



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-

**Optimisation des Processus de Production :  
Réduction des Temps de Changement de  
Format de la Machine OPTIMA par  
l'Approche SMED  
Cas d'étude SARL HAYAT DHC**

Réalisé par

**BRAHIM Abderraouf**

**Les membres de Jury :**

REZGUI Wail	Président	MCB
MOHAMADI Said	Examineur	MAA
SALHI Nedjma	Encadrante	MCB

**Alger, le 30 / 06 /2024**

**Année universitaire 2023 – 2024**

## **Dédicaces**

À mes chers parents, dont le soutien indéfectible et l'amour inconditionnel ont été le moteur de mon parcours académique. Vos encouragements m'ont permis de persévérer dans les moments de doute et d'atteindre mes objectifs avec détermination. Ce travail est le fruit de votre dévouement et de vos sacrifices, et je vous en suis profondément reconnaissant.

À mes chers frères, mes compagnons de jeu, mes confidents et mes héros. Merci d'être les piliers sur lesquels je peux toujours compter.

À mes proches, tout le groupe Bouraoui Land, Ridha, Slimane, Anis, Badis, Ferial, Sarah, Amina, Nahla, Nesrine, votre amitié m'a apporté du réconfort dans les moments de stress et a rendu cette aventure plus enrichissante et mémorable.

Avec une reconnaissance infinie et une profonde gratitude,

**Abderraouf**

# Remerciements

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

Tout d'abord, je remercie chaleureusement ma promotrice de mémoire, Mme.SALHI, pour son encadrement, ses précieux conseils et son soutien constant tout au long de ce projet. Son expertise et ses encouragements ont été essentiels à l'accomplissement de ce travail.

Je remercie également l'ensemble de l'équipe de l'entreprise SARL HAYAT DHC pour leur accueil et leur coopération. Leur disponibilité, leur patience et leurs précieux retours d'expérience ont grandement enrichi cette étude. Un merci particulier à mon encadrant M.HADDOUNE Youcef, à M.KEBBAB Sofiane et à M.CHERIF Ismail pour m'avoir fourni les ressources nécessaires et pour m'avoir aidé à comprendre les processus internes. Ainsi, ils ont partagé avec moi leur savoir-faire et ont toujours été prêts à m'aider et à échanger des idées. Je suis également reconnaissant envers eux, leur collaboration a rendu cette expérience encore plus enrichissante.

Je remercie mes professeurs de l'Ecole Nationale Supérieure des Technologies Avancées, ainsi que ceux de l'Ecole Nationale Polytechnique pour leur enseignement et leurs encouragements tout au long de mon parcours académique. Leur passion pour l'enseignement et leur dévouement ont été une source d'inspiration.

Enfin, je souhaite exprimer ma profonde gratitude à ma famille et à mes amis pour leur soutien moral et leurs encouragements constants. Leur présence et leur patience ont été un pilier tout au long de cette aventure. J'adresse mes remerciements particuliers à mes chers parents, qui sont ma source de motivation et d'énergie. Leur soutien inconditionnel et leurs encouragements m'ont donné la force et la détermination nécessaires pour mener à bien ce projet.

À tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce mémoire, je vous adresse mes sincères remerciements.

## ملخص

تتناول هذه الأطروحة موضوع تحسين عمليات الإنتاج من خلال تطبيق طريقة SMED (تبادل القالب في دقيقة واحدة) لتقليل أوقات التغيير. بالتركيز على ماكينة OPTIMA، قمنا بتحليل مراحل تبادل القوالب وتطبيق مراحل SMED الأربع. وقد مكنتنا هذا النهج من تقليل زمن التبديل من حوالي 140 دقيقة إلى 95 دقيقة. خلال دراستنا، قمنا بدمج أدوات مثل نظام 5S لتنظيم الأجزاء، بالإضافة إلى تنفيذ العديد من أدوات التطوير مثل وضع معايير العمل وتوزيع المهام وتنظيم الحركة. تُظهر النتائج تحسناً كبيراً في الإنتاجية وتوافر الماكينات دون استثمار كبير. كما تمت مناقشة تنفيذ لوحة تحكم لرصد مؤشرات الأداء الرئيسية والتواصل المستمر مع الجهات المعنية، مما يفتح آفاق التحسين المستمر في المستقبل.

**الكلمات المفتاحية :** التحسين، الإنتاج المرن، طريقة SMED، الأداء، تبادل القالب، نظام 5S، زمن التبديل، التحسين المستمر.

## Résumé

Ce mémoire porte sur l'optimisation des processus de production à travers l'application de la méthode SMED (Single Minute Exchange of Die) pour réduire les temps de changement de format. En se concentrant sur la machine OPTIMA, nous avons analysé les étapes de changement de format et mis en œuvre les quatre phases de SMED. Cette démarche a permis de réduire le temps de changement de format d'environ 140 minutes à 95 minutes. Lors de notre étude, nous avons intégré des outils comme les 5S pour l'organisation des pièces, ainsi que nous avons mis en place plusieurs leviers d'amélioration tels que la création de standard de travail, l'affectations des tâches et l'optimisation des mouvements. Les résultats montrent une amélioration significative de la productivité et de la disponibilité des machines sans investissements majeurs. La mise en place d'un tableau de bord pour le suivi des indicateurs clés de performance et la communication continue avec les parties prenantes sont également abordées, ouvrant des perspectives pour des améliorations futures continues.

**Mots clés :** Optimisation, Lean, SMED, Performance, Changement de format, 5S, Temps de changement, Amélioration continue.

## Abstract

This thesis deals with the optimisation of production processes through the application of the SMED (Single Minute Exchange of Die) method to reduce format changeover times. Focusing on the OPTIMA machine, we analysed the format changeover processes and implemented the four SMED phases. As a result, the changeover time was reduced from around 140 minutes to 95 minutes. During our study, we integrated tools such as 5S for the organisation of parts, as well as implementing several improvement actions such as the creation of work standards, the allocation of tasks and the optimisation of movements. The results show a significant improvement in productivity and machine availability without major investment. The implementation of a dashboard for monitoring key performance indicators and ongoing communication with stakeholders are also discussed, opening up prospects for continuous future improvements.

**Keywords :** Optimisation, Lean, SMED, Performance, Format changeover, 5S, Changeover time, Continuous improvement.

# Table des matières

<b>Liste des tableaux</b>	<b>1</b>
<b>Table des figures</b>	<b>2</b>
<b>Liste des acronymes</b>	<b>5</b>
<b>Introduction générale</b>	<b>6</b>
<b>1 Généralités sur le Lean Manufacturing</b>	<b>7</b>
1.1 Introduction . . . . .	8
1.2 Lean manufacturing . . . . .	8
1.2.1 Définition . . . . .	8
1.2.2 Historique du Lean Manufacturing et son invention . . . . .	8
1.2.3 Principes du Lean Manufacturing . . . . .	9
1.2.4 Les gaspillages recensés par le Lean Manufacturing . . . . .	9
1.2.4.1 Gaspillage de la surproduction . . . . .	10
1.2.4.2 Gaspillage d'attente . . . . .	10
1.2.4.3 Gaspillage de mouvements inutiles . . . . .	10
1.2.4.4 Gaspillage de transport . . . . .	11
1.2.4.5 Gaspillage de transformation . . . . .	11
1.2.4.6 Gaspillage à cause des stocks . . . . .	11
1.2.4.7 Gaspillage à cause des défauts . . . . .	11
1.2.4.8 Gaspillage de personnel sous-utilisé . . . . .	11
1.3 Méthode SMED . . . . .	11
1.3.1 Définitions . . . . .	12
1.3.2 Objectif du SMED . . . . .	12

---

1.3.3	Historique de la méthode SMED . . . . .	12
1.3.4	Étapes de base de la procédure de changement de série . . . . .	12
1.3.5	Étapes conceptuelles du SMED . . . . .	13
1.3.6	Techniques pour l'amélioration du SMED . . . . .	15
1.3.7	Effets du SMED . . . . .	16
1.4	État de l'art de la méthode SMED . . . . .	16
1.5	Méthode des 5S . . . . .	20
1.5.1	Définition . . . . .	20
1.5.2	Mise en Œuvre des 5S . . . . .	21
1.5.3	Étapes de mise en œuvre des 5S . . . . .	22
1.5.4	Avantages des 5S . . . . .	22
1.6	Défis possibles pour l'application du SMED et des 5S . . . . .	22
1.7	Conclusion . . . . .	23
<b>2</b>	<b>Présentation du cas d'étude : la machine OPTIMA</b>	<b>24</b>
2.1	Introduction . . . . .	25
2.2	Hayat Kimya Holding . . . . .	25
2.2.1	Les marques Hayat Kimya Holding . . . . .	27
2.2.2	Les prix de Hayat Kimya Holding . . . . .	27
2.3	SARL Hayat Dhc Algérie . . . . .	27
2.3.1	Présentation . . . . .	27
2.3.2	Unité de production détergent . . . . .	28
2.3.2.1	Test . . . . .	28
2.3.2.2	Bingo . . . . .	29
2.3.3	Unité de production d'hygiène . . . . .	29
2.3.3.1	L'organigramme . . . . .	30
2.3.3.2	L'implantation d'atelier de production d'hygiène . . . . .	30
2.3.3.3	La production de l'hygiène corporelle . . . . .	31
2.3.3.4	La couche bébé . . . . .	31
2.3.3.5	La production des couches bébé Molfix & Bebem & GoodCare . . . . .	34
2.3.3.6	La machine Optima . . . . .	36

2.3.3.7	Les pièces de formats pour OPTIMA . . . . .	39
2.4	Conclusion . . . . .	42
<b>3</b>	<b>La mise en place de la méthode SMED</b>	<b>43</b>
3.1	Introduction . . . . .	44
3.2	Optimisation du temps de changement de format avec SMED . . . . .	44
3.2.1	Objectif de la démarche SMED . . . . .	44
3.2.2	Description du problème . . . . .	44
3.2.3	Le changement de format . . . . .	45
3.2.3.1	Le changement de format de Twin à Small . . . . .	46
3.2.3.2	Le changement de format de Small à Twin . . . . .	48
3.2.3.3	Le changement de format de Twin à Jumbo . . . . .	49
3.2.4	Phase 1 : Identification des opérations de changement de format . . . . .	50
3.2.4.1	Information et sensibilisation du personnel . . . . .	50
3.2.4.2	Observation de plusieurs changements de format . . . . .	50
3.2.4.3	Chronométrage des opérations de changement de format de Twin à Small . . . . .	50
3.2.4.4	Analyse de processuss de changement de format . . . . .	52
3.2.5	Phase 2 : Séparation des opérations internes et externes . . . . .	54
3.2.6	Phase 3 : Externalisation des opérations . . . . .	54
3.2.7	Phase 4 : Rationnalisation des opérations internes . . . . .	54
3.2.7.1	Application de la méthode des 5S . . . . .	55
3.2.7.2	Standard de travail . . . . .	62
3.2.7.3	Préparation des pièces de format et d'outillage avant le changement de format . . . . .	63
3.2.7.4	Réduction des déplacements des opérateurs . . . . .	66
3.2.7.5	Ordonnancement des opérations . . . . .	66
3.2.7.6	Mise en place des étiquettes pour les compteurs Benchmark . . . . .	67
3.2.7.7	Contrôle . . . . .	67
3.3	Calcul des gains . . . . .	67
3.3.1	Réduction du temps de changement de format . . . . .	68
3.3.2	Amélioration de taux de performance . . . . .	70

3.4	Discussion . . . . .	72
3.5	Amélioration continue . . . . .	73
3.5.1	Création de tableau de bord . . . . .	73
3.5.1.1	Identification des Indicateurs Clés de Performance (KPI) . . . . .	73
3.5.1.2	Conception des Tableaux de Bord . . . . .	74
3.5.1.3	Mise à Jour Régulière . . . . .	75
3.5.2	Élaboration du Plan de Communication . . . . .	75
3.5.2.1	Identification des Parties Prenantes . . . . .	75
3.5.2.2	Élaboration du Plan de Communication . . . . .	75
3.5.2.3	Feedback et Ajustements . . . . .	76
3.6	Conclusion . . . . .	77
	<b>Conclusion générale</b>	<b>78</b>
	<b>Annexe</b>	<b>79</b>
<b>A</b>	<b>Généralités sur le Lean Manufacturing</b>	<b>80</b>
A.1	Lean manufacturing . . . . .	80
1.1.1	Historique du Lean Manufacturing et son invention . . . . .	80
A.2	Méthode SMED . . . . .	81
1.2.1	Historique de la méthode SMED . . . . .	81
A.3	Méthode des 5S . . . . .	83
1.3.1	Étapes de mise en œuvre des 5S . . . . .	83
1.3.1.1	Seiri (Débarrasser) . . . . .	83
1.3.1.2	Seiton (Classer) . . . . .	83
1.3.1.3	Seiso (Nettoyer) . . . . .	83
1.3.1.4	Seiketsu (Standardiser) . . . . .	84
1.3.1.5	Shitsuke (Maintenir) . . . . .	84
1.3.2	Avantages des 5S . . . . .	84
<b>B</b>	<b>Présentation du cas d'étude : la machine OPTIMA</b>	<b>86</b>
B.1	Hayat Kimya Holding . . . . .	86
2.1.1	Les prix de Hayat Kimya Holding . . . . .	86



# Liste des tableaux

1.1	Étapes du processus de changement de série [1] . . . . .	13
2.1	Caractéristiques techniques de la machine OPTIMA . . . . .	37
3.1	Types de formats . . . . .	45
3.2	Opérations de changement de format de Twin à Small . . . . .	46
3.3	Opérations de changement de format de Small à Twin . . . . .	48
3.4	Chronométrage des opérations de changement de format de Twin à Small . . . . .	51
3.5	Les opérations externes . . . . .	54
3.6	Affectation des opérations de changement de format small . . . . .	63
3.7	Temps de changement de format small . . . . .	68
3.8	Temps de changement de format et taux de performance . . . . .	70
3.9	Objectifs et résultats des temps de changement de format small . . . . .	72

# Table des figures

1.1	Principes du lean manufacturing [2]	9
1.2	Types de gaspillages [3]	10
1.3	Phase préliminaire du processus SMED [4]	14
1.4	Étape 1 du processus SMED [4]	14
1.5	Étape 2 du processus SMED [4]	14
1.6	Étape 3 du processus SMED [4]	15
1.7	Éléments de 5S [5]	21
1.8	Étapes de mise en œuvre des 5S [6]	22
2.1	L'usine de Hayat Kimya en Turquie	25
2.2	Les usines de Hayat Kimya dans le monde	26
2.3	Unité de production de détergent	28
2.4	Produit Test	28
2.5	Produit Bingo	29
2.6	Unité de production d'hygiène	30
2.7	L'organigramme de l'unité d'hygiène	30
2.8	L'implantation d'atelier de production d'hygiène	31
2.9	Serviettes hygiéniques Molped	31
2.10	Processus de production des couches	33
2.11	Dessin des composants des couches bébé	34
2.12	Couches Molfix	35
2.13	Couches Bebem	35
2.14	Couches GoodCare	36
2.15	Optima HS OS7	37
2.16	Zones d'Optima HS OS7	37

2.17	Stacker	38
2.18	Stack Handling	38
2.19	Bagger	38
2.20	Bag Handling	39
2.21	Stacker pièces	39
2.22	Stack Handling pièces	40
2.23	Bagger pièces	41
3.1	Analyse QQQQCP	45
3.2	Diagramme d'Ishikawa	53
3.3	Pièces en désordre	55
3.4	Non identification des pièces	55
3.5	Saletés des pièces	56
3.6	Débarasser le chariot	56
3.7	Trier les pièces	56
3.8	Identifier les différentes pièces	57
3.9	Ranger les pièces par format	57
3.10	Étiquetage des pièces	58
3.11	Classer les différentes pièces	58
3.12	Nettoyage des pièces	58
3.13	Nettoyage du chariot	59
3.14	Dessin des emplacements fixes des pièces	59
3.15	Étiquettes des pièces sur le chariot	60
3.16	Standard de nettoyage	60
3.17	Audit 5S	61
3.18	Fiche 5S	61
3.19	Checklist format small	64
3.20	Checklist format twin ou jumbo	65
3.21	Préparation des pièces devant chaque zone de la machine	66
3.22	Ordonnancement des opérations de changement de format vers small	66
3.23	Étiquettes pour les compteurs benchmark	67

---

3.24	Variations des temps de changement de format small . . . . .	68
3.25	TRG d'optima par shift lors d'un changement de format . . . . .	71
3.26	Tableau de bord de suivi du SMED . . . . .	74
1.1	Histoire du Lean Manufacturing [2] . . . . .	81
2.1	Prix de Hayat Kimya Holding . . . . .	86

# Liste des acronymes

- **SMED** : Single Minute Exchange of Die.
- **5S** : Seiri (Débarrasser), Seiton (Classer), Seiso (Nettoyer), Seiketsu (Standardiser), Shitsuke (Maintenir).
- **TPM** : Total Productive Maintenance
- **IED** : Internal Exchange of Die.
- **OED** : External Exchange of Die.
- **OEE** : Overall Equipment Efficiency, ou Taux de Rendement Global (TRG) en français.
- **FMCG** : Fast Moving Consumer Goods désigne les produits de grande consommation (PGC) ou les biens de grande consommation en français.
- **SARL** : Société commerciale à responsabilité limitée.
- **KPI** : Key Performance Indicator, ou indicateurs clés de performance (ICP) en français.
- **QOOQCP** : Qui, Quoi, Où, Quand, Comment, Pourquoi.
- **5M** : Milieu, Méthode, Matière, Main d'œuvre, Moyens.

# Introduction générale

Dans un contexte industriel en constante évolution, l'optimisation des processus de production est devenue une priorité pour les entreprises cherchant à améliorer leur compétitivité. Une des principales préoccupations concerne la réduction des temps de changement de format, une problématique qui vise également à améliorer la productivité et minimiser les temps d'arrêt. Ce mémoire répond à la question : Comment la mise en œuvre de la méthode SMED (Single Minute Exchange of Die) peut-elle réduire les temps de changement de format sans nécessiter de gros investissements ?

Le choix de ce sujet s'explique par l'impact direct et mesurable que la réduction des temps de changement de format peut avoir sur l'efficacité opérationnelle et la compétitivité de l'entreprise. L'intérêt de ce sujet réside dans la possibilité d'appliquer la méthode SMED, pour obtenir des gains substantiels en termes de productivité sans nécessiter des grands investissements. De plus, ce projet représente une opportunité de développer une culture d'amélioration continue et de standardisation des processus, des éléments clés pour toute organisation.

L'objectif principal de ce travail est de démontrer l'efficacité de la méthode SMED dans la réduction des temps de changement de format. Pour ce faire, nous mettrons en œuvre les quatre phases de la méthode SMED : identification des opérations, distinction des opérations internes et externes, conversion des opérations internes en opérations externes, et rationalisation des opérations. La vérification et validation des objectifs se feront par les mesures avant et après la mise en place des améliorations, ainsi que par l'analyse des gains en termes de temps de changement de format, de productivité et de disponibilité de la machine.

La contribution de ce travail réside dans l'implémentation du SMED sur le processus de changement de format, la création de standards de travail et de bonnes pratiques pour les changements de format, ainsi que la mise en place des actions pour maintenir une amélioration continue.

Notre étude se focalise sur un cas précis au sein de l'entreprise SARL HAYAT DHC qui présente dans le secteur des produits d'entretien ménager, les couches bébé et les serviettes hygiéniques. Notre projet a été réalisé au niveau de la ligne de production des couches bébé, et spécifiquement la machine OPTIMA chargée du packaging, connue pour ses temps de changement de formats prolongés.

Ce mémoire est structuré en trois chapitres principaux, le premier présente des généralités sur le Lean Manufacturing ainsi que le cadre théorique du SMED et son importance dans l'optimisation des processus de changement de format, le deuxième présente le cas d'étude et l'environnement de travail et le troisième décrit la mise en œuvre de la méthode SMED, les améliorations réalisées, et les résultats obtenus. Ce dernier chapitre inclut également une discussion sur les gains en termes de productivité et de performance, ainsi que la mise en place d'un tableau de bord pour le suivi des KPI et d'un plan de communication.

En conclusion, ce mémoire vise à fournir une solution pratique et efficace pour la réduction des temps de changement de format, tout en contribuant à l'amélioration continue des performances industrielles de l'entreprise.

# **Chapitre 1**

## **Généralités sur le Lean Manufacturing**

## 1.1 Introduction

Le Lean Manufacturing ou la production allégée est une approche de gestion des opérations conçue pour maximiser l'efficacité des processus tout en minimisant les gaspillages. Ce concept s'est rapidement répandu dans diverses industries à travers le monde en raison de ses principes solides et de son potentiel d'amélioration continue.

