT) et les fiches d'analyses de pannes, ces informations peuvent être :

– des dates (jours et heure et/ou en unités d'usage relevées par compteur),
– l'intitulé sommaire, mais descriptif de l'intervention corrective (module ou organe siège de l'intervention corrective),
– des durées d'intervention,
– des temps d'arrêt de production,
– des imputations qualitatives le plus souvent codées,
– les noms des intervenants,
– les pièces de rechanges utilisées.

Dans notre cas, un exemple est proposé pour la saisie des informations tel présenté par la figure 4.9.

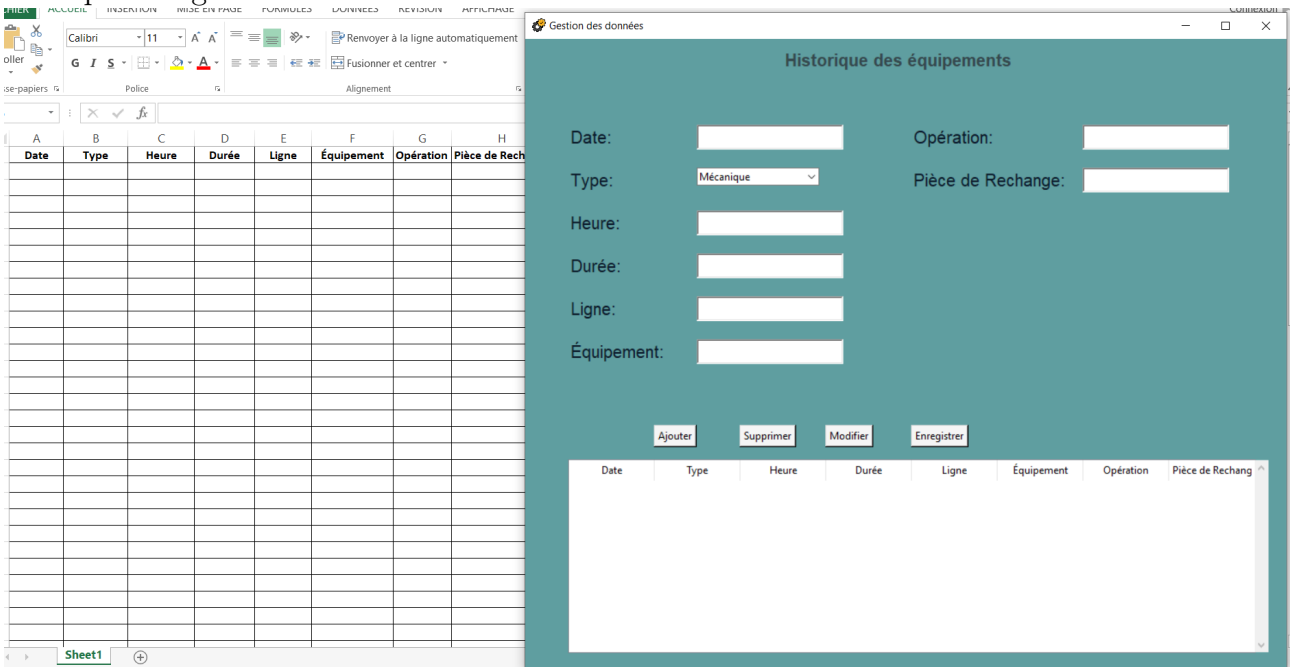



FIG. 4.9 : Exemple d'une fenêtre de saisie de données sous format de Fichier MS-Excel

## 4.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons utilisé la méthode DMAIC afin d'identifier tous les facteurs qui ont un impact négatif sur le Taux de Rendement Synthétique (TRS). Cette analyse approfondie des causes racines nous a permis de formuler des recommandations spécifiques en vue d'améliorer les performances opérationnelles et de remédier aux problèmes identifiés.

Un tableau de bord est avant tout un instrument d'aide à la décision facilitant le pilotage proactif. Il mesure la performance afin de mieux évaluer le chemin parcouru et le chemin restant à parcourir pour accéder aux objectifs de performance et présente les éléments d'appréciation pour juger de la situation.

Le chapitre suivant est dédié à la mise en œuvre d'un tableau de bord des indicateurs de performance étudié dans ce mémoire.

# Chapitre 5

# Mise en oeuvre de tableau d'un bord des KPIs de la maintenance

## 5.1 Introduction

Le chapitre suivant se concentre sur la mise en place de tableaux de bord des indicateurs clés de performance (KPI) de la maintenance au sein de la ligne de production "Stick" en utilisant Power BI. Le tableaux de bord basés sur les KPI offrent une vue claire et concise des performances de maintenance, permettant aux responsables et aux équipes de maintenance de prendre des décisions éclairées et d'identifier les domaines nécessitant une attention particulière.

Nous examinerons les différentes étapes de la mise en place d'un tableau de bord efficace, de la collecte des données pertinentes à leur préparation et à leur visualisation dans Power BI.

En utilisant des visualisations interactives telles que des graphiques, des tableaux de bord et des indicateurs de performance clés, nous pourrons identifier les tendances, les écarts et les opportunités d'amélioration, permettant ainsi une prise de décision proactive et une gestion plus efficace des activités de maintenance.

## 5.2 Présentation de Power BI

Power BI (Business Intelligence) est une plateforme d'analyse de données basée sur le cloud, qui permet d'analyser et de générer des rapports à partir d'une grande variété de sources de données. Power BI est convivial et simple, ce qui permet aux utilisateurs expérimentés et aux analystes commerciaux de l'utiliser. Power BI est à la fois mature et puissant, ce qui permet aux développeurs en intelligence d'affaires (BI) de l'utiliser dans des systèmes d'entreprise pour modéliser des scénarios et réaliser des regroupements de données complexes [16].

### 5.2.1 Composantes

Les composantes du Power BI sont :

- **Power Query :** Power Query est un outil ETL (Extraction, Transformation et Chargement) en libre-service qui s'exécute en tant que complément d'Excel. Il permet de collecter des données à partir de différentes sources, de les manipuler et de les charger dans Excel.
- **Power Pivot :** Power Pivot est un composant de modélisation de données en mémoire qui permet des agrégations et des calculs extrêmement rapides ainsi qu'un stockage de données hautement compressé. Il est utilisé pour créer un modèle de données au sein d'un classeur Excel. Il peut lui-même charger des données et, grâce à Power Query, il peut également charger des données. Power Pivot est très similaire au modèle tabulaire SSAS (SQL Server Analysis Services), qui est une version basée sur un serveur de Power Pivot.
- **Power View :** Power View est un outil de visualisation interactif qui permet de créer rapidement et facilement des visualisations des données dans des classeurs Excel. Il offre une interface glisser-déposer pour construire des visualisations de manière intuitive.
- **Power Map :** Power Map pour Excel est un outil de visualisation de données en

trois dimensions (3D) qui nous permet d'analyser les informations sous un nouvel angle. Un power map vous permet de découvrir des informations que vous ne verriez pas dans des tableaux et graphiques bidimensionnels (2D) traditionnels.