Ce premier chapitre donne un aperçu du Lean, en se concentrant sur ses principes fondamentaux, ses outils et ses techniques.

Nous commencerons par définir le Lean Manufacturing et connaître son histoire, et nous explorons les pratiques qui ont contribué à son développement. Nous examinerons ensuite les différents principes du Lean, qui contribuent à sa mise en œuvre efficace, et nous présenterons les différents types ou sources de gaspillages définis par la démarche Lean.

En outre, deux outils clés du Lean Manufacturing qui devraient être les points forts de ce chapitre sont la méthode SMED (Single-Minute Exchange of Die) et la méthode 5S. Concernant ces méthodes, nous donnerons un aperçu de leurs principes fondamentaux et de leur historique, ainsi que des étapes de mise en œuvre, les techniques spécifiques pour améliorer les processus et leurs effets.

Enfin, nous décrirons quelques recherches récentes sur la méthode SMED ainsi que les difficultés potentielles et les défis de l'application pratique du SMED et des 5S.

En résumé, le premier chapitre vise à acquérir de solides connaissances de base sur les principes du Lean Manufacturing et les techniques associées, cela nous donnera la base dont nous avons besoin pour poursuivre notre exploration dans les chapitres suivants de ce mémoire.

## 1.2 Lean manufacturing

### 1.2.1 Définition

“Le Lean, c'est créer de plus en plus de valeur en utilisant de moins en moins de ressources. C'est plutôt simple, c'est ça le Lean ! Le plus difficile est de savoir comment faire” James Womack<sup>19</sup>, le père du Lean production.

Le Lean Manufacturing est une approche de production dans laquelle l'utilisation des ressources pour tout objectif autre que la création de valeur pour le client final est considérée comme un gaspillage et peut être éliminée. Pour beaucoup, la production allégée est l'ensemble des outils qui contribuent à l'identification et à l'élimination régulière du gaspillage (muda). Les outils les plus utilisés du lean sont Value Stream Mapping (VSM), 5S, TPM, SMED, Six Sigma, Kaizen, la planification Hoshin, Jidoka, le travail standardisé et les inventaires juste à temps, etc. Ces outils se concentrent sur des aspects et des domaines spécifiques du processus de fabrication, réduisant ainsi le temps et les coûts de production tout en éliminant les gaspillages et en améliorant la qualité. La philosophie selon laquelle la réduction des gaspillages est une activité sans valeur ajoutée évolue avec le temps.

### 1.2.2 Historique du Lean Manufacturing et son invention

L'évolution et l'histoire du Lean ont passé par plusieurs étapes. Voir annexe 1.1.1.

### 1.2.3 Principes du Lean Manufacturing

Il existe cinq principes de l'approche du lean manufacturing qui sont :

- **Identifier la valeur** : la valeur correspond à l'ensemble des caractéristiques ou fonctions d'un produit ou service qui satisfont les besoins du client et pour lesquelles il est prêt à payer [7].
- **Cartographier les flux de valeur** : les flux de valeur sont les différentes séquences d'activités nécessaires à la conception, production et livraison d'un produit ou service au client, en incluant le traitement des informations et l'approvisionnement des matières premières. Les activités qui n'ajoutent pas de valeur pour le client sont considérées comme des pertes.  
Il existe deux types de pertes, celles qui ne sont pas nécessaires et sont à éliminer et celles qui sont néanmoins nécessaires. Un exemple de perte nécessaire est le contrôle qualité : le client ne paye pas pour un contrôle qualité, mais il veut un produit fiable et donc le contrôle (ou l'assurance qualité) est nécessaire [7].
- **Créer le flux ou l'écoulement** : il faut faire en sorte que la production soit réalisée de manière fluide, sans interruption ou attente et éliminer toutes les pertes non nécessaires ; les pertes nécessaires peuvent être réduites [7].
- **Tirer les flux** : mettre en place un système de production tiré par l'aval ; chaque étape de production amont est exécutée sur la demande de l'étape aval, en partant du client. C'est ce qui permet de limiter au maximum les stocks d'encours [7].
- **Rechercher la perfection** : l'amélioration continue comme méthode pour atteindre la perfection est fondamental dans la pensée Lean, ce principe d'amélioration continue doit faire partie de la culture de l'organisation [7].

La figure 1.1 illustre les cinq principes du lean manufacturing.

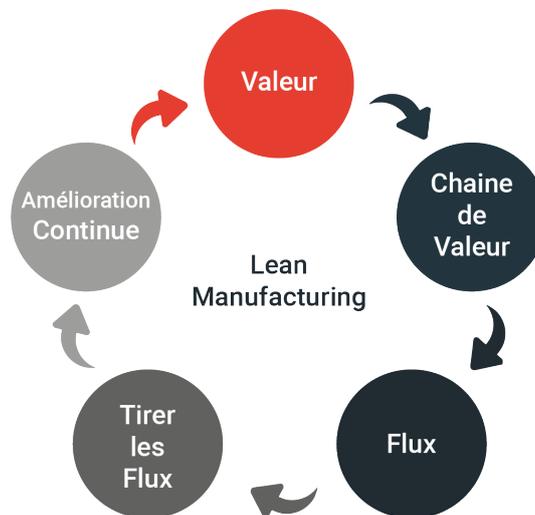


FIGURE 1.1 – Principes du lean manufacturing [2]

### 1.2.4 Les gaspillages recensés par le Lean Manufacturing

Womack et Jones [8] définissent les déchets ou gaspillages comme toute activité humaine qui absorbe des ressources sans créer de valeur.

«Muda» signifie déchet en japonais. Ohno [9] a identifié sept types de déchets, également connus sous le nom de « Ohno's 7 Muda ». Soient la surproduction, l'attente, le transport, les mouvements inutiles, la mauvaise fabrication, les stocks et les défauts.

Le gaspillage est toujours associé à une production allégée. Mais d'autres auteurs ont ajouté un huitième déchet, « personnes sous-utilisées », à la liste originale d'Ohno. Cependant, Liker [10] utilise un terme différent pour désigner le même type de gaspillage : « créativité inutilisée des employés ». Une description de huit types de déchets a été discutée et acceptée par de nombreux chercheurs. Les huit types de gaspillages sont montrés dans la figure 1.2.

Les 8 gaspillages du Lean manufacturing et exemples

Surproduction	Attente	Mouvement	Transport
			
Batch trop grand	Attente de matières	Mauvaise ergonomie	Déplacement de pièce
Surtraitement	Stock	Défaut	Talents inutilisés
			
Trop d'étapes	Produits en cours	Pièce défectueuse	Formation inadaptée

FIGURE 1.2 – Types de gaspillages [3]

#### 1.2.4.1 Gaspillage de la surproduction

La surproduction consiste à produire trop, trop tôt ou "juste au cas où". Ohno estime que ce type de gaspillage est le plus critique, car il est à l'origine de nombreux problèmes et autres gaspillages [11, 7].

#### 1.2.4.2 Gaspillage d'attente

Le gaspillage d'attente est directement lié au flux et constitue probablement le deuxième gaspillage le plus important. Cela se produit lorsque le temps n'est pas utilisé efficacement. Dans les usines, ce type de gaspillage est généré lorsque les marchandises ne circulent pas, impactant à la fois les marchandises et les travailleurs [11, 7]. Selon Bicheno et Holweg [11], l'attente est directement liée au délai d'exécution, ce qui contribue à la compétitivité et à la satisfaction des clients.

#### 1.2.4.3 Gaspillage de mouvements inutiles

Les mouvements inutiles affectent à la fois l'homme et l'agencement. Les dimensions humaines sont importantes pour la production ergonomique, car elles obligent les opérateurs à s'étirer, se pencher, soulever et bouger pour avoir une meilleure vue.

Ce gaspillage est fatigant pour les travailleurs et risque d'entraîner une baisse de productivité et des problèmes de qualité [11, 7]. Les dimensions d'agencement indiquent des aménagements inappropriés des lieux de travail qui conduisent à des micro-déchets, et de nos jours, les déchets de mouvements constituent également un problème de santé et de sécurité [11].

#### **1.2.4.4 Gaspillage de transport**

Le déplacement des matériaux et la double manipulation constituent des déchets. Cela affecte la productivité et la qualité [11, 7].

#### **1.2.4.5 Gaspillage de transformation**

Ces déchets comprennent des machines et des processus qui ne parviennent pas à maintenir la qualité. Les processus qualité nécessitent les bonnes méthodes, formations et normes pour éviter les défauts. Le surtraitement se produit également dans des situations où l'on trouve des solutions trop complexes à des opérations simples, comme l'utilisation d'une grande machine rigide au lieu de plusieurs machines flexibles plus petites. Une trop grande complexité entraîne généralement une perte de propriété et encourage les employés à surproduire pour couvrir les coûts. Il est donc idéal de placer des machines aussi petites que possible et capables de produire la qualité requise [11, 7].

#### **1.2.4.6 Gaspillage à cause des stocks**

Il existe généralement trois types de stocks : les matières premières, les stocks en cours et les produits finis. Les stocks ont tendance à allonger les délais, à empêcher l'identification rapide des problèmes et à augmenter l'espace, ce qui affecte la communication [11, 7].

#### **1.2.4.7 Gaspillage à cause des défauts**

Les défauts internes incluent les rebuts, les reprises et les retards, et les défauts externes incluent les garanties, les réparations et le service sur le terrain [11].

#### **1.2.4.8 Gaspillage de personnel sous-utilisé**

Impliquer plus de personnes que nécessaire dans un travail, ne pas impliquer les employés dans l'amélioration des processus, ne pas réaliser le potentiel individuel, ne pas exploiter la créativité des employés, ne pas attribuer les tâches appropriées, perte du temps, des idées, des compétences, etc [10, 12].

### **1.3 Méthode SMED**

Le SMED est l'une des nombreuses méthodes du Lean permettant de réduire les gaspillages dans un processus de production. Il s'agit d'un moyen rapide et efficace de convertir un processus de production pour passer du produit actuel au produit suivant [13].

### 1.3.1 Définitions

La méthode SMED (Single-Minute Exchange of Die) est une méthode d'organisation qui cherche à réduire de façon systématique le temps de changement de série, avec un objectif quantifié. (AFNOR NF X 50-310)

Single Minute Exchange of Die = Echange d'outil en moins de 10 minutes.

Temps de changement de série : C'est le temps entre la dernière pièce bonne de la référence A et la première pièce bonne de la référence B (top de démarrage)

### 1.3.2 Objectif du SMED

Le SMED était initialement développé par Shigeo Shingo, un ingénieur japonais, dans les années 1950. L'objectif principal du SMED est de réduire les temps de changement d'outils à un niveau inférieur à dix minutes, voire idéalement à une seule minute. Cette approche vise à accroître la flexibilité des opérations de production en minimisant les interruptions liées au changement d'outils, facilitant ainsi la fabrication de petites séries et la réponse rapide aux demandes du marché [1].

La méthode SMED repose sur la distinction entre les activités internes et externes associées au processus de changement d'outils. Les activités internes sont celles qui ne peuvent être effectuées que lorsque la machine est arrêtée, tandis que les activités externes peuvent être réalisées pendant le fonctionnement de la machine. Le SMED vise à convertir autant d'activités internes que possible en activités externes, réduisant ainsi le temps global de changement [1].

### 1.3.3 Historique de la méthode SMED

Selon Shigeo Shingo, la méthode SMED a évolué à partir de trois étapes. Voir annexe 1.2.1.

### 1.3.4 Étapes de base de la procédure de changement de série

En général, les procédures de changement de série varient selon la nature de l'opération et le type d'équipement utilisé. Cependant, si on analyse ces procédures, on peut constater que chaque processus de mise en œuvre comprend une série d'étapes. Le tableau 1.1 indique la répartition du temps de changement de série classiques :

TABLE 1.1 – Étapes du processus de changement de série [1]

Opération	Proportion du temps (%)
Préparation, ajustement après le processus, contrôle des matériaux, des outils, etc	30
Montage et démontage des outils et des pièces	5
Mesure, réglage et étalonnage	15
Test et réglage	50

**a- Préparation, ajustement après le processus, contrôle des matériaux, des outils, etc :** Cette étape vérifie que toutes les pièces et tous les outils sont en place et fonctionnent correctement. Elle comprend également une période qui suit le processus, telle que le retrait et le retour de ces éléments au stockage et le nettoyage de la machine [1].

**b- Montage et démontage des outils et des pièces :** Cette étape comprend le retrait des pièces et outils en fin de traitement et la mise en place des pièces et outils pour le lot suivant [1].

**c- Mesure, réglage et étalonnage :** Cette étape fait référence à toutes les mesures et étalonnages qui doivent être effectués pour exécuter les opérations de production telles que : centrage, dimensionnement, mesures de température ou de pression, etc [1].

**d- Test et réglage :** Ces étapes effectuent un réglage après traitement de la pièce à tester. Plus les mesures et les étalonnages des étapes précédentes sont précis, plus ces ajustements seront faciles [1].

### 1.3.5 Étapes conceptuelles du SMED

#### **Phase préliminaire : les opérations internes et externes ne sont pas distinguées**

Les processus d'installation traditionnels confondent les opérations internes et externes, et les travaux qui peuvent être effectués à l'extérieur sont effectués à l'intérieur, laissant les machines inutilisées pendant de longues périodes.

La planification de la mise en œuvre du SMED nécessite une étude détaillée de la situation réelle du lieu de travail.

L'analyse continue de la production à l'aide d'un chronomètre est probablement la meilleure approche. Cependant, une telle analyse prend du temps et nécessite des compétences avancées.

Une autre possibilité consiste à utiliser une étude par échantillonnage. Le problème de cette option est que les échantillons de travail ne sont précis que lorsqu'il y a beaucoup de répétitions. Une telle étude peut ne pas convenir lorsque peu d'actions sont répétées.

Une troisième approche utile consiste à interroger les travailleurs et à enquêter sur les conditions réelles de travail.

Une méthode plus efficace consiste à enregistrer sur vidéo l'intégralité du processus de configuration. Cette méthode est très efficace si vous souhaitez montrer les enregistrements aux travailleurs immédiatement après avoir terminé leur travail. Donner aux travailleurs la possibilité d'exprimer leurs opinions permet souvent d'obtenir des informations très utiles. Dans de nombreux cas, ces idées peuvent être mises en œuvre rapidement.

Certains consultants préconisent une analyse détaillée de la production en série en vue d'une meilleure préparation, mais dans tous les cas, des observations informelles et des discussions avec les travailleurs suffisent souvent. [1]

La figure 1.3 montre la phase préliminaire dans le processus du smed.



FIGURE 1.3 – Phase préliminaire du processus SMED [4]

### Étape 1 : Séparation des activités internes et externes

L'étape la plus importante lors de la mise en œuvre de SMED est de faire la distinction entre la configuration interne et externe.

Tout le monde s'accorde sur le fait que la préparation des pièces, l'entretien, etc. ne doivent pas être effectués lorsque la machine est à l'arrêt. Mais il est absolument choquant de voir à quel point c'est souvent le cas.

En revanche, si on s'engage scientifiquement à considérer la plus grande partie possible de l'opération de préparation comme une préparation externe, on pourra alors obtenir des résultats plus satisfaisants et le temps nécessaire à la mise en route interne, effectuée lorsque la machine est à l'arrêt, peut généralement être réduit de 30 à 50 %.

Par conséquent, maîtriser la distinction entre réglage interne et réglage externe est la première étape vers la réalisation du SMED. [1]

La figure 1.4 montre la première étape lors du processus de la méthode smed.

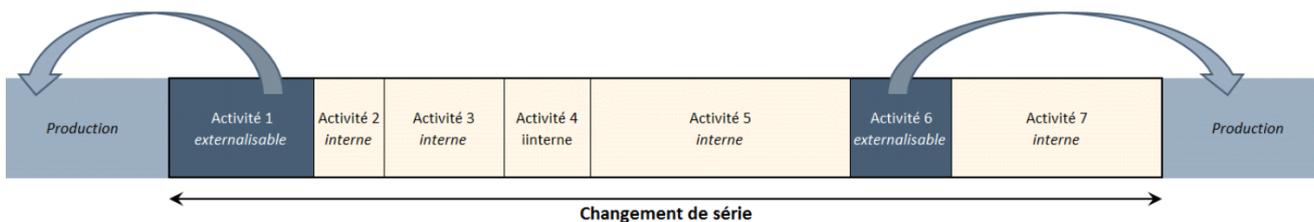


FIGURE 1.4 – Étape 1 du processus SMED [4]

### Étape 2 : Externalisation des activités

Cette étape fait intervenir deux notions importantes :

- Réexaminer les opérations pour déterminer si les étapes sont correctement prises en compte en interne.
- Découvrir comment convertir ces étapes en externes.

Les opérations actuellement effectuées en tant que configurations internes peuvent souvent être converties en configurations externes en examinant leur fonctionnalité réelle.

Il est très important de cesser avec les vieilles habitudes et d'adopter de nouvelles perspectives.[1]

La figure 1.5 montre la deuxième étape lors du processus de la méthode smed.

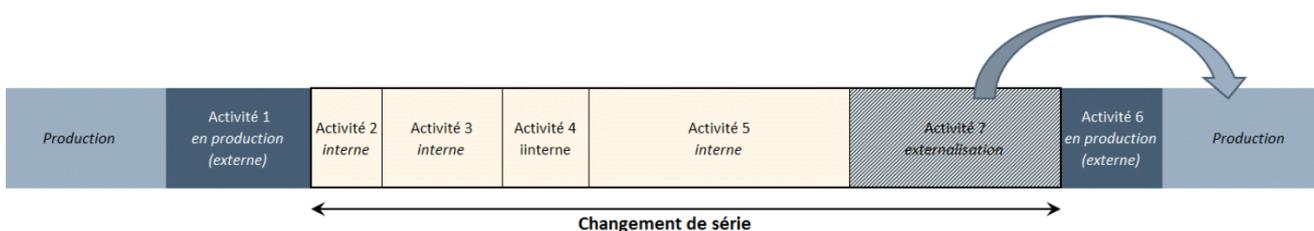


FIGURE 1.5 – Étape 2 du processus SMED [4]

### Étape 3 : Rationalisation de tous les aspects de configuration

Bien qu'il soit parfois possible d'atteindre l'intervalle d'une minute en convertissant la configuration externe, ce n'est pas le cas dans la majorité des cas.

C'est pourquoi qu'on doit faire un effort particulier pour rationaliser chaque opération élémentaire de réglage interne et externe. C'est ainsi que cette étape nécessite une analyse détaillée de chaque opération élémentaire. Les exemples suivants sont tirés d'applications réussies des étapes 1, 2 et 3 [1].

- Chez Toyota Motor Company, le temps de préparation interne d'une boulonneuse, qui nécessitait auparavant huit heures, a été ramené à cinquante-huit secondes [1].

- Chez Mitsubishi Heavy Industries, le temps de réglage interne d'une machine d'alésage à six orifices, qui nécessitait auparavant vingt-quatre heures, a été ramené à deux minutes et quarante secondes [1].

Les étapes 2 et 3 n'ont pas besoin d'être réalisées de manière séquentielle; elles peuvent être faites presque simultanément [1].

La figure 1.6 montre la troisième étape lors du processus de la méthode smed.

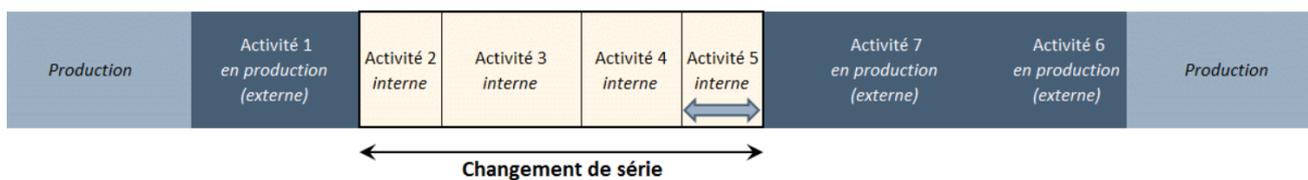


FIGURE 1.6 – Étape 3 du processus SMED [4]

### 1.3.6 Techniques pour l'amélioration du SMED

Selon Shigeo Shingo [1], les techniques suivantes sont efficaces et peuvent être utilisées afin d'assurer une meilleure mise en place du SMED.

- **Phase préliminaire : les opérations internes et externes ne sont pas distinguées :** Analyser les activités du processus de changement de séries afin de différencier les opérations internes des les opérations externes.
- **Étape 1 : Séparation des activités internes et externes :**
  - Utiliser une liste de contrôle.
  - Exécution des contrôles de fonctionnement.
  - Amélioration du transport des déchets.
- **Étape 2 : Externalisation des activités :**
  - Préparer les conditions de travail à l'avance.
  - Standardiser les fonctions.
  - Utiliser des outils intermédiaires.
- **Étape 3 : Rationalisation de tous les aspects de configuration :**
  - Améliorer le stockage et le transport des matrices.
  - La mise en œuvre d'opérations en parallèle.
  - Utiliser des nouveaux outils.
  - Éliminer les ajustements.
  - Système du plus petit commun multiple.

### 1.3.7 Effets du SMED

- **Réduction du temps de préparation** : Le temps total d'installation est réduit, ce qui entraîne une diminution du nombre d'heures de travail.
- **Temps de production réduits** : Les délais de production peuvent être considérablement réduits. D'une manière générale, les trois stratégies suivantes se sont avérées efficaces : Éliminer l'attente des processus, Éliminer l'attente des lots, Produire en petits lots.
- **Flexibilité accrue en matière de production** : En plus de la réduction du temps de production, la mise en place du SMED facilite les changements de produits, ce qui permet de répondre rapidement aux variations de la demande et d'accroître considérablement la flexibilité de la production.
- **Réduction des dépenses** : La mise en œuvre du SMED permet des gains de productivité significatifs à un coût relativement faible, ce qui se traduit par un retour sur investissement plus élevé.
- **Production sans stock** : Le système SMED offre la possibilité de produire des lots de petite taille, très diversifiés, et de réduire les stocks.
- **Augmentation du taux de travail des machines et de la capacité de production** : Les temps de réglage réduits améliorent les performances des machines et augmentent la productivité même lorsque le nombre d'opérations de configuration augmente.
- **Élimination des erreurs de configuration** : Les erreurs de configuration sont réduites et l'élimination des essais réduit le taux de défaillance.
- **Amélioration de la qualité** : La qualité est également améliorée, puisque les conditions de fonctionnement sont parfaitement réglées à l'avance.
- **Une sécurité accrue** : Des configurations plus simples se traduisent par des opérations plus sécurisées.
- **Gestion simplifiée** : La standardisation réduit le nombre d'outils nécessaires et ceux qui sont encore nécessaires sont organisés de manière plus fonctionnelle.

Les résultats du SMED vont au-delà de la réduction du temps de changement de série ; cela permet une plus grande flexibilité et réactivité face aux variations de la demande, tout en augmentant le temps de fonctionnement des machines, ce qui réduit les coûts de production.

De plus, le SMED incite à une analyse approfondie des processus existants, accompagnée d'améliorations en termes d'efficacité et de qualité. Cette méthode encourage également une culture d'amélioration continue en impliquant directement les employés dans l'optimisation des processus. [1]

## 1.4 État de l'art de la méthode SMED

La mondialisation a créé le besoin pour les entreprises d'accroître leur flexibilité de production, en produire en série, ce qui nécessite une flexibilité. Il existe une vaste gamme d'outils et techniques tel que le SMED et les 5S qui peuvent être appliquées par les organisations pour améliorer leurs performances, notamment en termes de temps d'installation.

La méthodologie SMED consiste d'un ensemble de techniques permettant d'exécuter des processus de configuration en moins de dix minutes (Shingo, 1985). Au cours des dernières années, plusieurs auteurs et organisations ont discuté de la relation entre la production allégée et l'éco-efficacité. L'éco-efficacité est associée au développement durable et entend apporter plus de valeur avec moins d'impact environnemental, qui répond à l'expression Lean « faire plus avec moins » [14]. On va dédier quelques pages afin de citer quelques publications qui relèvent l'intérêt de la méthode SMED pour l'excellence opérationnelle des industries dans des domaines divers.

On commence par le livre du Dr. Shingo « A révolution in manufacturing, the SMED system ». L'un des livres de fabrication les plus stimulants que tout le monde puisse lire. Il est rempli d'excellentes solutions d'amélioration qui ont un large potentiel d'application.

"La visite du Dr Shingo à notre usine a été importante pour faire des percées en productivité que nous pensions auparavant impossibles. Les avantages que nous recevons sont plus importants que je ne l'avais personnellement prévu. Grâce à la direction du Dr Shingo, nous avons pu réduire le temps de changement de 4 à 5 heures à une moyenne de 2,5 à 4 minutes" [15].

Le SMED est efficace pour rendre une entreprise plus rentable, en augmentant ses recettes, en réduisant les coûts, le délai de livraison et les stocks et en améliorant la satisfaction client. Ce concept peut également servir à développer les compétences du personnel pour mieux prendre des décisions, résoudre des problèmes et travailler en équipe. Aussi, dans leur étude théorique conceptuelle établie en 2005, les chercheurs Arnheiter et Maleyeff [16] ont mis le point sur le Lean manufacturing qu'il conduit progressivement à une augmentation de niveau de la qualité des produits fabriqués et la fiabilité de processus et par conséquent favorise la mise en œuvre ses outils et pratiques de comme le Kanban, la TPM, SMED et les autres. . .

Dans le même contexte, Bendell [17] a montré que l'intégration du SMED amène à réduire les déchets et les gaspillages de tout genre, les variabilités des processus et les erreurs tout en contribuant à l'amélioration des processus de l'entreprise. De même avis, Chen, Li et Shady [18] affirment que la démarche lean élimine le temps de reprocessing (reproduction), améliore la productivité, accroît la flexibilité du système et réduit en conséquence les niveaux d'en-cours entre les postes de travail de production.

Pareillement, Pepper et Spedding [19] proposent l'intégration de Lean Manufacturing et la méthode SMED. Selon eux, les systèmes de production à flux tirés ainsi que le SMED exigent que l'organisation soit axée sur une culture d'amélioration continue. L'intégration de Lean permet aux employés d'avoir une plus grande autonomie par rapport aux processus opérationnels cette application rend le processus d'amélioration continue plus rigide. Elle permet aussi à l'organisation d'obtenir une performance meilleure par l'application des outils et techniques contribuant à l'excellence opérationnelle.

Une réinterprétation de la méthode SMED de Shingo, un article publié sur le site IEEE Transactions on Engineering Management [20]. Une capacité de changement rapide est largement reconnue comme une condition préalable essentielle à la fabrication flexible et réactive de petits lots. Son importance dans la personnalisation de masse est reconnue, où des pertes minimales doivent être encourues lorsque la fabrication passe d'un produit à l'autre. L'amélioration rétrospective de la pratique de changement existante est souvent entreprise, résultant de la pression pour mieux répondre aux demandes des clients, dans laquelle le personnel d'amélioration utilise fréquemment la méthodologie d'échange de matrices en une minute (SMED) de Shigeo Shingo pour obtenir de meilleures performances. Indépendamment de la méthodologie d'amélioration utilisée, cet article évalue deux mécanismes fondamentaux par lesquels de meilleurs changements pourraient être réalisés.

Premièrement, l'amélioration peut se produire en modifiant le moment où les tâches sont exécutées. Une meilleure allocation des tâches aux ressources nécessaires à leur réalisation est recherchée, là où les tâches elles-mêmes restent essentiellement inchangées. Le deuxième mécanisme consiste à rechercher un changement structurel des tâches existantes, permettant ainsi intrinsèquement de les accomplir plus rapidement. Ces deux mécanismes sont décrits en relation avec l'utilisation de la méthodologie SMED, où il est soutenu qu'en réinterprétant le travail de Shingo, une plus grande clarté des options d'amélioration potentielles peut être obtenue.

Comme la méthode SMED est la plus utilisée pour réduire le temps de changement de séries dans différentes industries, on présente quelques résultats et cas réels d'application de cette dernière.

Une étude faite par « Éric Costa, Rui Sousa, Sara Bragança, Anabela Alves » de l'université de Minho, Guimarães, Portugal. Cette étude montre que la méthodologie SMED peut être appliquée efficacement pour réduire la configuration fois. Avec d'autres outils Lean (5S, Visual Management et travail Standard) cette méthodologie a été mise en œuvre dans une presse mécanique d'une entreprise d'ascenseurs. Les principaux résultats obtenus ont été des réductions allant de 53% à 67% des temps d'installation, de 45% à 78% en distances parcourues et 50% en WIP (work-in-process). En plus de ces améliorations, les processus de configuration ont été standardisés (avec l'application du Travail Standard) et, en utilisant 5S et des outils de gestion visuelle, l'espace de travail est devenu plus organisé et plus agréable pour les opérateurs, avec les outils et équipements strictement nécessaires et correctement identifiés. Des gains du projet SMED d'environ 1628,70 € par an ont été réalisés. Enfin, on s'est rendu compte que ces solutions peuvent avoir un effet positif sur l'environnement, en réduisant l'impact écologique et l'intensité des ressources, afin de parvenir à une relation Lean-to-Green. [21]

Une étude de cas d'application de la méthode SMED durant la fabrication du plastique présenté par M.Kemal Karasu MehmetCakmakci. Le plastique est une matière première à la mode dans l'environnement de fabrication en raison de son faible coût, de sa facilité de fabrication et de sa durabilité relative. Un taux de production élevé avec des tolérances étroites est obtenu par des machines d'injection plastique et des moules en acier/alliage. Cependant, les machines et les moules sont des équipements coûteux et se rentabilisent en production de masse. Ainsi, une utilisation efficace est cruciale lorsque les fluctuations élevées de la demande et la personnalisation croissante sont une réalité qui oblige les ingénieurs à réduire les inefficacités, dont l'une est les temps de changement dans notre objectif. Cet article propose la conception expérimentale de Taguchi à la phase d'essais d'une opération de changement pour obtenir les paramètres qui donnent le premier produit correct. Moins d'essais conduisent à moins de temps nécessaire pour démarrer la production de masse et également moins de déchets de matériel [22].

Un cas d'étude fait par Amir Azizi a montré que la mise en œuvre du VSM dans les chaînes d'assemblage de circuits imprimés peut aider à découvrir les gaspillages évidents et cachés qui affectent la productivité de la production d'étiquettes intelligentes. Ces déchets cachés sont associés à de longs temps de changement au cours du processus d'insertion des chaînes d'assemblage de circuits imprimés, ce qui a conduit à des progrès avancés en matière de production. Le processus d'amélioration est conçu pour réduire les encours et les délais de livraison à l'aide des techniques SMED et Kaizen. La méthode SMED a été appliquée sur le processus d'insertion qui constituait le goulot d'étranglement. SMED a été mise en œuvre avec succès, réduisant le temps de configuration de la machine pendant le processus d'insertion de 145 secondes à 54 secondes. Cette étude recommande de modifier le processus d'insertion d'une opération par lots vers une opération en flux continu afin de réduire davantage les déchets. [23]

Une étude de cas faite par Berna Ulutas de l'Université d'Eskişehir Osmangazi en Turquie concerne une usine qui fabrique des produits à base de polystyrène expansé, qui sont principalement utilisés comme supports d'emballage et de manutention pour les réfrigérateurs. Les presses de moulage par injection de l'usine peuvent également fabriquer d'autres produits à l'aide de moules conçus pour les pièces automobiles et les chantiers de construction. De nombreuses variantes de produits obligent les entreprises à procéder à des changements fréquents. Une immense presse (5 mètres de haut) est utilisée. Les dimensions du moule installé dans la presse sont d'environ 2000×1000×500 mm<sup>3</sup>. L'installation de ces machines prend beaucoup de temps, l'entreprise devait donc réduire le temps d'installation. Les premières observations indiquent que le temps de changement de format est de 5 à 6 heures. Même pour les petites presses équipées de petits moules, le temps total de configuration était en moyenne de 3 à 3,5 heures.

Les enregistrements des 155 matrices sont analysés et leurs caractéristiques physiques (dimensions, poids, etc.), leur fréquence d'utilisation et les distances de manutention. Une analyse de Pareto a été utilisée pour déterminer sur quelles machines problématiques se concentrer en premier, en tenant compte du temps et de la fréquence de mise en place de la presse. Les concepts du SMED sont ensuite appliqués pour réduire les temps de réglage. [13]

Un projet fait par E. Sousaa, F. J. G. Silvaa, L. P. Ferreiraa, M. T. Pereiraa, R. Gouveiaa et R. P. Silvab visait à améliorer un équipement de l'industrie du liège en appliquant des méthodes Lean. L'équipement étudié relie le bouchon de liège à la capsule en le collant avec de la colle chaude. La quantité de production rend l'activité de changement de séries un processus régulier. La méthode adoptée dans cette étude consistait à rechercher et à collecter des informations sur la philosophie de lean manufacturing et son application dans l'industrie du liège. Les conditions de fonctionnement des machines d'assemblage ont également été analysées pour trouver des marges d'amélioration. La technique Value Stream Mapping (VSM) a été utilisée comme outil pour identifier les processus qui ajoutent réellement de la valeur au produit. Afin de réduire les temps d'arrêt dus aux changements d'outils, la technique SMED (Single Minute of Die) a été appliquée, permettant une réduction de 43% du temps total de changement. Enfin, pour améliorer le suivi des déviations possibles en cours de production, le calcul du OEE (Overall Equipment Efficiency) a été fait comme indicateur de l'efficacité globale du système. Ces retours prouvent également que les outils Lean constituent un moyen puissant pour obtenir d'excellents résultats sans avoir des grands investissements. [24]

Un projet fait par Eric Costa, Rui Sousa, Sara Bragança et Anabela Alves de l'Université de Minho, Guimarães, Portugal, intitulé "Une application industrielle de la méthodologie SMED et d'autres outils de lean manufacturing". Ce projet décrit l'amélioration du processus de configuration des presses mécaniques dans le secteur de la mécanique des métaux d'une entreprise d'ascenseurs. Ce travail résulte d'un mémoire de maîtrise qui a duré cinq mois. La méthodologie SMED ainsi que d'autres outils de Lean (5S, management visuel, travail standard) ont été appliqués afin de réduire les temps de configuration des machines observés au début du projet. Grâce à la solution développée, il a été possible de réduire les temps de configuration, les opérations de production en cours et les distances parcourues par les opérateurs. De plus, les procédures de configuration ont été standardisées et, par conséquent, le processus est devenu plus rapide et plus efficace pour les opérateurs. Ces améliorations ont permis de réduire la consommation d'énergie et de matériaux ainsi que les émissions de gaz à effet de serre. [21]

Une étude faite par C. Rosa, F.J.G. Silva, L. Pinto Ferreira et R. Campilho de l'École polytechnique d'Ingénieurs de Porto. Cette étude applique la technique SMED en combinaison avec d'autres outils Lean (5S, management visuel, travail standard) pour réduire le temps de configuration et améliorer la flexibilité et la productivité sur une ligne d'assemblage de câbles de sièges dans une entreprise du secteur automobile.

Les principaux objectifs ont été atteints grâce à la mise en œuvre de diverses améliorations liées à l'organisation et à l'identification des outils, aux types d'outils, à la réorganisation des tâches internes et externes, aux fichiers de configuration détaillés, aux aides visuelles et à la formation des opérateurs. En une semaine, le temps d'arrêt de la ligne pour les réglages a été réduit d'au moins 58,3% (équivalent à 210 minutes). Ce gain est d'autant plus important que le nombre de techniciens disponibles est en réalité inférieur aux trois techniciens nécessaires en moyenne auparavant pour effectuer les réglages dans un délai qui correspond aux goulots d'étranglement. Après améliorations, les techniciens de réglage n'étaient plus nécessaires ; la mise en place sur les postes de travail a été assurée par les opérateurs eux-mêmes, à l'exception du changement de références qui nécessite le changement de moule. Compte tenu des résultats obtenus dans le cadre de ce projet, l'entreprise est en train d'appliquer cette approche à d'autres lignes restantes de l'usine, ainsi qu'à d'autres projets. [25]

Une étude réalisée par M. Britoa, A.L. Ramosb, P. Carneiroc et M.A. Gonçalves dans le but de démontrer qu'il est possible de réduire les temps de changement de séries et d'améliorer les conditions ergonomiques en même temps. Cette étude a été réalisée dans une zone de production de tournage d'une usine métallurgique où les travailleurs se plaignaient souvent de douleurs à l'épaule et de tendinites étaient nombreuses, en raison des postures contraignantes et des efforts de force exercés manuellement pour effectuer les différentes tâches. De plus, le long temps de configuration de 105 minutes a entraîné des problèmes de productivité et des retards pour les clients. Grâce à l'outil SMED et à l'amélioration des conditions ergonomiques, le temps de changement de série a été réduit de 46% et le risque de troubles musculo-squelettiques a également été réduit. [26]

« Amélioration des processus : analyse des performances de la réduction du temps de configuration-SMED dans l'industrie automobile » [27]. La flexibilité et la réactivité aux demandes des clients sont très importantes pour le succès. Généralement, un temps supplémentaire est nécessaire pour la configuration en raison d'une mauvaise conception de l'équipement. À ce stade, les termes d'amélioration continuent des processus et SMED (single minute exchange of dies) en tant qu'approche de la production au plus juste entrent en jeu. Un système de production au plus juste fait partie de la culture d'entreprise, tout comme les outils et les approches. Dans ce travail de recherche, la technique d'analyse de capacité du processus est mise en œuvre en utilisant le logiciel MINITAB14 pour étudier la relation entre la méthodologie SMED et la conception de l'équipement. L'indice Cpk a été utilisé dans cette étude d'application pour fournir une mesure quantitative de la conception des équipements en appliquant la méthodologie SMED à la fabrication automobile.

Les résultats de cette étude de recherche ont indiqué que SMED, en d'autres termes « changement rapide » est toujours une méthode appropriée non seulement pour l'amélioration de la fabrication, mais aussi pour le développement de la conception d'équipements/de matrices.

A la fin nous terminerons par l'article « Une évaluation critique du 'SMED' de Shingo » réalisé par le chercheur McIntosh, R I [28]. La méthodologie « SMED » de Shigeo Shingo est à l'avant-garde des efforts récapitulatif d'amélioration du changement depuis le milieu des années 1980. SMED, qui souligne que l'amélioration doit être recherchée principalement en réorganisant les éléments dans le temps externe, a été largement acceptée et a été largement assimilée dans les textes scientifiques et les supports de formation industrielle. À ce jour, aucune évaluation critique connue de la méthodologie n'a été entreprise. Cet article présente également une étude de cas qui montre que le SMED (y compris l'application séquentielle des techniques d'amélioration qui sont affectées à ces étapes) ne doit pas toujours représenter une voie d'amélioration efficace. L'objectif dominant du SMED consistant à traduire les tâches en temps externe est également pris en compte. Le document soutient que la méthodologie SMED ne promet pas suffisamment certaines options d'amélioration importantes, en particulier celles qui cherchent à réduire la durée des tâches de transition existantes ou à les éliminer complètement.

Des opportunités d'améliorations de ce type se présentent en particulier lorsque des modifications de conception du système de fabrication existant sont envisagées. Les problèmes de conception dans le contexte d'améliorations progressives du Kaizen sont également pris en compte.

## 1.5 Méthode des 5S

### 1.5.1 Définition

Originaire du Japon, la méthodologie 5S est profondément implanté dans la philosophie du lean management et constitue une approche systématique d'organisation et d'optimisation de l'environnement de travail. Chacun des cinq « S » représente un pilier important qui contribue à créer un lieu de travail ordonné, efficace et hautement productif.

Les termes japonais associés à chaque « S » sont : [29, 30]

- Seiri (Débarrasser) : Se réfère à la pratique consistant à trier tous les outils, matériaux, etc. de l'espace de travail et de ne garder que les éléments essentiels. Tout le reste est stocké ou mis au rebut. Il en résulte moins de risques et moins d'encombrement qui peuvent perturber le travail productif.
- Seiton (Classer) : Se concentre sur la nécessité de créer de l'ordre sur le lieu de travail. Les outils, équipements et matériaux doivent être systématiquement placés de manière à pouvoir y accéder aussi facilement et efficacement que possible. Chaque objet a sa place et il doit tenir à sa place.
- Seiso (Nettoyer) : Indique la nécessité de garder le lieu de travail propre. Dans les entreprises japonaises, le nettoyage est une activité quotidienne. À la fin de chaque période de travail, la zone de travail est nettoyée et tout est remis à sa place.
- Seiketsu (Standardiser) : Cela permet le contrôle et la cohérence. Des procédures de nettoyage de base s'appliquent dans tout l'établissement. Chacun sait exactement quelles sont ses responsabilités. Les tâches de nettoyage font partie des opérations quotidiennes habituelles.
- Shitsuke (Maintenir) : Il s'agit de maintenir les standards afin de garder les installations dans un état sûr et efficace, jour après jour, année après année.

La figure 1.7 montre les éléments de la méthode 5S.