- **Power Q & A :** Q&A reconnaît les mots que vous saisissez et détermine où trouver la réponse. Q&A vous aide à formuler votre question en vous proposant des reformulations, des complétions automatiques et d'autres aides textuelles et visuelles.
- **Power BI Desktop :** Power BI Desktop met l'analyse à portée de main grâce à une création de rapports intuitive. Faites glisser et déposez le contenu exactement où vous le souhaitez sur un canevas flexible et fluide. Découvrez rapidement des tendances en explorant une vue unifiée et interactive des visualisations liées [17].

### 5.2.2 Sources de données

Les données sont au cœur de Power BI. Pour explorer les données, créer des graphiques, des tableaux de bord et poser des questions avec Q&A, toutes ces visualisations et réponses proviennent réellement d'un ensemble de données.
- Fichiers.
- Packs de contenu.
- Bases de données.

### 5.2.3 Fonctionnalités

Les fonctionnalités de Power BI sont :

- **Tableaux de bord :** Les tableaux de bord combinent plusieurs visualisations de données dans une interface unique, offrant un moyen facile de visualiser/suivre les indicateurs clés de performance.
- **Visualisations :** Les nouvelles visualisations incluent des jauges, des cartes hiérarchiques, des graphiques combinés, des graphiques en entonnoir et des cartes de remplissage.
- **Connecteurs pour les services SaaS**(Software as a Service) : Ces connecteurs permettent d'accéder à des services tels que Github, CRM, Salesforce, ERP, Marketo, Sendgrid et Zendesk.
- **Connexion en direct aux services SSAS** (SQL Server Analysis Services) :Le service Power BI basé sur le cloud permet une connexion sécurisée aux services SSAS sans avoir à déplacer les données de Microsoft SQL Server vers le cloud.
- **Power BI Designer :** Il vous permet d'importer, de modéliser les données, de créer des rapports Power BI et de les publier sans utiliser Excel.

### 5.2.4 Avantages

Les avantages de Power BI sont : - Rapports et tableaux de bord pré-construits pour les solutions SaaS.
- Mises à jour en temps réel des tableaux de bord.
- Connexion en direct à vos sources de données, sécurisée, sur site et dans le cloud.
- Exploration intuitive des données en langage naturel.
- Connexion sécurisée hybride, déploiement rapide et intégration avec les systèmes infor-

matiques existants.
- Intégration avec les produits Microsoft familiers.

## 5.3 Collecte des données

Lors de mon stage au sein de l'entreprise, ma mission consistait à collecter des données sur les pannes afin de créer une base de données efficace en vue de visualiser les indicateurs clés de performance (KPI) liés à la maintenance. Pour ce faire j'ai consulter les données de logbook (fichier historique des pannes corrective) de la ligne ou nous pouvons trouve la date de panne, l'heure, durée de panne, description brève de la panne et enfin l'action corrective effectuée, j'ai également collecté quelques données sur les cinq premiers mois de l'année 2023. Par la suite, j'ai créé un fichier Excel pour saisir et organiser les données relatives aux pannes que j'avais recueillies. Et enfin pour faire une analyse de nos données afin de la visualisation nous avons choisi logiciel **Power BI Desktop**.

## 5.4 Power BI Desktop

Power BI Desktop est un outil de création de rapports qui vous permet de créer des rapports, des requêtes, d'extraire, de transformer et de charger les données des sources de données et modéliser les requêtes.

### 5.4.1 Inteface de Power BI Desktop

Elle est conçue pour faciliter la création, la gestion et l'analyse de rapports et de tableaux de bord interactifs. Voici une description des principales composantes de l'interface de Power BI Desktop :

1 **Ruban :** le ruban affiche les tâches courantes associées aux rapports et aux visualisations ;
2 **Champs :** le volet champs nous permet de faire glisser et de déposer des éléments de requête et des filtres dans la vue Rapport, ou de les faire glisser vers la zone Filtres du volet Visualisations ;
3 **Visualisations :** le volet Visualisations nous permet de modifier les visualisations, de personnaliser les couleurs ou les axes, d'appliquer des filtres, de faire glisser des champs, etc.
4 **Pages :** la zone de l'onglet Pages en bas nous permet de sélectionner ou d'ajouter une page de rapport ;
5 **Vue Rapports** permet de créer n'importe quel nombre de pages de rapport avec visualisation
6 **Affichage des données** permet d'inspecter, d'explorer et de comprendre les données de votre modèle Power BI Desktop.
7 **Vue Relation ou Modèle** permet d'afficher toutes les tables, colonnes et relations de modèle.

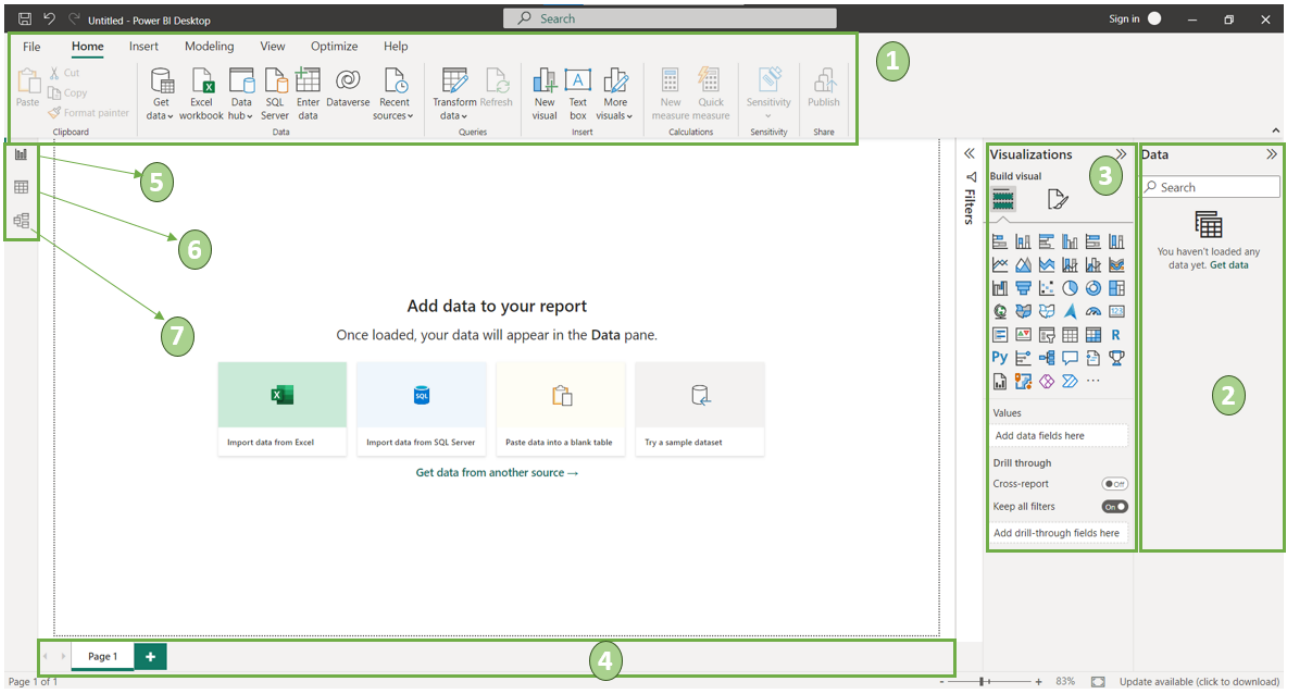



FIG. 5.1 : Interface de Power BI

### 5.4.2 Éditeur de requête

Il est possible d'importer et de nettoyer des données en travaillant avec Power BI. L'éditeur de requêtes nous permet de nous connecter à une ou plusieurs sources de données, de façonner et de transformer les données pour répondre à nos besoins, besoins de l'entreprise, puis chargez les requêtes dans le modèle dans Power BI Desktop.