FIGURE 1.7 – Éléments de 5S [5]

## 1.5.2 Mise en Œuvre des 5S

La mise en œuvre des règles 5S doit commencer par former les employés productifs sur tous les éléments 5S et les avantages de leur utilisation.

Il est important que tous les participants à la formation comprennent la nécessité d'appliquer les règles 5S sur leur lieu de travail et soient ouverts aux changements. Lors de la formation, il est important d'expliquer l'application de toutes les règles à l'aide d'exemples concrets afin que chaque participant comprenne comment mettre en pratique les éléments des 5S.

Il est très important de noter que ces règles s'appliquent non seulement aux postes de production, mais également aux entrepôts, bureaux et autres emplois [31, 32].

Les étapes de mise en œuvre de la méthode des 5S sont illustrées dans la figure 1.8.



FIGURE 1.8 – Étapes de mise en œuvre des 5S [6]

### 1.5.3 Étapes de mise en œuvre des 5S

Le processus de mise en œuvre des 5S passe principalement par cinq étapes. Voir annexe 1.3.1.

### 1.5.4 Avantages des 5S

La mise en œuvre des 5S permet aux organisations de bénéficier de plusieurs avantages de cette méthode. Voir annexe 1.3.2.

## 1.6 Défis possibles pour l'application du SMED et des 5S

Le défi de la mise en œuvre du Lean est une situation à laquelle est confrontée une entreprise qui doit consacrer des efforts importants et faire preuve de détermination pour réussir à mettre en œuvre le Lean [33].

- Résistance culturelle : Les méthodologies SMED et les 5S entraînent des changements culturels importants au sein des organisations. La résistance des employés au changement peut empêcher l'adoption complète de ces méthodes.
- Engagement de la direction : Le succès de la mise en œuvre du Lean, y compris les méthodologies SMED et 5S, dépend fortement d'un engagement actif et visible de la direction. Un manque d'engagement peut empêcher les efforts d'amélioration.
- Besoins de formation continue : Une formation continue est nécessaire pour maintenir les avantages des méthodologies SMED et 5S. Le manque de ressources et d'efforts de formation peut conduire à un déclin des normes établies.
- Mesurer les résultats : Définir et mesurer les résultats peut être difficile, surtout si des mesures appropriées ne sont pas établies à l'avance.

- Complexité des processus : Dans des environnements opérationnels très complexes, les deux méthodes peuvent être plus difficiles à mettre en œuvre en raison de la diversité des processus et des procédures.
- Dépendance envers des facteurs externes : les méthodes peuvent être limitées par des facteurs externes, tels que les fournisseurs ou les partenaires commerciaux, qui peuvent empêcher la pleine réalisation des avantages.
- Application incohérente : L'efficacité des deux méthodes dépend de l'application cohérente des principes. Une application incohérente peut avoir diverses conséquences.
- Application inappropriée dans certains environnements : Bien que les techniques SMED et 5S soient largement applicables, elles ne conviennent pas à tous les environnements opérationnels. Certains secteurs ou certains processus peuvent nécessiter une approche adaptée à leur complexité.

## 1.7 Conclusion

En résumé, ce chapitre explore le monde du Lean Manufacturing en se concentrant sur ses principes, ses outils et ses applications. Grâce à une définition claire et à l'historique, nous sommes en mesure de comprendre les concepts du Lean et son évolution au fil du temps, depuis ses origines dans l'industrie automobile japonaise jusqu'à sa diffusion dans les secteurs du monde entier.

Les principes de base du Lean, tels que la minimisation du gaspillage, la création d'un flux continu et l'engagement dans une amélioration continue, ont été mis en avant comme des piliers importants de cette philosophie de management. En comprenant et en appliquant ces principes, les organisations peuvent améliorer leur efficacité opérationnelle, et également améliorer la qualité, réduire les coûts et améliorer leur compétitivité sur le marché.

En examinant en détail deux outils importants du Lean Manufacturing, à savoir la méthode SMED et la méthode des 5S, nous avons pu explorer des approches concrètes pour l'élimination des gaspillages et l'optimisation des processus. Ces méthodes fournissent des stratégies pratiques pour réduire les temps de changement continus, améliorer l'organisation de l'environnement de travail et favoriser une culture d'excellence opérationnelle.

Cependant, malgré les nombreux avantages qu'offre le Lean, nous avons ainsi identifié des défis potentiels liés à sa mise en œuvre réussie. Ces défis comprennent la résistance des employés au changement, la nécessité d'un engagement à tous les niveaux de l'organisation et l'amélioration continue afin de maintenir la bonne exécution des approches Lean.

En conclusion, ce premier chapitre ouvre la voie à une exploration plus approfondie des approches Lean, principalement les outils SMED et 5S, dans les chapitres suivants de ce mémoire.

## **Chapitre 2**

### **Présentation du cas d'étude : la machine OPTIMA**

## 2.1 Introduction

Dans ce deuxième chapitre, nous examinerons en détail le cas d'étude qui servira de base à l'application de la méthode SMED pour optimiser le temps de changement de série.

Nous commencerons par présenter l'entreprise SARL Hayat Dhc Algérie, où j'ai effectué mon stage pratique. Nous mettrons en avant ses deux unités de production spécialisées dans la production de détergents et de produits d'hygiène, qui a été le lieu de mon stage.

Ensuite, nous examinerons la ligne de production spécifique des couches pour bébé sélectionnée pour notre étude, ainsi que la machine d'emballage OPTIMA qui possède des longs temps de changement de format, donc nous l'avons choisi pour la mise en oeuvre du SMED, afin de réduire et d'optimiser les temps de changement de format.

Finalement, nous aborderons en profondeur les diverses pièces de formats utilisées pour la machine OPTIMA. Grâce à cette analyse approfondie, nous pourrions avoir une meilleure compréhension des processus de changement de formats ainsi que des défis et des opportunités d'optimisation qui se présentent, ce qui établira les fondements pour élaborer des stratégies efficaces visant à réduire les temps de changement de série.

En résumé, ce chapitre donnera une analyse détaillée de notre cas d'étude, permettant de comprendre les défis spécifiques liés à l'amélioration des opérations de changement de série dans le cadre de la machine OPTIMA.

## 2.2 Hayat Kimya Holding

La figure 2.1 représente l'usine de Hayat Kimya fondée en 1937 en Turquie. Hayat se compose de 41 entreprises qu'opèrent dans divers secteurs, notamment les produits de grande consommation, les opérations portuaires, la construction, le bois et l'énergie.



FIGURE 2.1 – L'usine de Hayat Kimya en Turquie

Hayat kimya est le 4e fabricant mondial de couches pour bébés, et le plus grand fabricant de mouchoirs en papier du Moyen-Orient, d'Europe de l'Est et d'Afrique. Acteur mondial de l'industrie des biens de large consommation (FMCG), Hayat atteint des millions de foyers dans plus de 100 pays. Les marques de soins à domicile, d'hygiène, de mouchoirs et de produits de santé personnelle de Hayat comprennent Bingo, Test, Has, Molfix, Bebem, Good Care, Molped, Joly, Evony, Papia, Familia, Teno et Focus.

Avec près de 17 000 employés dans le monde, Hayat Holding propose 49 marques turques produites avec des technologies avancées dans 41 usines et distribuées dans plus de 100 pays sur 5 continents. Avec plus de 30 ans d'expérience dans l'industrie FMCG, Hayat Kimya est en train de devenir rapidement un acteur mondial dans les produits manufacturiers dans les catégories hygiène, tissu, soins à domicile et santé personnelle offrant des marques bien établies, et qui occupent une grande part dans le marché mondial.

Le siège social de Hayat Kimya est situé en Turquie et possède des filiales en Iran, en Egypte, en Bulgarie, en Algérie, au Maroc, en Russie, au Nigeria, au Pakistan et au Vietnam et emploie aujourd'hui près de 8.000 personnes dans le monde.

Hayat Kimya fabrique des tissus, des produits d'hygiène, des soins à domicile et de santé personnelle dans 21 usines, et poursuit ses investissements internationaux à plein régime.

Grace à sa fabrication de produits innovants et à ses performances élevées sur les marchés d'exportation, l'entreprise a reçu le prix du « Meilleur centre de R&D, recherche et développement » par le ministère des Sciences, de l'industrie et de la Technologie de Turquie en 2015. En outre, l'entreprise se classe 52ème sur la liste des "Plus grands exportateurs de Turquie" selon les données de 2022 avec ses exportations vers 100 pays. Grâce à ses performances de production en Turquie, elle est classée 51ème sur la liste des "500 premières entreprises industrielles de Turquie".

La société exploite des investissements de production de classe mondiale comme l'indique la figure 2.2, en Turquie, en Algérie en Iran en Egypte, en Russie, au Nigéria, au Pakistan et au Vietnam, ainsi que des réseaux de vente, et de distribution au Maroc, en Bulgarie et au Kenya.

Hayat Kimya devient rapidement une entreprise mondiale grâce à des investissements continus dans les marques, les ressources humaines et la technologie.

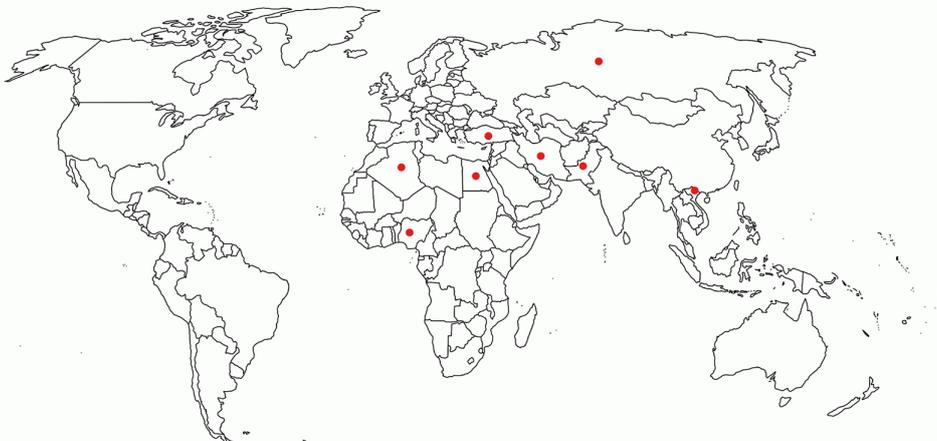


FIGURE 2.2 – Les usines de Hayat Kimya dans le monde

## 2.2.1 Les marques Hayat Kimya Holding

« Nous croyons que chacun dans ce monde a le droit d'accéder à des produits de haute qualité, et nous offrons la meilleure qualité de HAYAT par nos fortes marques » Hayat Kimya Holding.

Ce paragraphe indique les dates de lancement de chaque marque.

- 1987 : le démarrage et le lancement d'usine de détergents en Turquie, sous les marques Bingo et Test.
- 1998 : Démarrage d'usine de couche et le lancement des marques Molfix et Bebem en Turquie.
- 1999 : Le lancement des serviettes hygiénique Molped en Turquie.
- 2006 : Démarrage d'usine de tissus Kocaeli en Turquie, sous les marques Papia, Familia et Teno.
- 2007 : lancement de la marque Focus en Turquie.
- 2013 : Le lancement des marques Joly et Evony de couches pour adultes en Turquie.

D'après des statistiques de Hayat chaque minute dans le monde :

- 11.300 bébés heureux portent Molfix.
- 2.000 femmes choisissent le confort des serviettes hygiéniques Molped.
- 300 kilogrammes de Papier Papia, Familia, Teno, assurent l'hygiène des foyers.

## 2.2.2 Les prix de Hayat Kimya Holding

En tant qu'acteur mondiale de l'industrie FMCG, Hayat a gagné diverses prix. Voir annexe 2.1.1.

## 2.3 SARL Hayat Dhc Algérie

Hayat Kimya Holding est présente dans plus de 101 pays, et plusieurs unités de production parmi elle la SARL HAYAT Dhc Algérie.

### 2.3.1 Présentation

**Activité :** Entretien ménager et produits d'hygiènes.

**Siège social :** Route Nationale 29 Zone d'Activité Bouinan, BP 49 Blida.

**Effectif :** environ 8000 employés.

**Valeur Exportée :** 1,4 millions USD (2014).

Hayat Dhc Algérie, fondée en 2005 dans la wilaya de Blida, est présente dans le secteur des produits d'entretien ménager, les couches bébé et les serviettes hygiéniques. Ses produits existent sur tout le territoire national à travers 4 régions d'implantation de vente (le centre, l'est, l'ouest et le sud).

Hayat Dhc Algérie est une Société avec un capital social de 415 800 000DA opérant sur le site industriel de Blida avec près de huit mille employés, et un chiffre d'affaire de 11 milliards DA.

L'activité de la Sarl Hayat Dhc Algérie, filiale de Hayat Holding se résume en deux domaines d'activité stratégiques :

- La production de deux marques importantes dans le secteur de l'entretien ménager : BINGO et TEST avec une large gamme de produits, la figure représente l'unité de production de détergent.

- La production de couches bébé sous la marque MOLFIX, BEBEM et GOODCARE ainsi que les serviettes hygiéniques MOLPED, la figure représente l'unité de production d'hygiène.

### 2.3.2 Unité de production détergent

L'usine était ouverte en 2005. Elle est érigée sur une surface de 50.000 m<sup>2</sup> et à une capacité de 90.000 tonnes. La figure 2.3 représente l'unité de production de détergent.



FIGURE 2.3 – Unité de production de détergent

On va donner un aperçu sur les produits fabriqués de cette unité.

#### 2.3.2.1 Test

La branche Test est l'une des branches leader de la Sarl Hayat Dhc en Algérie d'après le directeur général de la société, elle offre une large variété de produits domestiques qui permettent de toucher à chaque coin du foyer du consommateur. La figure 2.4 montre un produit de la marque Test.



FIGURE 2.4 – Produit Test

#### Gamme du produit :

La gamme du produit Test comprend les détergents à lavage à main et à la machine, les adoucissants, les liquides vaisselles, produits d'entretien ménager, la blanchisserie et les savons de beauté.

**Relancement :**

Jusqu'à 2013, la marque Test a pris part dans le marché avec sa stratégie « la propreté approuvée ». Avec la participation efficace des ménagères Algériennes, au début de 2013, sa stratégie a été renforcée et la marque Test a été relancée sur le marché algérien avec sa nouvelle stratégie la performance testée et approuvée »

**2.3.2.2 Bingo**

L'entreprise turque de droit algérien, Hayat, a mis sur le marché une nouvelle marque positionnée sur le segment premium des produits d'entretien et de nettoyage domestiques. Il s'agit de Bingo, d'après le responsable de cette branche une lessive dont la particularité est d'être efficace même sur les salissures difficiles telles que les tâches de thé, de café, de tomate et de chocolat. Le produit est doté d'une formule active, aux extraits de bentonite, qui empêche l'usure du linge et protège les fibres. Le détergent liquide, grâce aux activateurs de conservation de couleurs, permet au linge de couleur de conserver son éclat, tout en l'empêchant de se déformer lors des lavages longs. La figure 2.5 montre un produit de la marque Test.



FIGURE 2.5 – Produit Bingo

Le détergent Bingo est mis sur le marché sous trois formes : en boîtes de 3 kg et de 500 g pour le produit en poudre, et en bouteille de 3l pour le liquide. Le directeur général de Hayat, Tolga Yazgan, a indiqué à l'occasion du lancement de Bingo que « l'Algérie est la première expérience de la marque en Afrique du Nord. Depuis 2006, La production de l'entreprise est 100% locale, grâce à des installations modernes se trouvant dans la ville de Blida ».

**2.3.3 Unité de production d'hygiène**

La production d'hygiène des couches bébé et serviette hygiéniques à commencer en 2007, cette unité contient trois types de production, la production de couches bébé sous les marques Molfix et Bebem, la production des serviettes hygiénique sous la marque Molped et la production des pochettes pour ces dernières. La figure 2.6 représente l'unité de production d'hygiène.

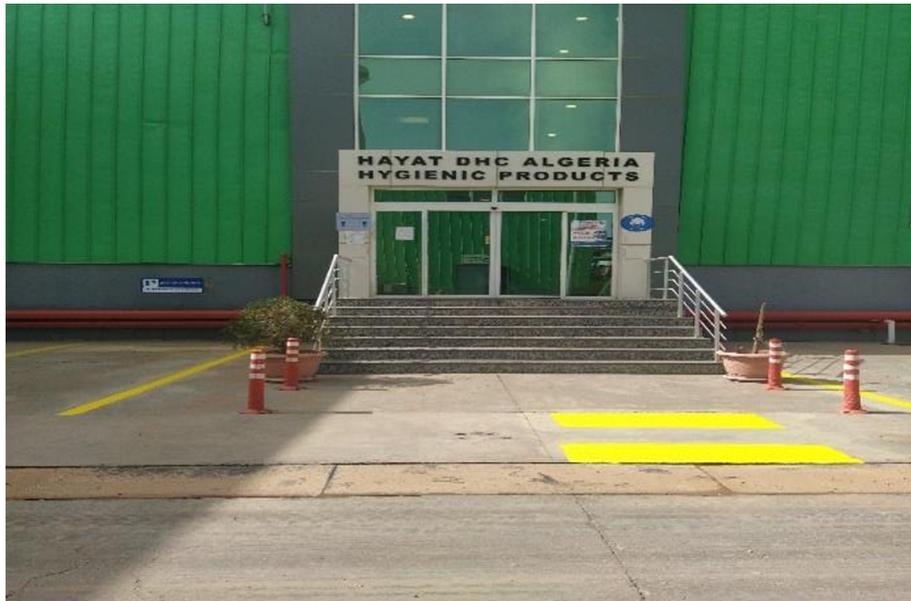


FIGURE 2.6 – Unité de production d'hygiène

### 2.3.3.1 L'organigramme

L'organigramme de l'unité de production d'hygiène est montré dans la figure 2.7.

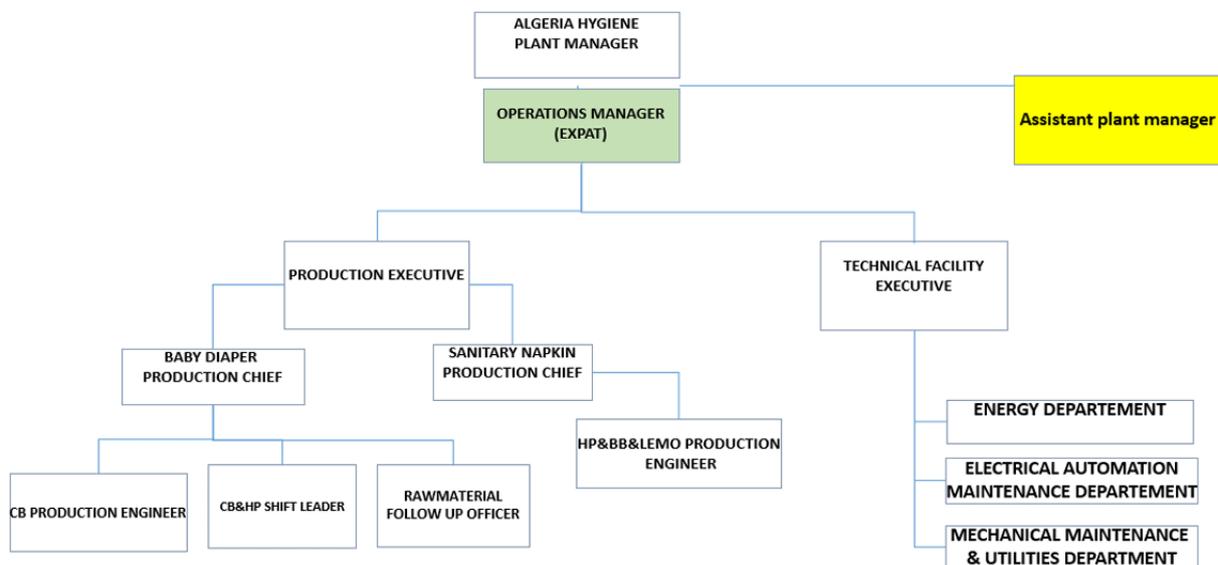


FIGURE 2.7 – L'organigramme de l'unité d'hygiène

### 2.3.3.2 L'implantation d'atelier de production d'hygiène

La figure 2.8 représente l'implantation de l'unité de production d'hygiène qui se compose de :

- 6 lignes de production de couche bébé cb13, cb 21, cb 24, cb 26, Bp02 et cb 31.
- LEMO : production des pochettes.
- HP01 : production des serviettes hygiénique Molped.
- TYB01 : production de mini tape.

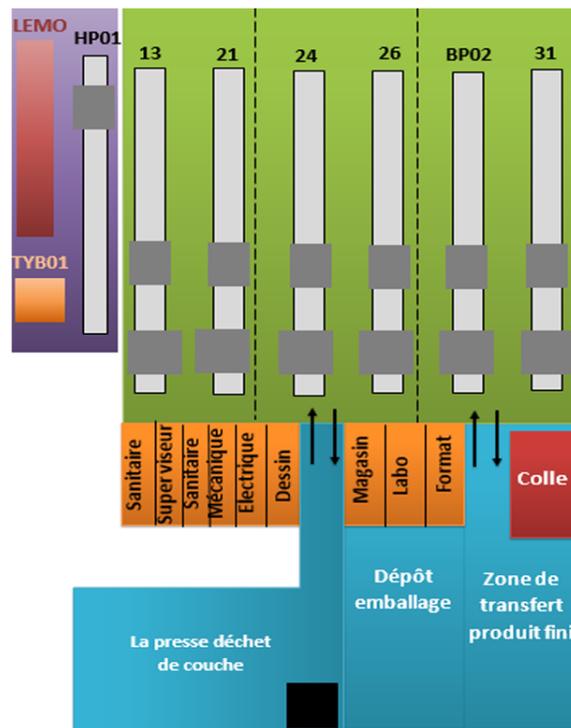


FIGURE 2.8 – L'implantation d'atelier de production d'hygiène

### 2.3.3.3 La production de l'hygiène corporelle

Les serviettes hygiéniques Molped, selon sa description elle est spécialement adaptée aux corps et avec ses ailettes qui enveloppent le linge, elles apportent une protection maximale et un confort grâce à son voile intérieur doux et cotonneux ainsi que sa texture respirante. Elles garantissent une absorption rapide et une sécheresse maximale tout au long de la journée tout en gardant une discrétion optimale avec sa finesse. La figure 2.9 montre les serviettes hygiéniques de la marque Molped.



FIGURE 2.9 – Serviettes hygiéniques Molped

### 2.3.3.4 La couche bébé

#### A. Historique

La couche-culotte est une sorte de sous-vêtement conçu pour recueillir les selles et l'urine de son porteur. Elle est généralement utilisée pour des enfants en bas âge, mais peut aussi être employée dans des contextes spécifiques (par exemple pour des sujets souffrant l'incontinence urinaire).

Ce produit apparut au milieu du XX<sup>e</sup> siècle en Occident et a tendu à remplacer les langes précédemment utilisés.

Jetable ou lavable, la couche-culotte est constituée de deux parties distinctes :

1. Une partie absorbante composée de cellulose et de cristaux anhydres (ou gel) pour les versions jetables et de tissus de coton, de bambou ou de chanvre pour les versions réutilisables.
2. Une partie imperméable constituée de matériaux plastiques, ou pour les versions réutilisables de tissu enduit de polyuréthane, de polyester ou de laine vierge.

Cet usage va cohabiter à partir des années 1950 avec un nouveau produit, la couche-culotte jetable. La couche-culotte spécifiquement destinée aux nourrissons apparaît en 1887 aux États Unis, elle est due à Maria Allen, qui produit des couches insérées dans un vêtement. Une autre invention est celle de l'épingle à nourrice qui, produite en série à partir des années 1870-1880 permet de maintenir la couche sans risque de blesser l'enfant. Dans les années 1920, une marque comme I.B. Kleinert Rubber<sup>1</sup> produit pour toute l'Europe la gamme Jiffy qui comprend la couche en elle-même, insérée dans une culotte recouverte d'un matériau en caoutchouc permettant l'étanchéité et disposant d'une ceinture élastique.

On note également que sont proposées dans certains catalogues de vente britanniques dès les années 1930 des « couches-culottes jetables » à base de cellulose et de coton, par exemple chez Robynsons and Sons<sup>3</sup>. En 1949, Valerie Hunter Gordon<sup>4</sup>, petite-fille de l'inventeur Sebastian Ziani de Ferranti, propose à la société Robynsons and Sons, le concept de la première couche-culotte jetable composée à partir de matériaux stérilisés et la gamme Paddi Pads est lancée dans la foulée. La gamme Paddi Pads est leader sur le marché mondial jusqu'en 1960. Une nouvelle gamme fut ensuite lancée dans les années 1950, totalement jetable. Les bandes adhésives ont remplacé les épingle de sûreté et les boutons pression dans les années 1970. En France, la gamme Peau douce apparaît en 1971 mais les Frères Willot, qui rachetèrent la marque, avait proposé des couches en cellulose dès 1963. Dans les années 1990, conscient du coût, du gaspillage de ressources et du volume de déchet généré par les couches-culottes jetables, des entreprises ont commencé à proposer des couches lavables.

C'est un gigantesque marché, Les bébés utilisent en moyenne 4000 couches dans leurs premières années.

## **B. Les composants de couche bébé**

Aujourd'hui, la couche bébé à usage unique comme l'indique la figure I-1 de la marque Molfix de Hayat est devenue un véritable concentré de technologie tant au niveau du choix de ses composants que de leur mise en œuvre dans le produit afin d'optimiser leur fonction propre et leur combinaison entre eux.

La couche à usage unique fait constamment l'objet de recherches et d'innovations visant à améliorer : l'absorption, la garde-à-sec, l'antifuite, la respirabilité, la protection de la peau et le confort du bébé.

Quatre parties principales assurent les différentes fonctions d'une couche bébé :

- Le matelas absorbant.
- Le voile de surface.
- L'enveloppe extérieure, les élastiques et les barrières.
- Le système de fermeture.

### **- Le matelas absorbant de la couche bébé pour l'absorption :**

Le matelas absorbant de la couche est un mélange de grains de super absorbant et de fibres de cellulose issues du bois qui donnent l'aspect cotonneux dont parlent les mamans. Les fibres de cellulose absorbent l'urine tout en assurant sa diffusion au sein du matelas. Le super absorbant retient au moins 20 fois son poids en urine en formant un gel. L'urine est alors emprisonnée à l'intérieur de ce gel, ce qui évite son contact avec la peau de bébé.

### **- Le voile de surface de la couche bébé pour la protection de la peau et la garde-au-sec :**

Le voile de surface, au contact de la peau du bébé, est constitué d'un non-tissé à base de fibres de polypropylène. Il transfère l'urine vers le matelas absorbant tout en limitant l'humidité au contact des fesses de bébé : c'est la garde-au-sec. Il apporte douceur et confort au bébé.

- **L'enveloppe extérieure, les élastiques et les barrières pour la protection antifuite :**

L'enveloppe extérieure est le châssis de la couche bébé. Elle est constituée d'un film intraversable par les liquides. Isolant le matelas absorbant, l'enveloppe extérieure de la couche à usage unique empêche de mouiller le lit et les vêtements du bébé. Selon les produits, ce film peut présenter différents aspects : textile, imprimé... Il peut être ou non respirable.

Les barrières antifuites sont constituées d'élastiques et d'un voile non-tissé hydrophobe. Avec les élastiques situés autour des cuisses, elles assurent une double protection contre les fuites.

L'ensemble est conçu pour empêcher l'urine et les selles de déborder de la couche-bébé.

- **Le système de fermeture pour le confort du bébé :**

Le système de fermeture est composé d'une bande de repositionnement située sur l'avant de la couche et des attaches de chaque côté à l'arrière de la couche-bébé. Pour fermer la couche, les attaches viennent se fixer sur la bande de repositionnement.

Il existe deux types de systèmes de fermeture pour la couche bébé : le système adhésif ou le système auto-agrippant, qui peuvent être ouverts et fermés plusieurs fois.

Les composants de base des couches-bébés sont majoritairement constitués de matières synthétiques telles que le polyester, le polypropylène (des matières qui composent des vêtements par exemple) et des matériaux d'origine végétale (fibres de cellulose issues du bois) associés à des supers absorbants. Certaines parties de la couche peuvent être imprimées (enveloppe extérieure, bandes renfort) qui représentent une partie infime de la composition de la couche. Dans tous les cas, la partie imprimée n'est pas en contact avec la peau, soit parce que la partie concernée est imprimée à l'intérieur soit qu'elle se trouve emprisonnée entre deux matériaux. Elle est composée de pigments couleur, et de composants de séchage.

Afin de maintenir l'intégrité des différents composants, des points de colle composés de polymères thermoplastiques sont utilisés.

Certaines couches sont parfumées et si tel est le cas, l'indication figure sur l'emballage. Les parfums ne contiennent pas de substances allergisantes au sens des 26 allergènes répertoriés dans le Règlement cosmétique.

Des indicateurs d'humidité peuvent être ajoutés, entre le matelas et l'enveloppe extérieure. Ils sont principalement utilisés pour les couches de petite taille. Ils consistent à changer de couleur pour indiquer que la couche de bébé est prête à être changée. Ils sont composés d'encre et d'adhésifs solubles.

Certaines couches peuvent contenir une lotion et, le cas échéant, les ingrédients sont conformes à la réglementation sur les produits cosmétiques (liste INCI sur l'emballage).

**C. Le processus de fabrication de couches bébé :**

La ligne de production de couche bébé de Hayat se compose de trois machines principales comme l'indique la figure 2.10.

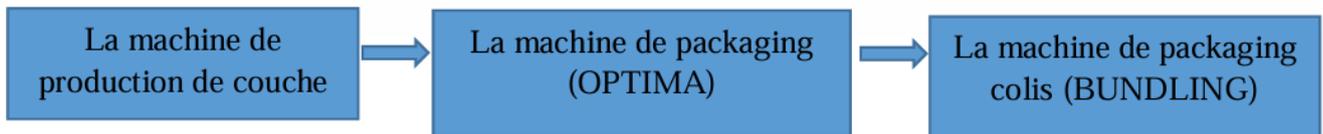


FIGURE 2.10 – Processus de production des couches

La processus commence par la production de couche par une machine qui contient quatre grandes parties qui assurent l'assemblage des matières premières citées au dessous dans la figure 2.11, aussi le pliage et l'ajustement de la couche. Ensuite la couche va être envoyée par un convoyeur vers la machine Optima pour le packaging des couches dans les pochettes et enfin le conditionnement des pochettes pour avoir des colis prêts à commercialiser.

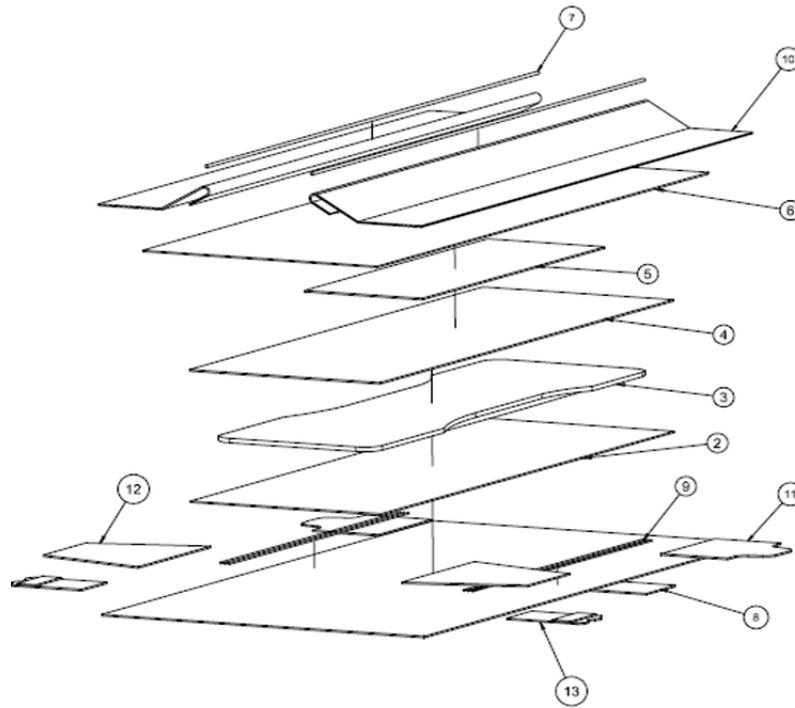


FIGURE 2.11 – Dessin des composants des couches bébé

- 1 : TEXTILE BACKSHEET (BS);
- 2 : ALT COREWRAP (ALT TISSUE – LT – TILO);
- 3 : CELLULOSE (FLUFF – PULP - PD) SAP (SUPER ABSORBER POLYMER);
- 4 : UPPER COREWRAP (UPPER TISSUE – UT – TIUP);
- 5 : SUBLAYER (ACQUISITION LAYER – INNER LAYER – IL –AQL – ADL);
- 6 : NW TOPSHEET (UPPER SURFACE– NW);
- 7 : BARRIER TISSUE (TOPSHEET ELASTIC, SE – TE);
- 8 : FRONTAL TAPE (ÖN BANT – FT – TL);
- 9 : LEG TISSUE (LEG ELASTIC – LE);
- 10 : CUFF (STANDING GATHER – SG);
- 11 : FRONT WING (FRONT LOBE – NONWOVEN LOBE – FW);
- 12 : ELASTIC LOBE (REAR WING – RW);
- 13 : WAIST BAND (TAPE – MINI TAPE – TA);
- 14 : GLUE.

### 2.3.3.5 La production des couches bébé Molfix & Bebem & GoodCare

Dans cette unité où j'ai effectué mon stage et essayé de réaliser mon projet, on a remarqué que l'entreprise fournit une production des couches bébé en appliquant les dernières technologies avec le système de management de qualité ISO 9001. Elle possède aussi des certifications ISO 14001 (systèmes de management environnemental) et ISO 45001 (Systèmes de management de la santé et de la sécurité au travail - Exigences et lignes directrices pour leur utilisation). Actuellement l'unité de couche bébé contient six lignes de production pour produire différentes gammes offertes par l'entreprise des trois marques Molfix, Bebem et GoodCare.

Chaque ligne est dédiée à fabriquer des gammes précises selon la planification et la stratégie de l'entreprise pour augmenter la productivité ainsi que l'efficacité des machines, l'une de ces ligne s'appelle PANT qui fabrique les couches culotes Selon la description de l'entreprise Les couches Molfix&Bebem produites spécifiquement pour la peau sensible des bébés protègent la peau avec sa surface extérieure respirant, tout en offrant une sécheresse parfaite avec sa couche absorbante verte. Avec Molfix, qui offre une protection complète contre les fuites grâce à ses barrières scellées, la peau des bébés reste sèche et saine.

La marque offre une large gamme selon la taille et le poids du bébé :

### A. Les couches pour bébés Molfix

La figure 2.12 montre les couches bébés de la marque Molfix.



FIGURE 2.12 – Couches Molfix

### B. Les couches pour bébés Bebem

La figure 2.13 montre les couches bébés de la marque Bebem.



FIGURE 2.13 – Couches Bebem

### C. Les couches pour bébés GoodCare

La figure 2.14 montre les couches bébés de la marque GoodCare.



FIGURE 2.14 – Couches GoodCare

Il est à noter que chaque ligne de production des couches bébés produit diverses gammes de produits.

Pour passer de la production d'une gamme à une autre, il faut changer le packaging (changement de pochette, changement de nombre de couche dans le paquet), ce qui nécessite un changement de format (des pièces) dans la machine **Optima**.

#### 2.3.3.6 La machine Optima

La machine étudiée dans notre projet est la machine de packaging OPTIMA. Nous avons choisi la machine OPTIMA pour l'application de la méthode SMED en raison de son rôle critique dans le processus de production. Contrairement aux autres machines de la ligne, l'OPTIMA est la seule qui nécessite des changements fréquents et en grand volume de pièces, ce qui entraîne des temps d'arrêt et des interruptions de production importants. En effet, le processus de changement de format de cette machine prend généralement plus de temps que les opérations sur les autres machines.

L'emballeuse ensacheuse OPTIMA HS OS7 montrée dans la figure ci-dessous, leader technologique, allie des décennies d'expérience à une qualité incomparable en matière de construction mécanique. Les exigences de chacun des utilisateurs déterminent le standard auquel le processus d'emballage est configuré. Ces machines haute puissance offre une multitude de nouvelles options pour les processus d'emballage : par exemple, pour la production de petits paquets à très grande vitesse.

#### **Les caractéristiques de la machine :**

- Fonction tampon pour introduire manuellement les produits dans le processus d'emballage.
- Augmentation des performances grâce au traitement à deux voies.
- Changement de format rapide.
- Jusqu'à 5 types de sacs différents possibles.

**Les données techniques :**

Ses caractéristiques techniques sont présentées dans le tableau 2.1 :

TABLE 2.1 – Caractéristiques techniques de la machine OPTIMA

Entrée	Jusqu'à 1200 Produit /min
Sortie	Jusqu'à 120 emballages /min
Taille de paquet (L x I x h)	Min.160mm x 90 mm x 60 mm
Taille de paquet (L x I x h)	Max.560 mm x 500 mm x 280 mm

La figure 2.15 montre la machine Optima HS OS7.



FIGURE 2.15 – Optima HS OS7

La machine OPTIMA est composée de quatre parties ou zones : Stacker (ST), Stack Handling (SH), Bagger (BG) et Bag Handling (BH). La figure 2.16 illustre les zones d'Optima.

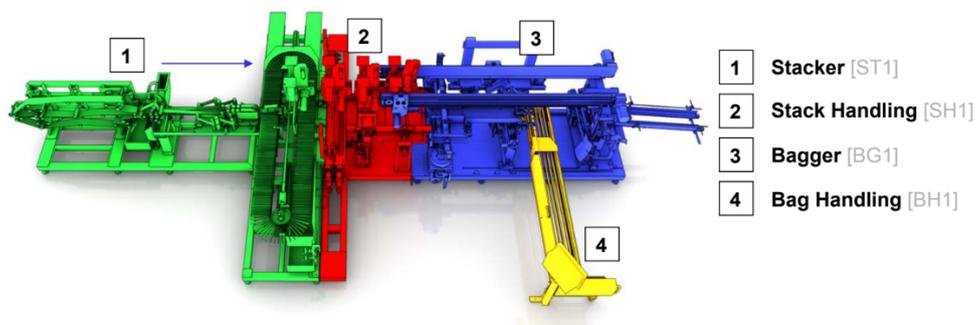


FIGURE 2.16 – Zones d'Optima HS OS7

**A. Stacker :**

La figure 2.17 représente la partie Stacker de la machine Optima.

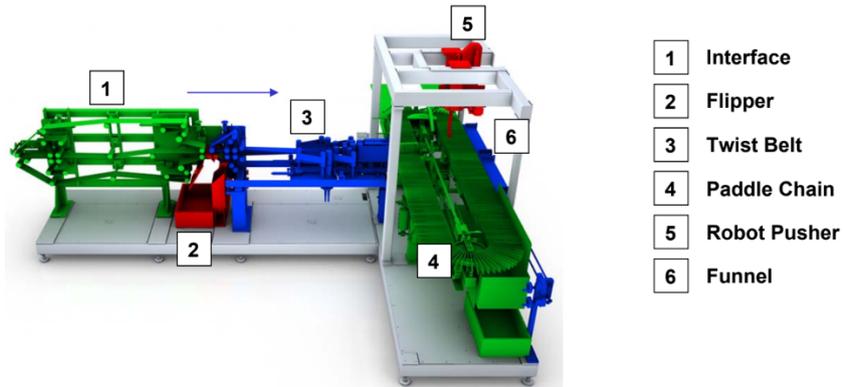


FIGURE 2.17 – Stacker

**B. Stack Handling :**

La figure 2.18 représente la partie Stack Handling de la machine Optima.

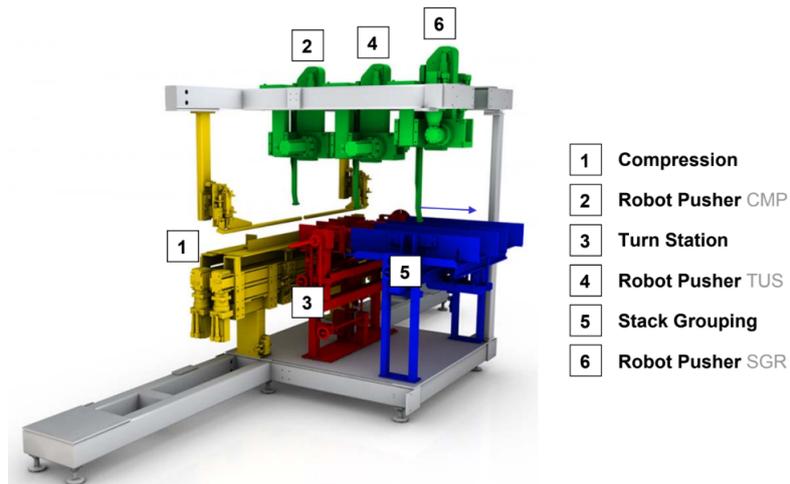


FIGURE 2.18 – Stack Handling

**C. Bagger :**

La figure 2.19 représente la partie Bagger de la machine Optima.