Cette étape ci-dessous donne un aperçu du travail avec les données ainsi que la connexion aux sources de données, façonnant les données dans l'éditeur de requête.

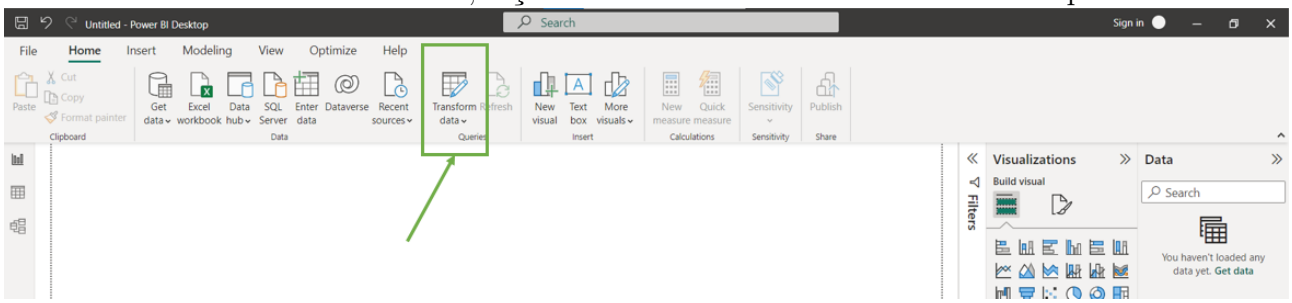



FIG. 5.2 : Choix de la source de données Fichier MS-Excel.

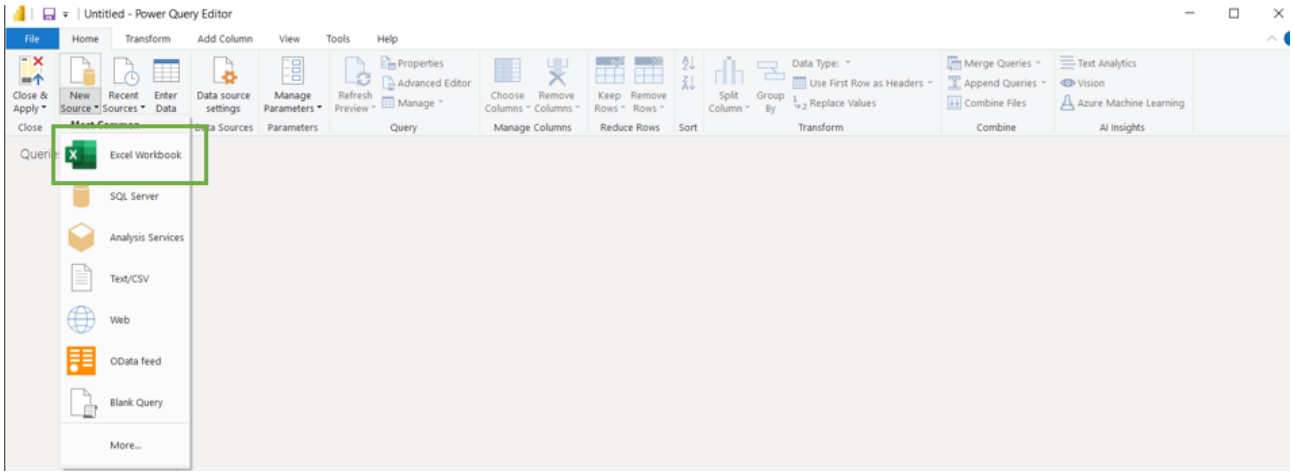



FIG. 5.3 : Volet Choisir la source de données (MS-Excel)

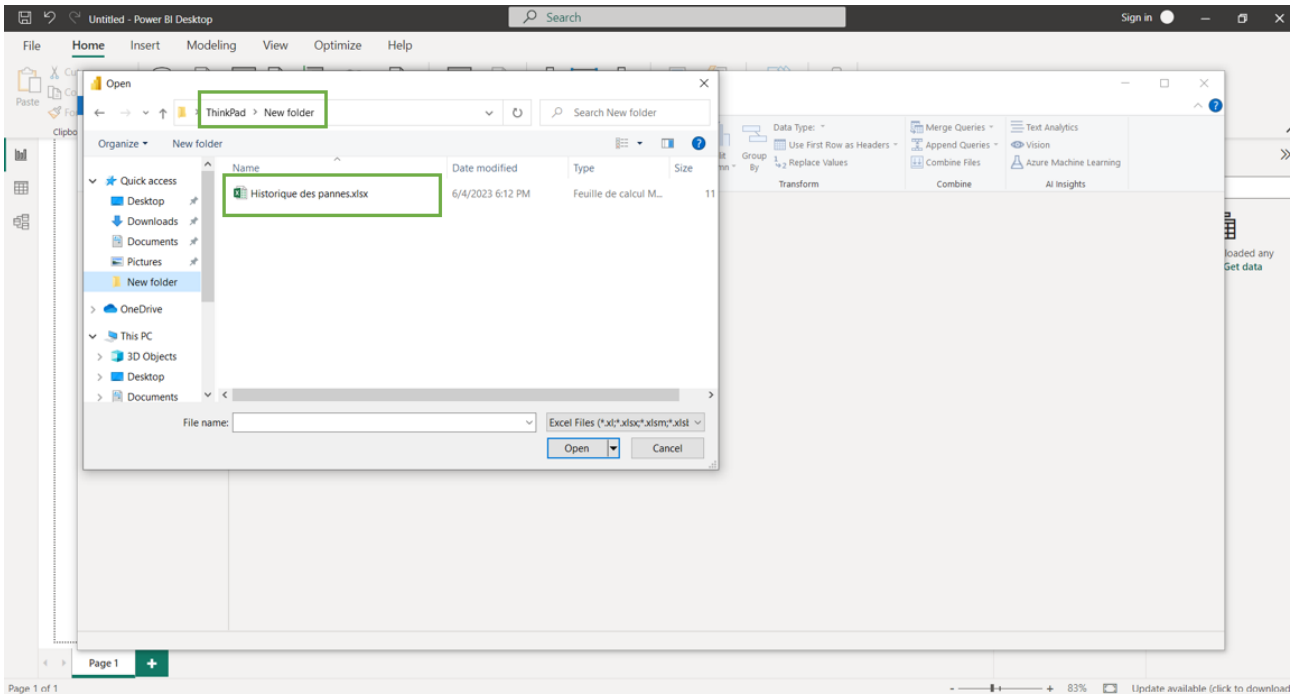



FIG. 5.4 : Importation de fichier historique MS-Excel

Nous pouvons voir un écran de navigation pour sélectionner les feuilles sur le classeur Excel. Dans notre cas, nous devons sélectionner le tableau 1.

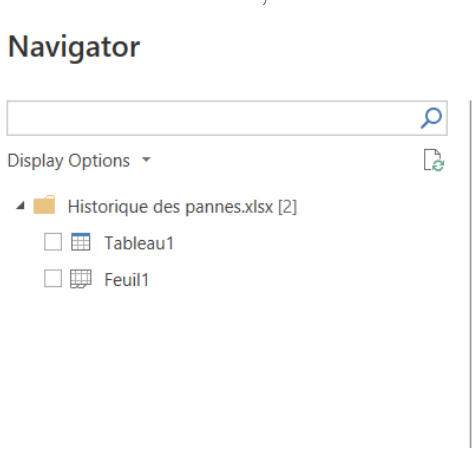



FIG. 5.5 : Onglet Navigateur

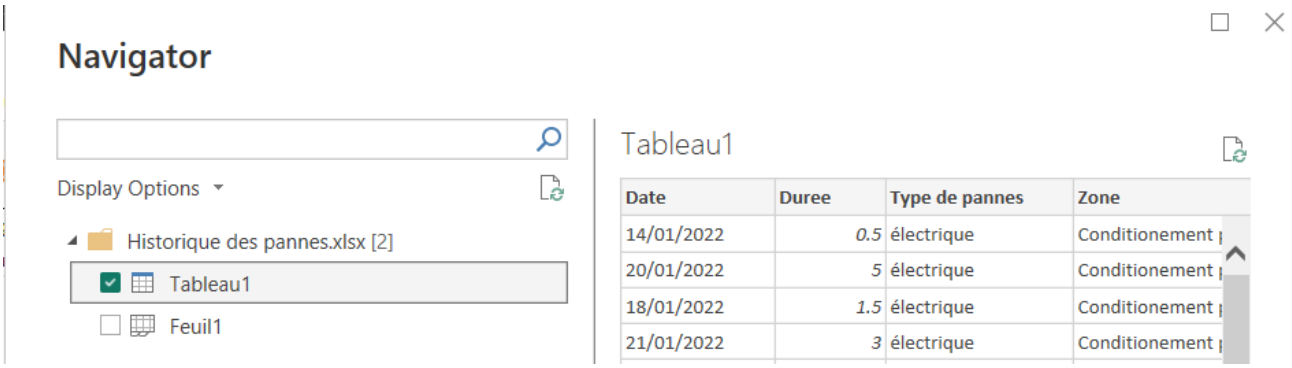



FIG. 5.6 : Onglet Importation de Tableau 1

Une fois que nous avons cliqué sur ok, Power BI importera avec succès le fichier. s'il y a des erreurs apparaîtront alors prêtes à être analysées et corrigées, dans notre cas nous n'avons pas d'erreurs ou quelque chose à ajouter ou à supprimer.




FIG. 5.7 : Visualisation des données

### 5.4.3 Mesures calculées à l'aide de DAX

En règle générale, les mesures servent à effectuer des calculs d'agrégats, tels que la somme ou la moyenne d'une colonne. Les mesures sont calculées lors de notre requête, ce qui implique qu'elles ne sont pas stockées dans notre base de données, mais qu'elles utilisent la puissance de traitement pour exécuter la requête au moment où nous la demandons.

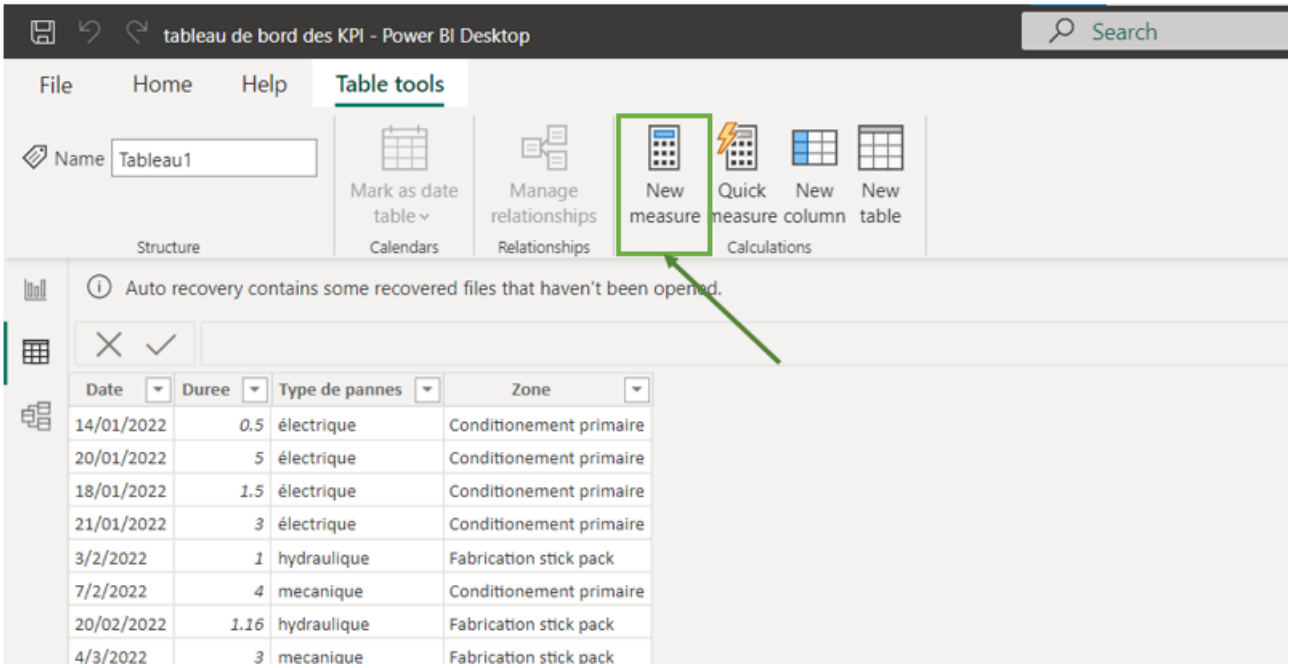



FIG. 5.8 : Création de nouvelle mesure.

Insertion de l'équation de la MTBF dans la barre des équations.