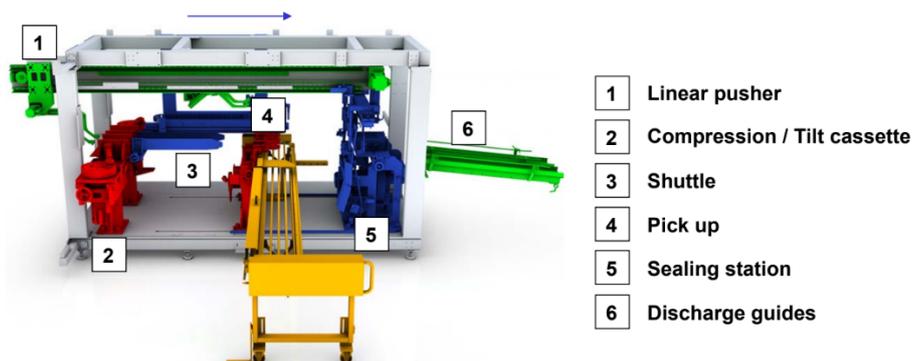


FIGURE 2.19 – Bagger

**D. Bag Handling :**

La figure 2.20 représente la partie Bag Handling de la machine Optima.

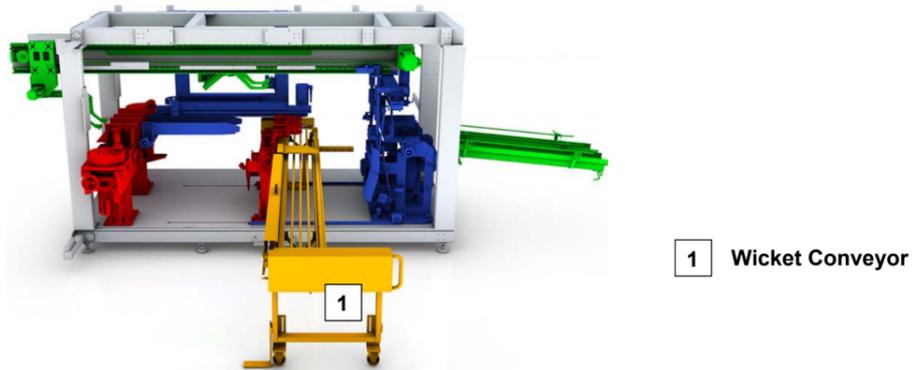


FIGURE 2.20 – Bag Handling

**2.3.3.7 Les pièces de formats pour OPTIMA**

Les différentes pièces de formats de la machine Optima sont représentées dans les figures 2.21, 2.22 et 2.23.

**A. Stacker :**

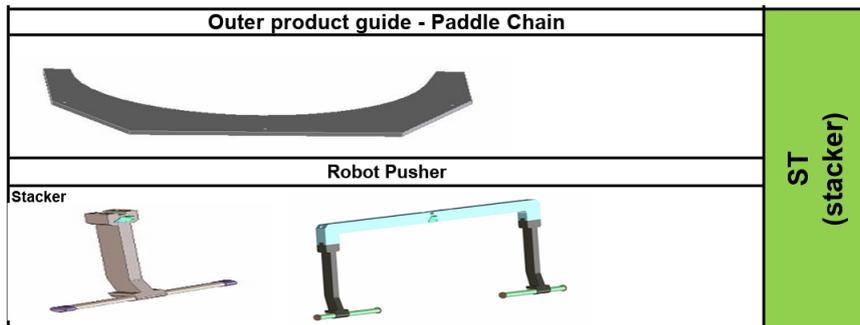


FIGURE 2.21 – Stacker pièces

**B. Stack Handling :**

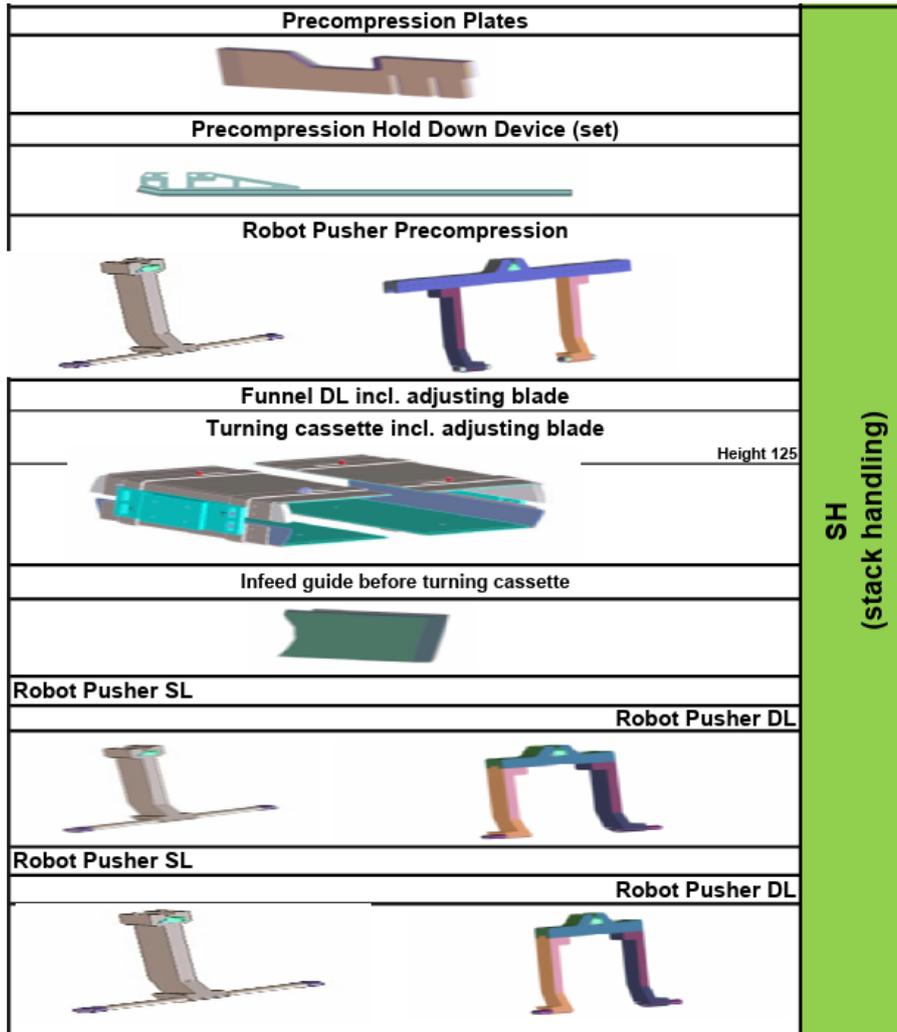


FIGURE 2.22 – Stack Handling pièces

C. Bagger :

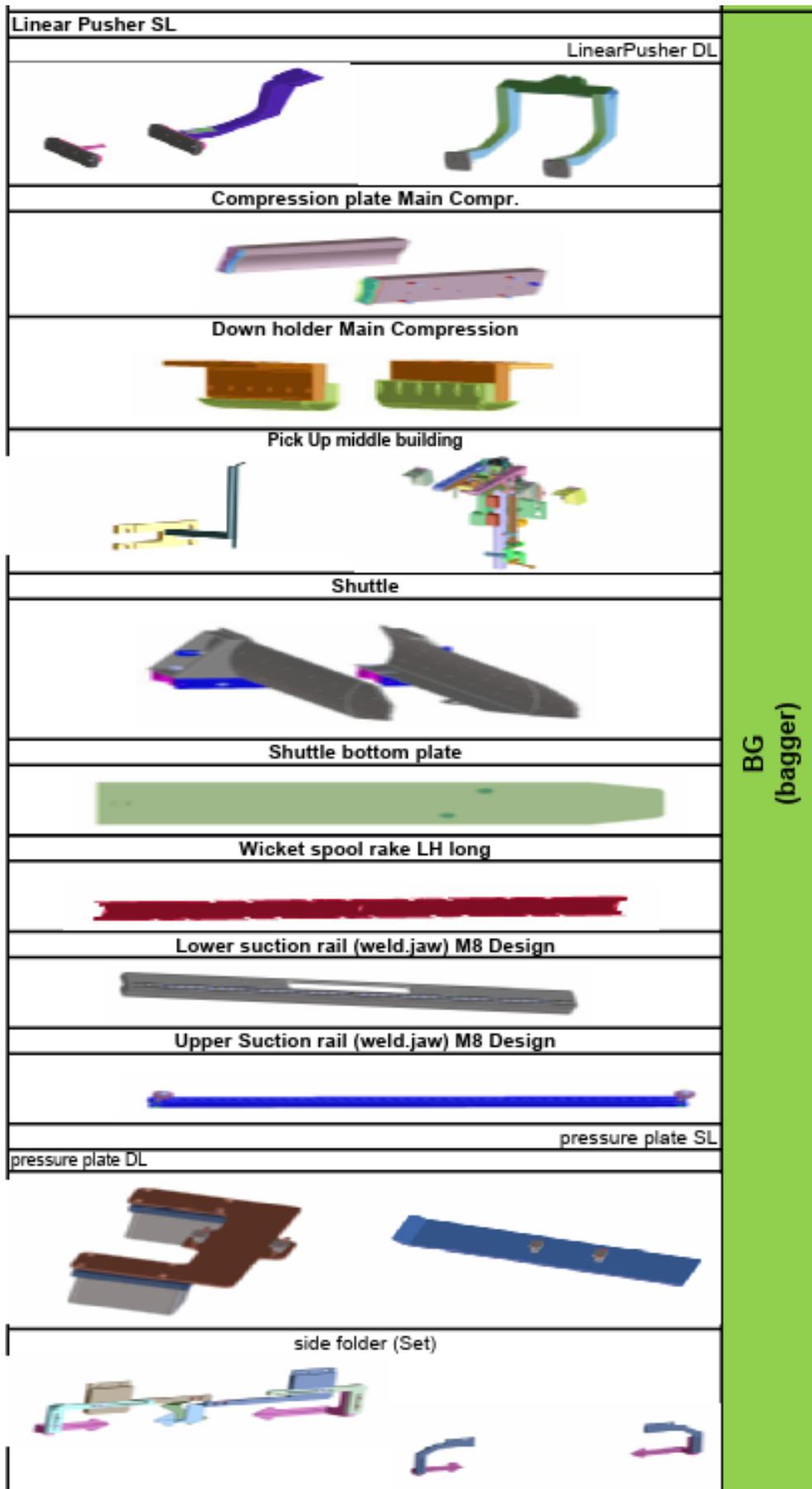


FIGURE 2.23 – Bagger pièces

## 2.4 Conclusion

En conclusion, après avoir exploré le cas d'étude de l'entreprise SARL Hayat Dhc Algérie et de sa machine d'emballage OPTIMA, ainsi que les pièces de formats utilisées dans le processus de changement de série, nous avons pu établir une vision globale de l'environnement opérationnel dans lequel se situe notre étude, en soulignant les particularités de l'entreprise ainsi que les difficultés auxquelles elle fait face pour optimiser les temps de changement de série.

Ainsi, la présentation de la machine OPTIMA a permis de définir clairement le champ de notre analyse et d'identifier les points clés sur lesquels nous concentrerons nos efforts d'amélioration par la suite.

En outre, l'identification des diverses pièces de formats employées lors du processus de changement de série nous a donné une vision précieuse des éléments essentiels à prendre en compte dans notre approche d'optimisation.

En résumé, ce chapitre nous a permis de mettre des bases solides pour appliquer la méthode SMED dans notre cas d'étude en disposant d'une meilleure capacité à développer des stratégies efficaces pour diminuer les temps de changement de série et améliorer l'efficacité opérationnelle globale de l'entreprise.

## **Chapitre 3**

### **La mise en place de la méthode SMED**

## 3.1 Introduction

Dans le chapitre 3, nous détaillons la mise en œuvre de la méthode SMED pour optimiser le temps de changement de format de la machine OPTIMA, dans le processus de production des couches pour bébés.

Nous allons commencer par une description du problème initial, caractérisé par des temps de changement excessifs et des interruptions fréquentes.

Ensuite, nous aborderons les quatre étapes clés du SMED, de l'identification à l'externalisation des opérations de changement de format.

Nous explorerons également les améliorations spécifiques mises en œuvre, telles que l'utilisation de la méthode des 5S pour organiser le chariot de pièces, l'élaboration de nouveau standard de travail et l'affectation des tâches, la mise en place des checklists des pièces et outils, etc, pour assurer une optimisation de temps de changement de format et une amélioration de l'efficacité opérationnelle de la ligne de production. Les réductions significatives des temps de changement seront analysées en termes de gains de performances et d'augmentation de la productivité.

Enfin, nous discuterons des étapes d'amélioration continue, notamment l'élaboration d'un tableau de bord pour suivre les KPI liés au SMED ainsi que l'élaboration d'un plan de communication à coordonner avec les parties prenantes. Cette approche nous permettra d'optimiser le processus de changement de format, et également de mettre les bases d'améliorations continues à l'avenir.

## 3.2 Optimisation du temps de changement de format avec SMED

### 3.2.1 Objectif de la démarche SMED

L'objectif principal de la démarche SMED (Single Minute Exchange of Die) dans le cadre de mon projet de fin d'étude est d'optimiser le temps de changement de format de la machine Optima dans la ligne de production des couches pour bébés. En appliquant les principes du SMED, je vise à réduire les temps d'arrêt et à améliorer l'efficacité opérationnelle en minimisant le temps nécessaire pour effectuer les changements entre différents formats de production. Cette optimisation permet d'augmenter la productivité, et également de réduire les coûts et les perturbations liées aux changements fréquents de format, contribuant ainsi à une performance globale améliorée de l'unité de production d'hygiène.

### 3.2.2 Description du problème

Afin d'analyser l'état actuel du changement de format, on a fait en premier lieu une analyse QQQ-QCP.

#### **Définition :**

La méthode QQQQCP est un outil de collecte et d'analyse d'informations visant à comprendre une situation et identifier un problème.

Chaque lettre de l'acronyme représente une question spécifique :

- **Qui ?** : Identifie les acteurs ou les parties prenantes impliquées dans le problème ou le processus.
- **Quoi ?** : Définit les actions, les éléments ou les données pertinentes associées au problème.
- **Où ?** : Précise les lieux ou les contextes où se déroulent les actions ou les processus.
- **Quand ?** : Indique les moments temporels ou les séquences chronologiques liées au problème.
- **Comment ?** : Détaille les méthodes, les procédures ou les moyens utilisés pour réaliser les actions ou les processus.

- **Pourquoi?** : Explore les motivations ou les raisons qui sous-tendent les actions ou les processus. La méthode QQQQCP est également appelée méthode des 5 W, H, pour « Who, What, Where, When, Why, How» en anglais.

L'analyse du problèmes de perte de productivité et des longs temps de changement de format est illustrée dans la figure 3.1 :

Perte de productivité due au temps élevé de changement de format		
Qui ?	Qui est concerné ?	Toute l'équipe de production, l'opérateur et les deux assistants
Quoi ?	Quel est le problème ?	Temps de changement de formats longs
Où ?	Où apparait le problème ?	Au niveau de la machine OPTIMA
Quand ?	Quand apparait le problème ?	A chaque changement de format
Comment ?	Comment apparait le problème ?	Durée excessive (> 2 heures) pour changer de format sur la machine OPTIMA
Pourquoi ?	Pourquoi apparait le problème ?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pièces non identifiées ou étiquetées.</li> <li>- Mauvaise affectation des tâches aux ressources (parfois les assistants sont libres pendant que l'opérateur travaille).</li> <li>- Insuffisance de connaissances des assistants pour des tâches spécifiques.</li> <li>- Non préparation des pièces et outillage à l'avance.</li> <li>- Manque de nettoyage de certaines pièces, nécessitant un temps supplémentaire.</li> </ul>

FIGURE 3.1 – Analyse QQQQCP

### 3.2.3 Le changement de format

Il s'agit d'un changement d'outils ou pièces pour la nouvelle série et le nouveau packaging. De nombreuses pièces devront être remplacées et réajustées sur la machine Optima en fonction du type de format. Il existe trois types de formats, comme indiqué dans le tableau 3.1 :

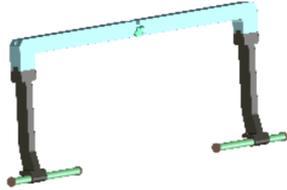
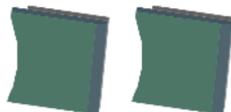
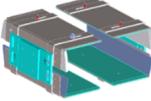
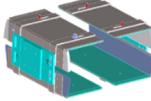
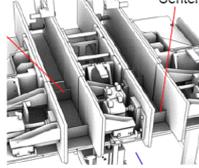
TABLE 3.1 – Types de formats

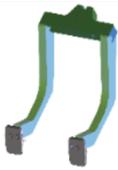
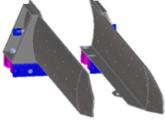
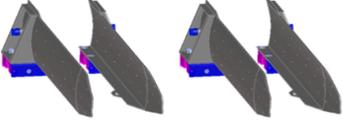
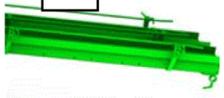
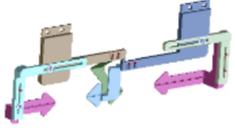
Format	Nombre de couche dans le paquet	Fonctionnement d'OPTIMA
Twin	25, 35, 40	Une seule ligne
Jumbo	50, 60, 70, 80	Une seule ligne
Small	8, 9, 10, 11, 12, 16	Double ligne

Les opérations de changement de format varient selon le type de fonctionnement de la machine; single line (une seule ligne) ou bien dual ligne (ligne double). Les pièces de format de la machine Optima ainsi que les opérations à effectuer dans les différents changements de formats sont illustrées dans les tableaux 3.2 et 3.3.

3.2.3.1 Le changement de format de Twin à Small

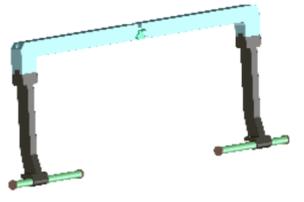
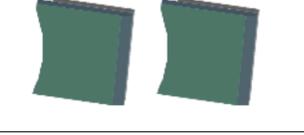
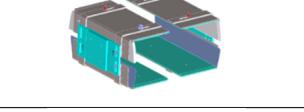
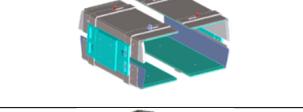
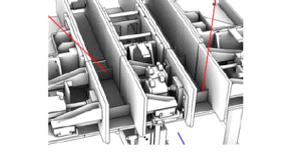
TABLE 3.2 – Opérations de changement de format de Twin à Small

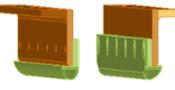
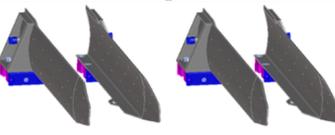
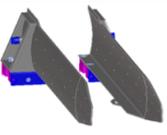
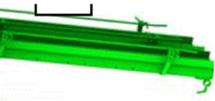
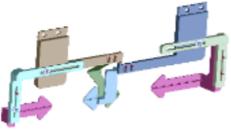
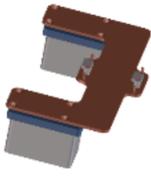
Pièces	Démontage	Montage
Robot Pusher stacker		
Stacker funnel guides		
Robot Pusher precompression		
Hold Down Device Precompression		
Robot Pusher Turning Station		
Precompression DL funnel guide		
Turning cassette		
Robot Pusher stack handling		
Stack handling dual lane		

Linear Pusher		
Compression plate		
Down holder Main Compression		
Main compression table		
Shuttle		
Pick Up		
Discharging guides		
Side folder		
Pressure plate DL		
Dual lane exit calibration		
Positionnement des pochettes		

3.2.3.2 Le changement de format de Small à Twin

TABLE 3.3 – Opérations de changement de format de Small à Twin

Pièces	Démontage	Montage
Robot Pusher stacker		
Stacker funnel guides		
Robot Pusher precompression		
Hold Down Device Precompression		
Robot Pusher Turning Station		
Precompression DL funnel guide		
Turning cassette		
Robot Pusher stack handling		
Stack handling dual lane		
Linear Pusher		

Compression plate		
Down holder Main Compression		
Main compression table		
Shuttle		
Pick Up		
Discharging guides		
Side folder		
Pressure plate DL		
Dual lane exit calibration		
Positionnement des pochettes		

### 3.2.3.3 Le changement de format de Twin à Jumbo

Jumbo et Twin sont deux formats similaires ; il y a seulement une différence dans la taille de pochette et le nombre de couches. Donc il faut juste avancer le shuttle et faire quelques réglages pour le changement de format de Twin à Jumbo.