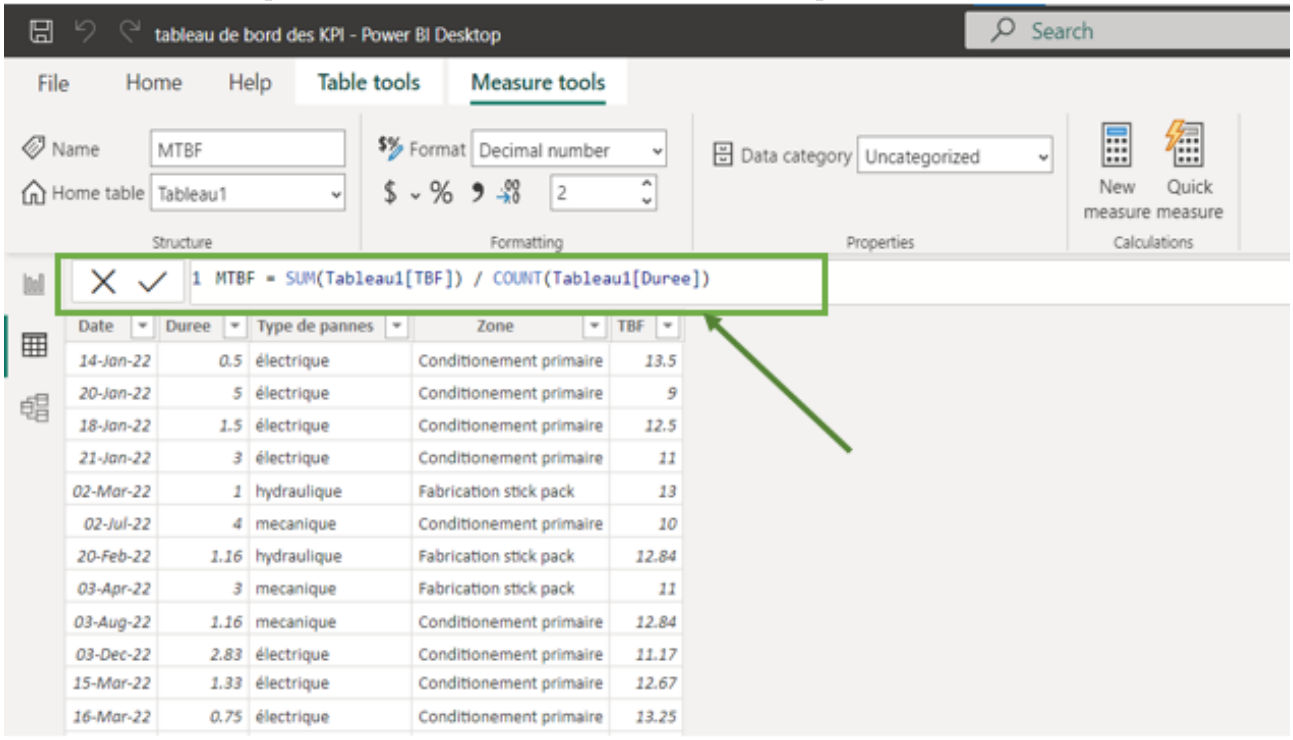



FIG. 5.9 : Insertion de l'équation de la MTBF

### 5.4.4 Génération de rapports et de visualisations

Avec les thèmes de rapport, nous pouvons appliquer des modifications de conception à l'ensemble de notre rapport, telles que l'utilisation de couleurs souhaiter. Modifier les jeux d'icônes ou appliquer une nouvelle mise en forme visuelle par défaut. Lorsque nous appliquons un thème de rapport, tous les visuels de notre rapport utilise les couleurs et la mise en forme du thème sélectionné.

Créons notre première carte. La première étape pour tracer tout type de tracé dans Power BI consiste à sélectionner le modèle/type de tracé dans le panneau Visualisation.

Nous cliquons sur l'icône de la carte dans le panneau de visualisation et faisons glisser les colonnes vers le champ Axis respectif. Nous voulons voir la valeur du MTBF. Après avoir fait glisser la colonne vers le champ respectifs, nous obtenons après qu'on a effectuée quelque changement de design et les couleur notre première carte.

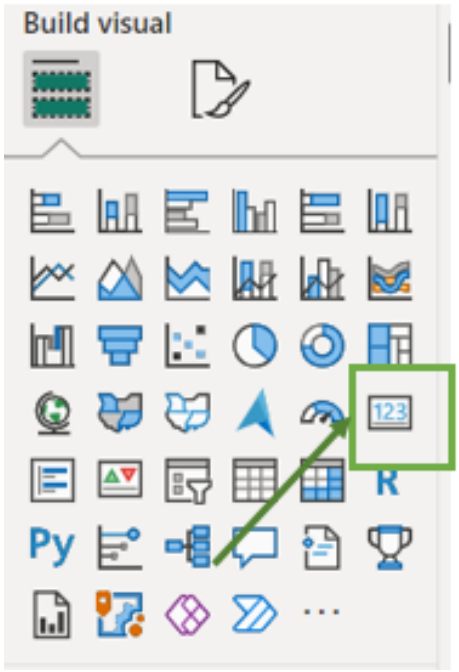



FIG. 5.10 : Choix de notre visualisation

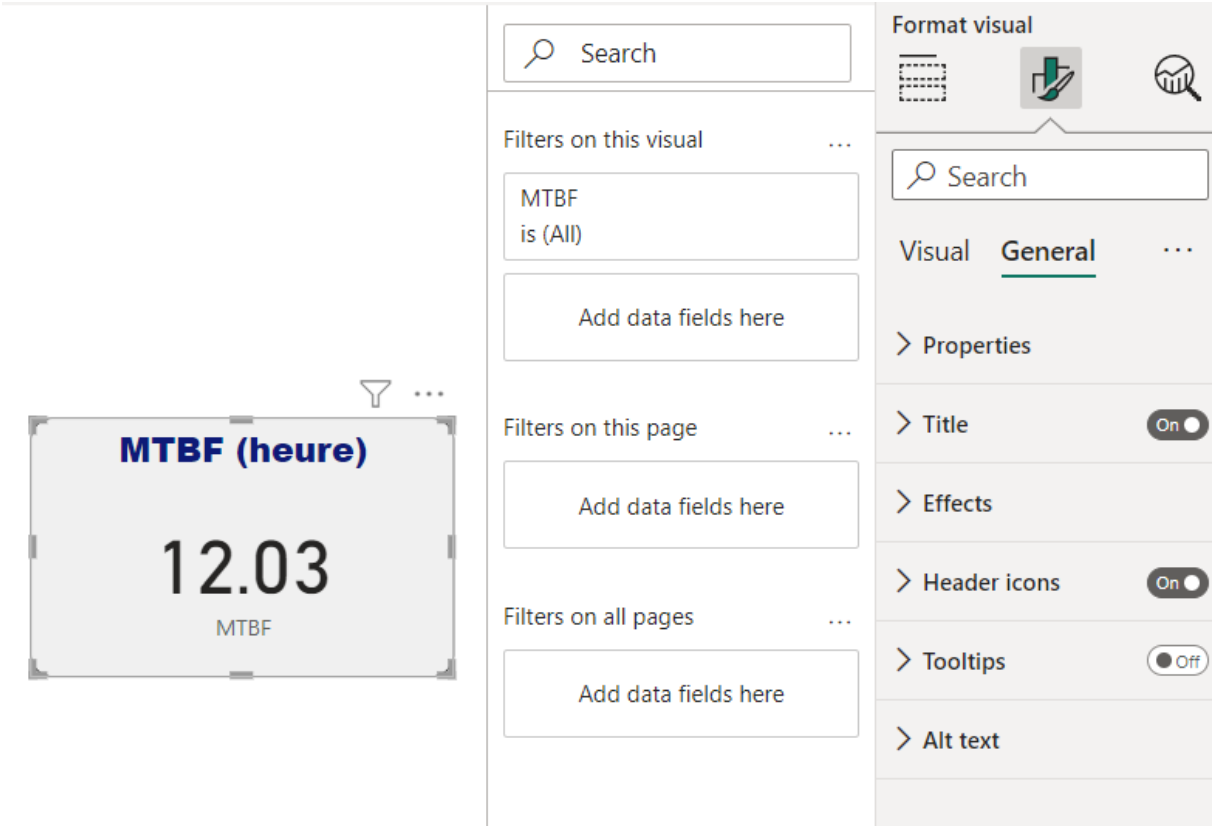



FIG. 5.11 : Visualisation de la MTBF

### 5.4.5 Filtrage de données

Les filtres sont un moyen puissant de décomposer et d'afficher des parties spécifiques des données. Vous accédons au panneau Filtres en clinquant sur Filtres puis nous pouvons filtrer les données pour des visualisations individuelles, des pages et pour l'ensemble du rapport.

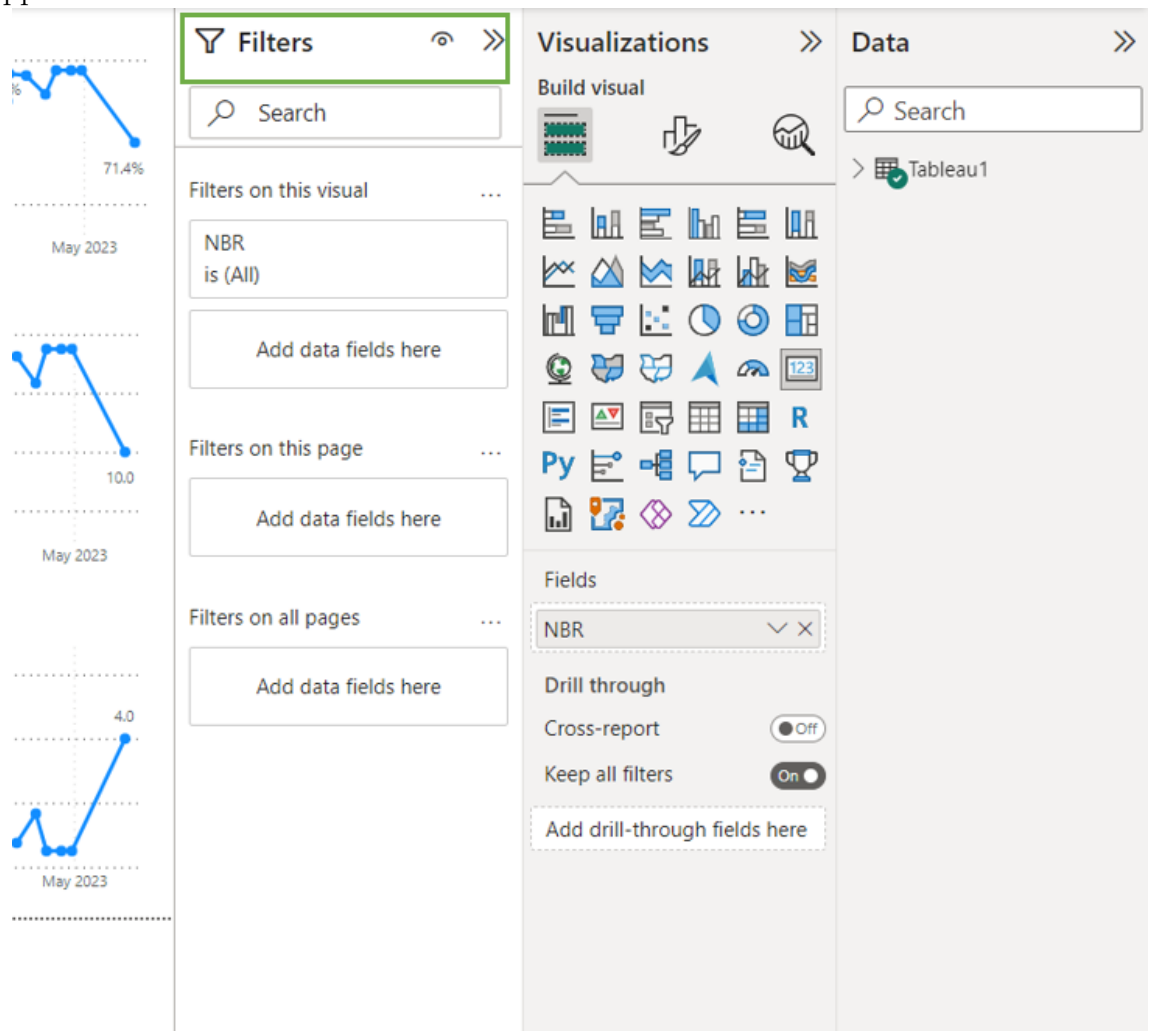



FIG. 5.12 : Filtration des données

Après avoir procédé aux étapes similaires d'ajout des nouvelles mesures et colonnes afin de calculer la disponibilité, le temps moyen de réparation (MTTR) et le temps moyen entre les pannes (MTBF), une sélection a été effectuée pour représenter ces données à l'aide de graphiques en courbes et de cartes en vue de leur visualisation.

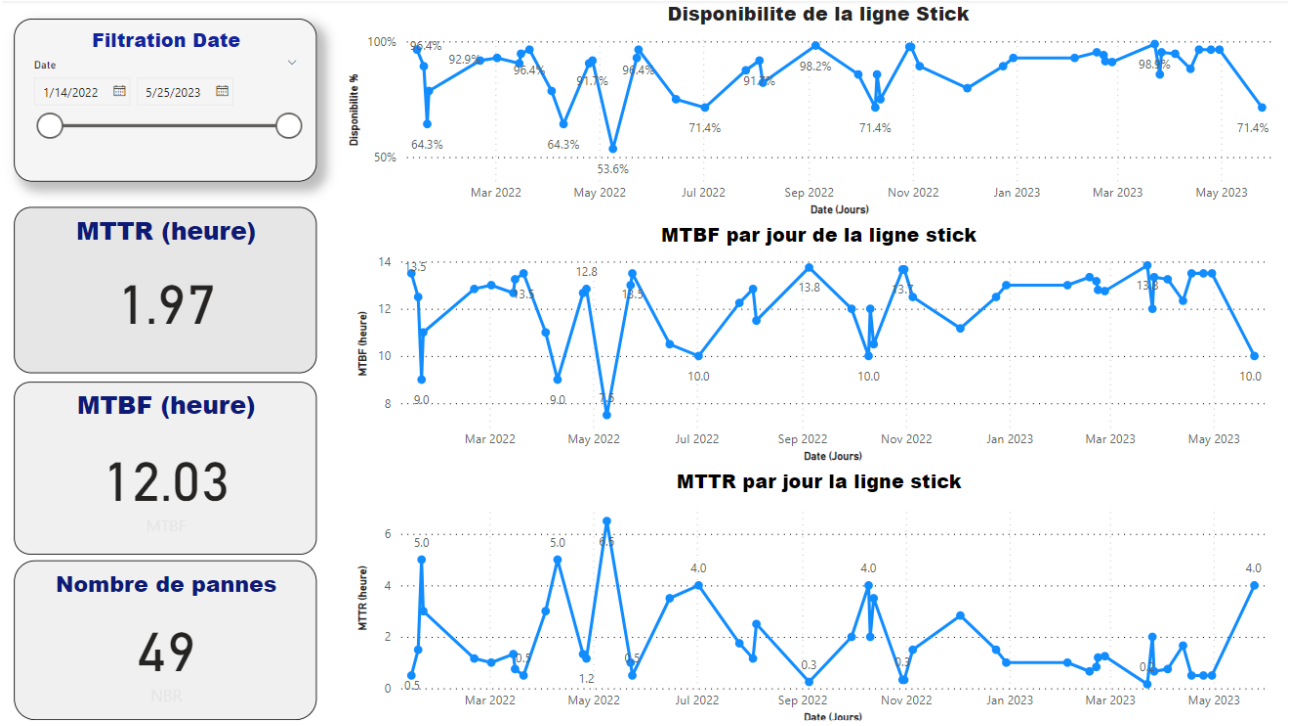



FIG. 5.13 : Visualisation de tableau de bord des KPIs de maintenance

## 5.5 Conclusion

Ce chapitre nous avons présenté les étapes clés de ce processus, en commençant par la collecte et la préparation des données pertinentes, puis en passant à la création des mesures et des visualisations appropriées.