### **3.2.4 Phase 1 : Identification des opérations de changement de format**

La première phase de la méthode SMED consiste à identifier les opérations de changement de format. Cette étape est primordiale car elle permet de décomposer le processus en petites tâches distinctes et de comprendre leur enchaînement. Lors de cette phase, toutes les opérations sont observées et documentées en détail, qu'il s'agisse de tâches internes (réalisées pendant l'arrêt de la machine) ou externes (réalisées pendant que la machine est en fonctionnement). L'objectif est de faire une cartographie précise des opérations, d'identifier les goulots d'étranglement et les inefficacités ou les problèmes rencontrés, et de recueillir des données qui vont aider pour les phases suivantes du SMED.

#### **3.2.4.1 Information et sensibilisation du personnel**

L'information et la sensibilisation du personnel est une étape essentielle pour la réussite du projet. Il a été essentiel de communiquer clairement les objectifs et les avantages attendus à tous les membres de l'équipe. Des sessions d'information et de sensibilisation ont été organisées pour expliquer les principes fondamentaux du SMED et pour démontrer comment chaque employé peut contribuer à la réduction des temps de changement de format. Cette phase initiale a permis de créer un environnement collaboratif et de motiver le personnel, permettant une mise en œuvre efficace des améliorations prévues pour garantir l'efficacité des résultats obtenus.

#### **3.2.4.2 Observation de plusieurs changements de format**

Au début de mon projet, j'ai observé de nombreux changements de format afin d'identifier et de comprendre en détail les différentes opérations impliquées. Cette phase d'observation était essentielle pour analyser chaque étape du processus de changement de format, repérer les inefficacités et les points de blocage, et établir une base de données précise des opérations à optimiser. En identifiant chaque tâche et en discutant avec les opérateurs, j'ai pu obtenir une vision complète des pratiques actuelles, ce qui va permettre par la suite de définir les améliorations nécessaires pour réduire les temps de changement de format en appliquant principalement la méthode SMED.

#### **3.2.4.3 Chronométrage des opérations de changement de format de Twin à Small**

Pour analyser et optimiser le processus de changement de format de Twin à Small, j'ai effectué un chronométrage de chaque opération du processus. J'ai pu identifier les tâches les plus longues et les problèmes spécifiques à ce changement de format en mesurant précisément la durée de chacune de ces étapes. Ce chronométrage a permis de recueillir des données quantitatives essentielles pour comparer les performances avant et après l'application de la méthode SMED. Grâce à ce fait, nous allons cibler les améliorations nécessaires à apporter et savoir comment agir sur les tâches critiques ou difficiles et sensibiliser le personnel sur les aspects critiques du processus. Le tableau 3.4 montre les opérations de changement de format de Twin à Small ainsi que leurs durées.

TABLE 3.4 – Chronométrage des opérations de changement de format de Twin à Small

Opération	Durée
Démontage Robot Pusher (1, 2, 3 et 4)	00 : 02 : 00
Démontage hold down precompression	00 : 05 : 30
Démontage cassette	00 : 03 : 00
Démontage et ajustement stacker funnel guides	00 : 04 : 00
Montage précompression guides	00 : 01 : 45
Montage hold down precompression	00 : 03 : 20
Montage cassette	00 : 05 : 30
Démontage side folder	00 : 03 : 00
Démontage pressure plate	00 : 03 : 00
Montage side folder	00 : 10 : 00
DL exit calibration	00 : 02 : 30
Montage pressure plate	00 : 04 : 00
Montage discharging guides	00 : 03 : 30
Montage Robot Pusher (1, 2, 3 et 4)	00 : 06 : 30
Démontage Linear Pusher	00 : 01 : 30
Démontage compr plates + hold down	00 : 05 : 45
Démontage compr table	00 : 02 : 30
Démontage shuttles	00 : 04 : 00
Démontage lower + upper suction rail	00 : 01 : 00
Montage compr plates	00 : 05 : 00
Montage shuttles	00 : 15 : 00
Montage pickup	00 : 10 : 00
Montage lower + upper suction rail	00 : 01 : 00
Montage nozzle air middle	00 : 02 : 00
Montage Linear Pusher	00 : 01 : 30
Ajustements finaux	00 : 22 : 00
Positionnement des pochettes	00 : 03 : 00
Nettoyage de la machine	00 : 05 : 00
Homing	00 : 03 : 00

Le temps total de ce changement de format chronométré pour la date du 27.03.2024 s'élève à 140 minutes. Ce chronométrage a été réalisé avant l'application du SMED, ce qui permet de comparer ces résultats initiaux avec les résultats après SMED et d'évaluer l'impact des améliorations apportées par la suite.

### 3.2.4.4 Analyse de processuss de changement de format

Afin de bien analyser le processus de changement de format, nous avons utilisé la méthode d'Ishikawa, également connue sous le nom de diagramme de cause à effet ou méthode des 5M (Milieu, Méthode, Matière, Main d'œuvre, Moyens).

Nous avons opté pour la méthode d'Ishikawa car elle permet de visualiser clairement et de structurer les différentes causes potentielles de problèmes rencontrés dans le processus de changement de format. Cette méthode identifie les causes directes et indirectes liées aux méthodes, matières, main-d'œuvre, moyens et milieu, et facilite ainsi une analyse complète des sources de retard et d'inefficacités.

En collaborant avec l'équipe, nous avons identifié et classé les causes, qui contribuent aux temps de changement de format prolongés, dans ces catégories des 5M. Grâce à cette méthode, nous avons pu cibler précisément les domaines nécessitant des améliorations et élaborer des stratégies efficaces pour optimiser le processus de changement de format.

De plus, en combinant le diagramme d'Ishikawa avec la méthode des 5 Pourquoi, nous approfondissons notre compréhension des causes racines des problèmes, assurant que les solutions proposées s'attaquent aux véritables sources des inefficacités.

Le résultat de notre analyse est comme suit :

#### I. Causes :

##### a) Matière

- Manque de quelques pièces de rechange.
  - Pas de suivi régulier des pièces.
  - Inexistence de procédures de suivi.
- Pièces défectueuses non identifiées.
  - Pas de contrôle de pièces.
  - Procédures de contrôle non définies.
  - Responsabilités non définies.

##### b) Milieu

- Chariot désorganisé.
  - Pièces placées aléatoirement.
  - Pas de protocole pour l'organisation du chariot.
  - Plan d'organisation non développé.
  - Pas de contrôle régulier de chariot.

##### c) Méthode

- Absence de procédures standardisées.
  - Méthodes de travail non documentées.
  - Rôles et responsabilités non clairs.
- Manque d'entretien des pièces.
  - Pièces non inspectées régulièrement.
  - Pas de calendrier d'entretien préventif.
  - Pas de système de suivi des entretiens.
- Non répartition des tâches.
  - Tâches non assignées clairement.

- Pas de plan de répartition des tâches.
- Responsabilités non définies.
- Communication inefficace au sein de l'équipe.

##### d) Main d'œuvre

- Perte de temps dans la recherche d'outillage.
  - Non préparation des outillages à l'avance.
  - Outils nécessaires non identifiés à l'avance.
  - Pas de liste des outils nécessaires pour le processus de changement de format.
- Manque de connaissances pour quelques assistants.
  - Pas de programmes de formation spécifiques aux changements de format.
- Mouvements inutiles des opérateurs ou assistants.
  - Déplacer pour le réglage des compteurs.
  - Réglage manuel des compteurs.

##### e) Moyens

- Manque d'outillage de haute qualité.
  - Outils actuels non remplacés régulièrement.
- Disponibilité limitée des outils.
  - Pas suffisamment d'outils pour tout le personnel.
  - Outils non achetés en quantité suffisante.
  - Besoins en outils non évalués.

**II. Effet :** "Temps élevé pour changement de format".

Dans notre analyse, nous avons inclus toutes les causes dans un seul diagramme d'Ishikawa pour offrir une vue complète et cohérente du problème. Les causes directes initialement identifiées à travers la méthode Ishikawa sont représentées dans chaque catégorie principale (les 5M : Méthode, Matière, Milieu, Main d'œuvre, Moyens). En complément, comme nous avons déjà mentionné, nous avons utilisé la méthode des 5 Pourquoi pour approfondir notre recherche et identifier les causes racines. Ces causes racines sont également intégrées dans le même diagramme, permettant ainsi de visualiser à la fois les causes directes et les facteurs fondamentaux contribuant au problème.

La figure 3.2 représente le diagramme d'Ishikawa conçu par le logiciel Edrawmax.

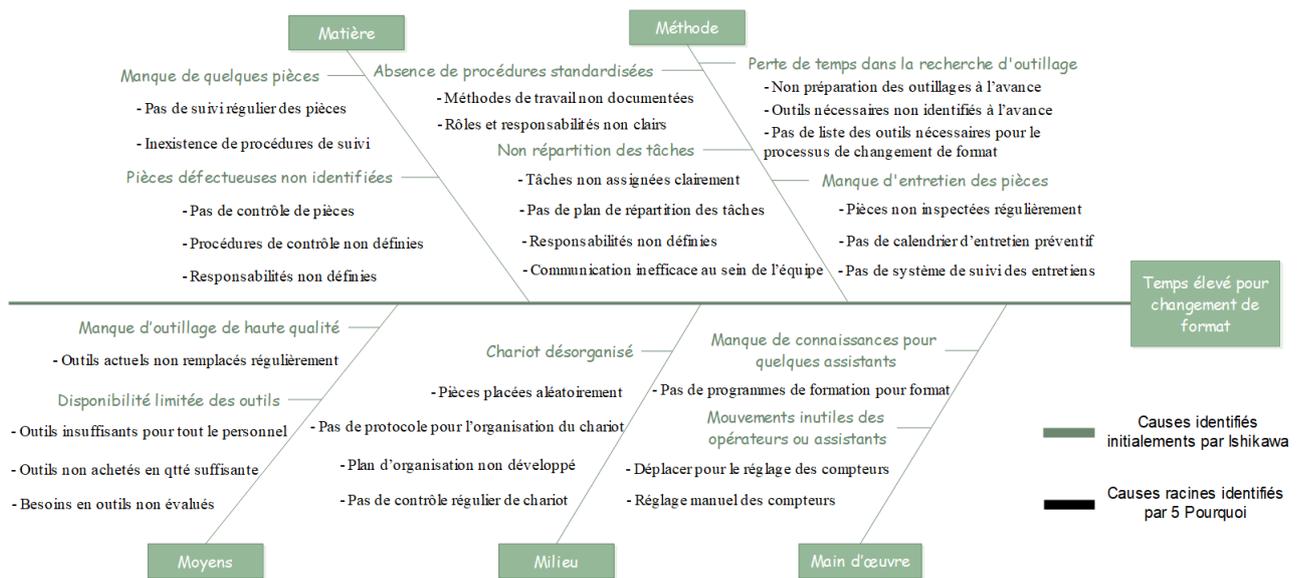


FIGURE 3.2 – Diagramme d'Ishikawa

Après avoir utilisé la méthode d'Ishikawa, nous avons pu identifier les principales causes impactant le temps de changement de format : manque de quelques pièces de rechange, pas de suivi des pièces, pièces défectueuses non identifiées, chariot désorganisé, pas de contrôle de chariot, absence de procédures standardisées, méthodes de travail non documentées, manque d'entretien des pièces, absence de plan de répartition des tâches, pas de liste des outils nécessaires pour le processus de changement de format, manque de connaissances pour quelques assistants, et mouvements inutiles des opérateurs en raison des allers-retours pour le réglage des compteurs. Pour remédier à ces problèmes, nous proposons des solutions adéquates : former et sensibiliser le personnel concerné par les changements de formats, appliquer la méthode des 5S pour organiser le chariot des pièces et assurer le suivi des pièces, mettre en place des standards de travail et affecter clairement les tâches aux employés, préparer les pièces de format et les outils avant le changement de format, établir des checklists pour la vérification des pièces et des outils nécessaires, réduire les déplacements des opérateurs en préparant les pièces devant chaque zone de la machine, ordonnancer les opérations et installer des étiquettes pour les compteurs afin d'optimiser les mouvements des opérateurs.

### 3.2.5 Phase 2 : Séparation des opérations internes et externes

La deuxième étape de la méthode SMED consiste à séparer les opérations internes et externes. Comme définit dans le premier chapitre de ce mémoire, les opérations internes sont celles qui ne peuvent être effectuées que lorsque la machine est arrêtée, tandis que les opérations externes peuvent être réalisées pendant que la machine est en fonctionnement. La séparation ou la distinction entre les opérations internes et les opérations externes permet de terminer la phase d'observation et de commencer la phase d'amélioration.

Nous avons constaté que presque la totalité des opérations lors du changement de format sont de type interne à l'exception de la préparation des pièces de format en les mettant en dehors du chariot des pièces.

### 3.2.6 Phase 3 : Externalisation des opérations

La troisième étape de la méthode SMED consiste à externaliser les opérations internes, c'est-à-dire à transformer le plus grand nombre possible d'opérations internes en opérations externes. L'objectif est de préparer et d'effectuer ces tâches pendant que la machine est en fonctionnement, ce qui réduit le temps nécessaire pour le changement de format. Cette externalisation nécessite une planification et des modifications organisationnelles ou techniques.

On note bien que dans notre cas, les différentes opérations à externaliser pendant le changement de format sont regroupées dans le tableau 3.5 :

TABLE 3.5 – Les opérations externes

Opérations externes
Préparation des pièces
Préparation des outillages
Positionnement des pochettes
Assurer la disponibilité des nouvelles pochettes
Nettoyage des pièces
Préparation des palettes pour mettre les pièces

### 3.2.7 Phase 4 : Rationalisation des opérations internes

La quatrième et dernière étape de la méthode SMED consiste à rationaliser les opérations internes. Après avoir séparé et externalisé un maximum d'opérations, il est essentiel de se concentrer sur l'optimisation des tâches qui doivent être effectuées pendant l'arrêt de la machine. Cette étape implique l'identification des améliorations possibles et les actions à mettre en œuvre. Par exemple, nous pouvons simplifier ou éliminer certaines étapes inutiles, standardiser les procédures de travail, ou réorganiser l'espace de travail pour minimiser les mouvements inutiles, etc. L'objectif est de réduire au minimum le temps nécessaire pour chaque opération interne, ce qui contribue directement à la réduction du temps global de changement de format. Pour cela, nous allons faire plusieurs actions.

### 3.2.7.1 Application de la méthode des 5S

Lors de l'analyse de l'état actuel effectuée au niveau du chariot des pièces de format, on a constaté qu'il existe des multiples anomalies ou problèmes telles que : le rangement des pièces en désordre, l'existence des objets inutiles encombrant le chariot, la non identification des différentes pièces, le manque d'entretien et de nettoyage, etc. D'où la nécessité d'appliquer la méthode des 5S pour une meilleure organisation des pièces. Les figures 3.3, 3.4 et 3.5 illustrent quelques anomalies trouvées sur le chariot.



FIGURE 3.3 – Pièces en désordre



FIGURE 3.4 – Non identification des pièces



FIGURE 3.5 – Saletés des pièces

Afin d'améliorer le rangement des pièces, l'efficacité et la sécurité tout en organisant l'environnement de travail de manière méthodique et systématique, on a pensé à appliquer la méthode des 5S sur le chariot qui contient les pièces de format.

#### 1) Seiri (Débarasser) :

La première étape consiste à trier et à éliminer tout ce qui n'est pas nécessaire dans l'environnement de travail. Pour appliquer cette étape on a fait les tâches suivantes :

- Identifier tous les outils, équipements, matériaux et documents présents dans le chariot.
- Évaluer chaque élément et déterminer s'il est nécessaire pour les opérations de changement de format.
- Retirer tout ce qui est inutile, ou non utilisé régulièrement pour les changements de format.
- Mettre en place des critères clairs pour décider ce qui doit être conservé et ce qui doit être éliminé.

Les figures 3.6, 3.7 et 3.8 décrivent les principales actions faites pour la première étape des 5S.



FIGURE 3.6 – Débarasser le chariot



FIGURE 3.7 – Trier les pièces



FIGURE 3.8 – Identifier les différentes pièces

## 2) Seiton (Classer) :

Une fois que les éléments essentiels sont triés, l'étape suivante consiste à ranger et à classer de manière organisée tout ce qui reste des pièces utiles. Pour cela, ces actions ont été mis :

- Identifier une place pour chaque élément, en fonction de : sa fréquence d'utilisation, son poids et sa taille, l'espace disponible, sa catégorie, son accessibilité et sa visibilité, etc.
- Consacrer deux zone pour le rangement de chaque format, soient Twin&Jumbo et Small.
- Effectuer un étiquetage des différents rayons, ainsi que les différentes pièces et outils nécessaires afin de faciliter leur identification.
- Identifier une zone d'attente qui contient des éléments à ranger ou à réparer ainsi que l'outillage.
- Prendre en compte les critères de sécurité et de l'ergonomie : Disposer les pièces à des hauteurs et des positions ergonomiques pour faciliter leur manipulation et réduire les risques de blessures liées à des mouvements répétitifs ou à une mauvaise posture.

Les figures 3.9, 3.10 et 3.11 illustrent les principales actions faites pour la deuxième étape des 5S.



FIGURE 3.9 – Ranger les pièces par format



FIGURE 3.10 – Étiquetage des pièces



FIGURE 3.11 – Classer les différentes pièces

### 3) Seiso (Nettoyer) :

Cette étape implique le nettoyage régulier de l'espace de travail pour assurer un environnement propre et sûr, ainsi que la maintenance et l'entretien des différentes pièces et outils de format. Les actions à faire sont :

- Effectuer un nettoyage de tous les pièces et les surfaces de travail.
- Assurer que les outils, les machines et les surfaces de travail sont nettoyés et entretenus régulièrement pour éviter l'accumulation de saletés.
- Planifier des routines de nettoyage régulières.

Les figures 3.12 et 3.13 illustrent les principales actions faites pour cette troisième étape des 5S.



FIGURE 3.12 – Nettoyage des pièces



FIGURE 3.13 – Nettoyage du chariot

#### 4) Seiketsu (Standardiser) :

Une fois que les pratiques de tri, de rangement et de nettoyage sont établis, la prochaine étape permet de les standardiser afin de maintenir la cohérence et l'efficacité de ces dernières. Les actions suivantes sont faites :

- Définir les emplacements fixes pour chaque pièce dans le chariot.
- Utiliser des indicateurs visuels sur le chariot (mise en place des étiquettes).
- Mettre en place des standards de nettoyage qui décrivent quand, comment et avec quel matériel effectuer le nettoyage du chariot.

Les figures 3.14, 3.15 et 3.16 illustrent les actions faites lors de l'étape de standardisation qui représente la quatrième étape des 5S.



FIGURE 3.14 – Dessin des emplacements fixes des pièces



FIGURE 3.15 – Étiquettes des pièces sur le chariot

Standard de nettoyage				
Action	Outils	Fréquence	Durée	Exécuteur
Nettoyage des pièces de format	Chiffon	Après chaque format	20 minutes	2ème assistant
Nettoyage du chariot	Chiffon + eau	Chaque mois	60 minutes	2ème assistant
Nettoyage du sol	Aspirateur	Chaque jour	5 minutes	Agent de nettoyage

FIGURE 3.16 – Standard de nettoyage

**5) Shitsuke (Maintenir) :**

La dernière étape de la méthode des 5S consiste à maintenir un engagement à long terme envers les pratiques 5S. Afin d’encourager le respect des normes établies, on a du faire :

- Utiliser des listes de contrôle pour surveiller la conformité aux normes établies.
- Impliquer tous les membres de l’équipe dans l’identification des opportunités d’amélioration continue et dans la mise à jour des procédures standard.
- Favoriser une culture d’amélioration continue où chaque employé se sent responsable de maintenir et tenir l’environnement de travail organisé et propre.
- Afficher une fiche descriptive de la méthode des 5S.
- Intégrer les 5S dans les processus de gestion et de planification stratégique de l’entreprise.

La figure 3.17 montre l’audit ou le questionnaire des 5S qui doit être effectué d’une façon périodique, généralement chaque mois, ainsi que la figure 3.18 montre la fiche des 5S affichée pour les employés.