L'utilisation de Power BI permet d'obtenir une visualisation claire et interactive des indicateurs clés de performance de la maintenance. Les tableaux de bord dynamiques offrent une vue globale des performances, facilitant ainsi la prise de décision informée et la gestion proactive des activités de maintenance. La capacité de filtrer et de creuser les données permet une analyse approfondie et une identification rapide des tendances, des anomalies et des problèmes potentiels.

# Conclusion et perspectives

# Conclusion et perspectives

Dans le cadre de ce travail, nos recherches ont porté sur l'amélioration des mesures de performance et la mise en œuvre d'un tableau de bord au sein de la société pharmaceutique Biopharm. Notre objectif principal est de créer un tableau de bord efficace pour mesurer, analyser et suivre les performances des entreprises, en analysant différents aspects des indicateurs de performance et des stratégies d'amélioration du Taux de rendement synthétique (TRS).

Grâce à une analyse détaillée du système et à l'application de la méthodologie DMAIC, nous avons identifié les principales causes de la perte de temps de vide de la ligne et du temps de maintenance affectant sur le TRS de la ligne de production. En quantifiant la situation, nous avons proposé des solutions concrètes pour améliorer le TRS et élaboré un plan d'action précis. L'utilisation du logiciel Power BI nous a permis de créer un tableau de bord, fournissant une visualisation claire des indicateurs clés de performance liés à la maintenance. Ce tableau de bord aidera l'entreprise à surveiller les performances, à prendre des décisions éclairées et à améliorer continuellement ses processus.

En conclusion, l'adoption d'un tableau de bord efficace et la mise en œuvre de stratégies d'amélioration des indicateurs de performance sont essentielles pour accroître l'efficacité et la compétitivité de Biopharm. Cette étude a fourni des recommandations pratiques pour améliorer la performance de la ligne de production et soutenir la prise de décision basée sur des données pertinentes.

Enfin, l'adoption d'un tableau de bord efficace et la mise en œuvre de stratégies d'amélioration des indicateurs de performance sont essentielles pour accroître l'efficacité et la compétitivité de Biopharm. Cette étude a fourni des recommandations pratiques pour améliorer la performance de la ligne de production et soutenir la prise de décision basée sur des données pertinentes. Cependant, il convient de souligner que cette étude présente certaines limites et ouvre la voie à de nouvelles perspectives. L'implémentation de la maintenance autonome (deuxième pilier de la TPM) ainsi que l'intégration d'autres indicateurs clés de performance de la maintenance pourraient être envisagées pour renforcer davantage les résultats obtenus. Aussi, l'implantation des autres piliers de la TPM représente une autre perspective à ce modeste travail.

# Bibliographie


[1] François Monchy et Jean-Pierre Vernier. *Maintenance-3e éd.: Méthodes et organisations*. Hachette, 2010.

[2] Norme AFNOR NF EN. "13306," Terminologie de la maintenance"(ancienne norme NF X60-010), Ed". In : *Afnor, Paris* (2001).

[3] X FD. "60-000, Norme Française". In : *Fonction Maintenance. AFNOR* (2002).

[4] RAIHANA GUELAI et AYA BRIK. "Contribution à la maintenance d'une machine industrielle « convoyeur à bande »". Thèse de doct. 2022.

[5] Esi Saari. "KPI framework for maintenance management through eMaintenance : Development, implementation, assessment, and optimization". Thèse de doct. Luleå University of Technology, 2019.

[6] Jean-Philippe Gaudron. "C. Lemoine. Se former au bilan de compétences. Paris : Dunod". In : *L'orientation scolaire et professionnelle* 39/2 (2010), p. 287-293.

[7] Association française des ingénieurs et techniciens d'estimation et de planification (Paris). *Dictionnaire de management de projet : plus de 1400 termes français définis et analysés, avec leur équivalent en anglais, table de correspondance français, anglais, allemand, espagnol, portugais, ukrainien, russe, 15 graphes d'enchaînement des termes, 43 figures*. Afnor, 2000.

[8] José Roberto Díaz-Reza, Jorge Luis García-Alcaraz et Valeria Martínez-Loya. "Impact Analysis of Total Productive Maintenance". In : *Impact Analysis of Total Productive Maintenance. https ://doi. org/10.1007/978-3-030-01725-5* (2019).

[9] "Introduction to TPM : total productive maintenance.(Translation)". In : *Productivity Press, Inc., 1988,* (1988), p. 129.

[10] Timo Rautio et Antti Järvenpää. "Overall Equipment Efficiency Measurement System Based on Raspberry Pi". In : *IOP Conference Series : Materials Science and Engineering*. T. 964. 1. IOP Publishing. 2020, p. 012013.

[11] Pascal Roques. *SysML par l'exemple-Un langage de modélisation pour systèmes complexes*. Editions Eyrolles, 2011.

[12] Claire Costello et Owen Molloy. "Towards a Semantic Framework for Business Activity Monitoring and Management." In : *AAAI spring symposium : AI meets business rules and process management*. 2008, p. 17-27.

[13] Mohammad Alkiayat. "A practical guide to creating a Pareto chart as a quality improvement tool". In : *Global Journal on Quality and Safety in Healthcare* 4.2 (2021), p. 83-84.

[14] Jean-Marc Gallaire. *Les outils de la performance industrielle*. Editions Eyrolles, 2008.

[15] Jean Bufferne. "Le guide de la TPM". In : *Editions d'organisation* (2006).

[16] Devin KNIGHT et al. *Microsoft Power BI Quick Start Guide : Bring your data to life through data modeling, visualization, digital storytelling, and more*. Packt Publishing Ltd, 2020.

[17] Adam ASPIN. *Pro Power BI Desktop*. Springer, 2016.

# Annexes

# Annexe A

## Les niveaux de la maintenance

Il existe 5 niveaux de maintenance, du plus simple au plus complexe. Chaque niveau a ses propres actions de maintenance correctives et préventives.

- La maintenance de 1er niveau correspond aux interventions simples, nécessaires et réalisées sur des éléments facilement accessibles. Ces opérations ne nécessitent ni démontage ni ouverture de l'équipement et peuvent être réalisées par l'opérateur lui-même ou par un opérateur non spécialisé.
  Seules quelques pièces de rechange ou consommables sont utilisées pour ces opérations. Il n'y a pas de risque particulier pour la sécurité si les instructions essentielles sont disponibles, par ex. sur un manuel ou des instructions visuelles.
- La maintenance de niveau 2 correspond aux interventions les moins complexes, dont les procédures sont simples à suivre. De plus, le remplacement des pièces lors de ces opérations ne nécessite pas le démontage global des équipements concernés.
  Ces tâches doivent être effectuées par un technicien qualifié ayant suivi une formation sur la sécurité et les risques. Par conséquent, ils sont généralement effectués par un technicien de qualification moyenne.
- La maintenance de niveau 3 correspond à des interventions considérées comme complexes. Ces interventions doivent donc être précédées d'un diagnostic et d'une identification. Elles peuvent être réalisées sur site ou dans un atelier de maintenance, et doivent prendre en compte l'équipement dans son ensemble, car la modification d'un élément peut avoir des conséquences sur son fonctionnement général.
  Les opérations d'entretien de niveau 3 doivent être effectuées par des techniciens spécialisés utilisant les outils indiqués dans les instructions d'entretien de la machine.
- Les opérations de maintenance de niveau 4 sont complexes et d'une grande importance, nécessitant une expertise technique particulière.
  Ils doivent donc être réalisés par un technicien ou une équipe de techniciens spécialisés ayant une qualification spécifique, et supervisés par un responsable spécialisé.
  Ces interventions sont réalisées dans des ateliers disposant d'outils adaptés, de documentation et de bancs de mesure.
- La maintenance de niveau 5 regroupe les actions complexes réalisées par le constructeur du matériel ou par une société agréée par lui. Les actions à effectuer sont similaires aux actions de fabrication.
  Des exemples d'interventions de maintenance de niveau 5 comprennent la reconstruction ou la réparation d'équipements ou la mise en conformité d'équipements avec de nouvelles réglementations.

# Annexe B
## Check-list de la maintenance autonome

**Maintenance Autonome (MA)**

**Ligne:** Stick-Pack **Zone:** Fabrication **Equipement:**

| Partie | Standard | Méthode | Outil | Durée |
|---|---|---|---|---|
| A-1 | jauge à huile, quantité connue | | – | 30 sec |
| A-2 | - Bruit anormal<br>- Surchauffe | | – | 2min |
| B | jauge à huile, quantité connue | | – | 1min |
| C | Vérifiez le joint s'il n'est pas coupé | | – | 2min |
| D | - Bruit anormal<br>- Surchauffe | | – | 2min |
| E | fonctionnement de capteur | | – | 2min |

Contrôle visuel écouter ressentir



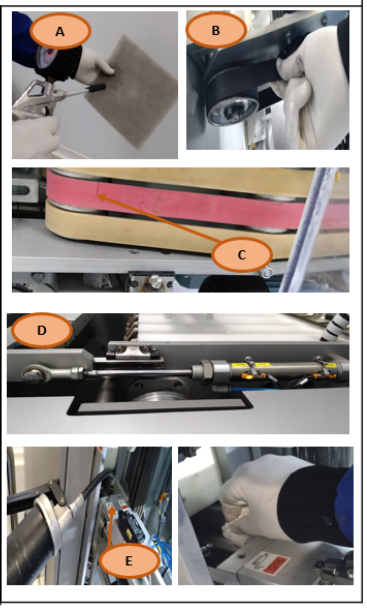

**B.1** Check-list de la maintenance autonome de la zone de fabrication

**Maintenance Autonome (MA)**

**Ligne:** Stick-Pack **Zone:** Conditionnement secondaire **Equipement:**

| Partie | Standard | Méthode | Outil | Durée |
|---|---|---|---|---|
| A | Nettoyage des filtres d'aire | | Air comprimé | 2min |
| B | Vérification des courroies | | – | 2min |
| C | Vérification des courroies | | – | 2min |
| D | lubrification des vérins | | outil de lubrification | 3min/ vérin |
| E | Graissage des points de [G01- G12] | | Outil de graissage | 1min/ point |
| F | Nettoyage après graissage des points | | Outil de nettoyage | 1min/ point |

Une intervention préventive




**B.2** Check-list de la maintenance autonome de conditionnement secondaire

# Résumé

Ce mémoire consiste à améliorer les indicateurs clés de performance (KPI) relatifs à la maintenance industrielle d'une ligne de production de stick-packs. La démarche proposée s'effectue en deux étapes. La première étape correspond à une analyse fonctionnelle à l'aide de SysML (langage de modélisation de système) pour comprendre le fonctionnement du système étudié. La seconde étape se résume en l'application de la méthode DMAIC (Définir, Mesurer, Analyser, Améliorer, Contrôler) en utilisant divers outils tels que les diagrammes de Pareto et Ishikawa pour identifier les causes profondes de l'impact du taux de rendement synthétique (TRS).

Pour une meilleure prise de décision, un tableau de bord est créé afin de visualiser ces indicateurs clés de performance (KPI).

---

**Mots clés :** Maintenance industrielle, Indicateurs clés de performance (KPI), La méthode DMAIC, Analyse fonctionnelle, Taux de rendement synthétique (TRS), TPM, Maintenance Améliorative.

---

# Abstract

This thesis consists in improving the key performance indicators (KPI) relating to the industrial maintenance of a production line of stick-packs. The proposed approach is carried out in two steps. The first step corresponds to a functional analysis using SysML (system modeling language) to understand the functioning of the studied system. The second step is summarized in the application of the DMAIC method (Define, Measure, Analyze, Improve, Control) using various tools such as Pareto and Ishikawa diagrams to identify the root causes of the impact of the synthetic rate of return (TRS). For better decision-making, a dashboard is created to visualize these key performance indicators (KPIs).

For better decision-making, a dashboard is created to visualize these key performance indicators (KPIs).

---

**Keywords :** Industrial maintenance, Key performance indicators (KPI), The DMAIC method, Functional analysis, Overall equipment effectiveness (OEE), TPM, Improved maintenance.

---

# ملخص

تتكون هذه الأطروحة من تحسين مؤشرات الأداء الرئيسية (KPI) المتعلقة بالصيانة الصناعية لخط إنتاج العبوات اللاصقة. يتم تنفيذ النهج المقترح في خطوتين. تتوافق الخطوة الأولى مع تحليل وظيفي باستخدام SysML (لغة نمذجة النظام) لفهم أداء النظام المدروس. تتلخص الخطوة الثانية في تطبيق طريقة DMAIC (تحديد ، قياس ، تحليل ، تحسين ، تحكم) باستخدام أدوات مختلفة مثل مخططات باريتو وإيشيكاوا لتحديد الأسباب الجذرية لتأثير معدل العائد التركيبي .(TRS)

لاتخاذ قرارات أفضل ، يتم إنشاء لوحة معلومات لتصور مؤشرات الأداء الرئيسية .(KPIs)

---

**كلمات مفتاحية :** الصيانة الصناعية ، مؤشرات الأداء الرئيسية (KPI) ، طريقة DMAIC ، التحليل الوظيفي ، معدل العائد التركيبي (TRS) ، TPM ، تحسين الصيانة.

---