### 5S Audit Form



<b>Audited Area:</b>		<b>Target score:</b>	
<b>Planned Audit Date:</b>		<b>Previous score:</b>	
<b>Performed Audit Date:</b>		Very satisfactory = 5    Unsatisfactory = 2 Satisfactory = 4        Poor = 1 Medium = 3	
<b>Auditor:</b>			
<b>Signature:</b>			

5S steps	Checkpoints	Point	Comments
1S Sort	No unnecessary materials or parts in the format cart		
	No machines or other unused equipment (tools, pallets, dies or similar items) in the area		
	Only work-related documents are stored in the work area. Are these documents properly stored and visible?		
2S Set in order	Storage racks and areas are marked with location indicators		
	Everything is in its place, except items currently used for work		
3S Shine	Floors are kept shiny, clean and free of dirt, grease and/or oil		
	Parts are cleaned regularly and kept clean of residues, grease and/or oil		
	Are cleaning responsibilities clear (understood and communicated)?		
4S Standardize	Standard procedures exist and are documented		
	Standard procedures are clear and understood		
	Standard procedures are actively used correctly		
5S Sustain	Has everyone received adequate 5S training?		
	Procedures are regularly updated and revised		
	Was the 5S audit carried out in this sector last month and the month before last?		
	Improvement notes are regularly produced		
	Improvement ideas from the last audit have been implemented		
	The results and conclusions of audits are communicated to all concerned		

Score =

FIGURE 3.17 – Audit 5S



FIGURE 3.18 – Fiche 5S

La mise en œuvre des règles 5S doit commencer par former les employés productifs sur tous les éléments 5S et les avantages de leur utilisation. Il est important que tous les participants à la formation comprennent la nécessité d'appliquer les règles 5S sur leur lieu de travail et soient ouverts aux changements. Lors de la formation, il est important d'expliquer l'application de toutes les règles à l'aide d'exemples concrets afin que chaque participant comprenne comment mettre en pratique les éléments des 5S.

**Remarque :** La figure 3.18 est présentée en arabe car elle est destinée aux opérateurs et assistants travaillant sur la ligne de production. Pour assurer une communication efficace, il est important que les informations soient claires et facilement compréhensibles. L'utilisation de l'arabe garantit que toutes les instructions et les données présentées sont bien comprises par l'ensemble du personnel, ce qui minimise les risques d'erreurs.

### 3.2.7.2 Standard de travail

Le changement du format nécessite l'intervention d'un opérateur ainsi que deux assistants. D'après l'observation des plusieurs changements de format et surtout le format Small, on a pensé à appliquer une nouvelle méthode de travail qui consiste à organiser l'environnement et préparer les pièces et l'outillage nécessaire pour le changement de format à l'avance, ensuite distribuer les tâches de telle sorte que chacun connaitre ses tâches tout au long du changement.

Dans ce contexte, ce standard de travail a été élaboré :

- L'opérateur occupe la partie bagger, bag handling et le homing.
- 1er assistant : Il occupe la partie stacker, la partie stack handling coté opérateur et les tâches bagger du côté bundling.
- 2ème assistant : Il occupe la partie stack handling coté drive et aide l'opérateur au niveau du bagger.

Nous avons décidé de répartir les opérations en attribuant les plus complexes, qui nécessitent l'intervention de plusieurs personnes, à l'opérateur et au 2ème assistant. Cette répartition vise à assurer une exécution sûre et optimisée. Les tâches moins complexes, pouvant être accomplies par une seule personne, ont été attribuées au 1er assistant. Cette affectation vise à optimiser les efforts de chaque membre de l'équipe tout en assurant le bon déroulement et la coordination des opérations de changement de format. L'affectation des opérations de changement de format aux ressources est donc représentée dans le tableau 3.6 :

TABLE 3.6 – Affectation des opérations de changement de format small

Exécuteur	Opération
1er assistant	Démontage Robot Pusher (1, 2, 3 et 4)
1er + 2ème assistant	Démontage hold down precompression
1er assistant	Démontage cassette
1er assistant	Démontage et ajustement stacker funnel guides
1er assistant	Montage précompression guides
1er + 2ème assistant	Montage hold down precompression
1er assistant	Montage cassette
1er assistant	Démontage side folder
1er assistant	Démontage pressure plate
1er assistant	Montage side folder
1er assistant	DL exit calibration
1er assistant	Montage pressure plate
1er assistant	Montage discharging guides
1er assistant	Montage Robot Pusher (1, 2, 3 et 4)
Opérateur + 2ème assistant	Démontage Linear Pusher
Opérateur + 2ème assistant	Démontage compr plates + hold down
Opérateur + 2ème assistant	Démontage compr table
Opérateur + 2ème assistant	Démontage shuttles
Opérateur	Démontage lower + upper suction rail
Opérateur + 2ème assistant	Montage compr plates
Opérateur + 2ème assistant	Montage shuttles
Opérateur + 2ème assistant	Montage pickup
Opérateur + 2ème assistant	Montage lower + upper suction rail
Opérateur	Montage nozzle air middle
2ème assistant	Montage Linear Pusher
Opérateur + 1er + 2ème assistant	Ajustements finaux
2ème assistant	Positionnement des pochettes
1er assistant	Nettoyage de la machine
Opérateur	Homing

### 3.2.7.3 Préparation des pièces de format et d'outillage avant le changement de format

Afin d'optimiser le processus ou le temps de changement de format il est nécessaire de préparer les pièces de format ainsi que l'outillage nécessaire pour les activités de changement de format avant le début de l'exécution, donc ceci est considéré comme une étape externe.

Dans ce contexte on a préparé des checklists pour chaque format que l'opérateur doit compléter avant l'enchaînement des étapes de changement de format (avant d'arrêter la machine de produire le produit actuel). Les figures 3.19 et 3.20 montrent ces checklists.

 <b>Format Parts Checklist Small Pack</b>					
<b>Equipment :</b> OPTIMA TCB26		<b>Date :</b>		<b>Time :</b>	
<b>Employees :</b>					
Format parts		Good	Damaged	Comments	
Stacker	Robot Pusher stacker N°1 				
	Stacker funnel guides 				
Stack Handling	Robot Pusher precompression N°2 				
	Hold Down Precompression OS / DS 				
	Robot Pusher Turning Station N°3 				
	Precompression DL funnel guide 				
	Turning cassette 				
	Robot Pusher stack handling N°4 				
	Stack handling dual lane 				
	Linear Pusher OS / DS 				
	Compression plate middle/ OS/ DS 				
Bagger	Shuttles × 4 				
	Shuttle table × 2 				
	Pick Up middle 				
	Lower suction rail (welding) 				
	Upper suction rail (welding) 				
	Nozzle air folding middle 				
	Side folder OS / DS 				
	Pressure plate DL 				
	Dual lane exit calibration 				
	Discharging guides × 2 				
	Tools	Clés Allen 			
		Clé 13, 17, 19			
		Maillet Caoutchouc 			
Small Pack Bags					

FIGURE 3.19 – Checklist format small

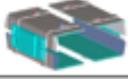
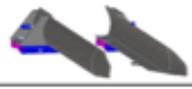
 <b>Format Parts Checklist TWIN / JUMBO</b>				
<b>Equipment :</b> OPTIMA TCB26		<b>Date :</b>		<b>Time :</b>
<b>Employees :</b>				
Format parts		Good	Damaged	Comments
Stacker	Robot Pusher stacker N°1 			
	Stacker funnel guides 			
Stack Handling	Robot Pusher precompression N°2			
	Hold Down Precompression OS / DS 			
	Robot Pusher Turning Station N°3 			
	Turning cassette 			
	Robot Pusher stack handling N° 4 			
	Linear Pusher OS / DS 			
Bagger	Compression plates 			
	Hold down Compression OS / DS 			
	Compression table 			
	Shuttles x 2 			
	Shuttle table 			
	Lower suction rail (welding) 			
	Upper suction rail (welding) 			
	Side folder OS / DS 			
Pressure plate SL 				
Tools	Clés Allen 			
	Clés 13, 17, 19			
	Maillet Caoutchouc 			
	TWIN / JUMBO Bags			

FIGURE 3.20 – Checklist format twin ou jumbo

### 3.2.7.4 Réduction des déplacements des opérateurs

Dans le but de réduire les déplacements des travailleurs lors du changement de format, on a pensé que les pièces de format doivent être divisées et préparées devant chacune des trois zones de la machine OPTIMA, soient stacker, stack handling et le bagger. Ainsi, l'affectation des opérations de changement de format aux opérateurs était mise d'une façon qui réduit les déplacements de ces derniers. La figure 3.21 montre la préparation des pièces de format devant chaque zone de la machine Optima.



FIGURE 3.21 – Préparation des pièces devant chaque zone de la machine

### 3.2.7.5 Ordonnement des opérations

Pour assurer le bon déroulement du changement de format et afin de mieux clarifier et optimiser l'exécution des différentes opérations, nous avons élaboré un ordonnancement détaillé et effectué une simulation à l'aide du célèbre logiciel de gestion de projets "MS Project". Cette simulation a permis de générer un diagramme de GANTT, qui décrit l'ordonnement de toutes les opérations ainsi que les responsables de leur exécution. La figure 3.22 illustre cet ordonnancement des opérations de changement de format.

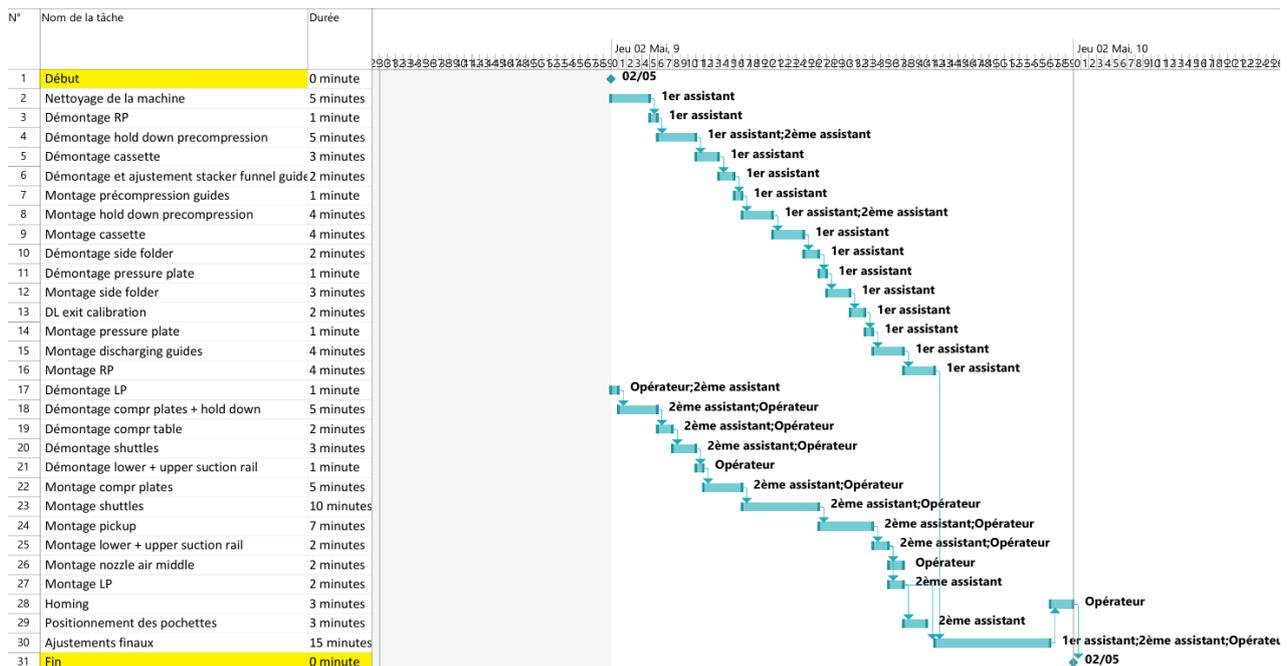


FIGURE 3.22 – Ordonnement des opérations de changement de format vers small

Ce diagramme de GANTT offre une vue d'ensemble claire et détaillée du processus de changement de format. Il permet de visualiser les différentes étapes, les durées associées et les responsables, facilitant ainsi la planification et l'exécution du changement de format. En optimisant l'ordonnancement des opérations et en clarifiant les responsabilités, il contribue à réduire les temps d'arrêt et à améliorer l'efficacité globale du processus. Toutefois, il est important de considérer que les durées réelles peuvent différer des estimations théoriques, nécessitant des ajustements et une flexibilité dans l'application pratique.

### 3.2.7.6 Mise en place des étiquettes pour les compteurs Benchmark

Il est à noter que le réglage des différents compteurs de la machine Optima se fait d'une façon manuelle. On a constaté que pour régler ces compteurs Benchmark l'opérateur ou ces assistants sont menés à déplacer à chaque fois vers l'interface homme machine pour voir la valeur qu'ils doivent mettre dans le compteur, et ça conduit à une perte du temps énorme qui peut dépasser les dix (10) minutes.

Afin d'optimiser ces temps de réglage des compteurs, on a préparé des étiquettes et on les a mis aux différents compteurs pour éliminer le déplacement des travailleurs à chaque fois vers l'interface homme machine.

Quelques étiquettes sont illustrées dans la figure 3.23 :



FIGURE 3.23 – Étiquettes pour les compteurs benchmark

### 3.2.7.7 Contrôle

Après avoir appliqué ces améliorations afin de rationaliser ou d'optimiser les opérations dites internes impliquant l'optimisation du temps de changement de format de Twin à Small, qui était l'objectif principal de notre projet, on doit passer maintenant à la finalisation de notre projet en faisant un contrôle et une visualisation des résultats obtenues après l'application de la méthode SMED.

## 3.3 Calcul des gains

Afin de calculer et d'évaluer les gains de notre projet en termes d'amélioration de la productivité des lignes de production de couches bébés au sein de l'unité de production d'hygiène, et ce grâce à la réduction du temps de changement de format, nous comparons les données avant et après la mise en œuvre du projet.

L'application de la méthode SMED sur la machine Optima a permis principalement de diminuer le temps de changement de format small après la mise en place de plusieurs améliorations. En conséquence, la méthode SMED a mené aussi à des gains remarquables en terme de disponibilité et de productivité.

### 3.3.1 Réduction du temps de changement de format

L'implémentation de la méthode SMED a permis de réduire le temps de changement de format de twin à small de plus de 120 minutes (ancien objectif fixé par l'équipe de production) à 95 minutes, après l'application des diverses améliorations mentionnées ci-dessus. Le tableau 3.7 montre les temps de changements de format small du janvier 2023 jusqu'au 29 avril 2024. Ces données sont ainsi illustrées dans la figure 3.24.

TABLE 3.7 – Temps de changement de format small

Date	Temps (min)
17.01.2023	117
19.02.2023	158
19.03.2023	109
04.04.2023	162
07.06.2023	116
29.07.2023	120
19.10.2023	197
15.11.2023	114
26.12.2023	163
27.03.2024	140
18.04.2024	118
29.04.2024	95

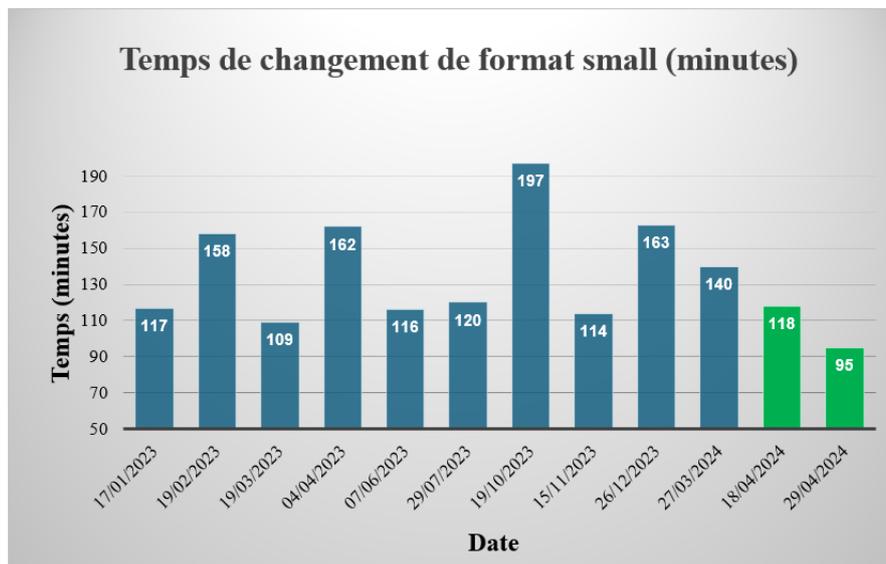


FIGURE 3.24 – Variations des temps de changement de format small

Ce diagramme illustre l'évolution du temps de changement de format de la machine Optima, passant du format Twin au format Small, sur une période de temps définie. Les 10 premières valeurs sur l'axe des abscisses (allant du 17/01/2023 au 27/03/2024) représentent les temps de changement avant l'application de la méthode SMED, tandis que les deux dernières valeurs (datées du 18/04/2024 et 29/04/2024) correspondent au temps de changement après la mise en œuvre de cette méthode.

Avant l'application de la méthode SMED, les temps de changement varient considérablement, dépassant généralement 120 minutes. On observe notamment des pics importants les 19/02/2023, 04/04/2023, et surtout le 19/10/2023, où le temps de changement atteint presque 200 minutes. Ces fluctuations indiquent un manque de régularité et des inefficacités dans le processus de changement de format.

Après l'application de la méthode SMED et la mise en place des différentes améliorations, le temps de changement de format diminue de manière significative, passant à environ 95 minutes le 29/04/2024. Cette réduction de temps met en évidence l'efficacité de la méthode SMED pour optimiser les processus de production et réduire les temps de changement de format.

La réduction du temps de changement après l'implémentation de SMED démontre une amélioration importante de la productivité et de la disponibilité de la machine.

### Calculs de la moyenne et de l'écart type :

Avant SMED :

- Moyenne ( $\mu$ ) :

$$\mu = \frac{117 + 158 + 109 + 162 + 116 + 120 + 197 + 114 + 163 + 140}{10} \approx 139.6 \text{ min}$$

- Écart Type ( $\sigma$ ) :

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{10} ((117 - 139.6)^2 + (158 - 139.6)^2 + \dots + (140 - 139.6)^2)} \approx 29,30 \text{ min}$$

Après SMED :

- Dernière valeur : 95 min

### Interprétation :

La moyenne des temps de changement de format avant l'application de la méthode SMED est de 139,6 minutes. Cette valeur représente le temps moyen que prenait un changement de format avant l'implémentation des améliorations apportées par le SMED. L'écart type de 29,30 minutes indique la dispersion des temps de changement autour de cette moyenne. Un écart type élevé, comme celui observé, implique qu'il y avait une grande variabilité dans les temps nécessaires pour effectuer un changement de format. Cela signifie que le temps de changement de format pouvait varier considérablement d'un cas à l'autre. Réduire cette variabilité par des pratiques standardisées et des améliorations continues est un des objectifs clés de la méthode SMED.

Ces résultats montrent qu'avant SMED les temps de changement de format n'étaient pas seulement longs mais également imprévisibles. En revanche, après l'application du SMED, une réduction significative des temps de changement de format a été observée, avec des valeurs enregistrées de 118 et 95 minutes. Comparées à la moyenne de 139,6 minutes, ces nouvelles valeurs montrent une nette amélioration en termes de temps de changement de format.

### 3.3.2 Amélioration de taux de performance

La réduction du temps de changement de format implique directement une amélioration de la disponibilité et de la productivité de la machine. On a traduit donc le gain du temps en terme de productivité (ou bien taux de rendement simplifié pour la machine Optima), le calcul est fait par rapport à une période de 8 heures (shift de production) avec une cadence de machine égale à 75% de celle maximale, qui est égale à 777 pcs/min. La formule utilisée pour le calcul est la suivante La formule utilisée pour le calcul du taux de rendement simplifié est la suivante :

$$\text{Taux de rendement simplifié} = \frac{Q - (T \times 0.75 \times C_{\max})}{Q}$$

Avec :

- Q : quantité totale produite par shift ( $480 \text{ min} \times 0.75 \times C_{\max}$ )
- T : temps de changement de format
- $C_{\max}$  : cadence maximale (777 pcs/min)

Le tableau 3.8 représente les valeurs correspondantes à chaque changement de format en termes de productivité.

TABLE 3.8 – Temps de changement de format et taux de performance

Date	Temps (min)	Taux de performance (%)
17.01.2023	117	75.62
19.02.2023	158	67.08
19.03.2023	109	77.29
04.04.2023	162	66.25
07.06.2023	116	75,83
29.07.2023	120	75
19.10.2023	197	58.96
15.11.2023	114	76,25
26.12.2023	163	66.04
27.03.2024	140	70.83
18.04.2024	118	75.42
29.04.2024	95	80.21

La figure 3.25 montre les variations du taux de performance, exprimées en pourcentages, dues aux changements de format, calculées par shift de 8 heures. Les 11 premières valeurs correspondent aux périodes avant l'application de la méthode SMED, et la dernière valeur après son application.

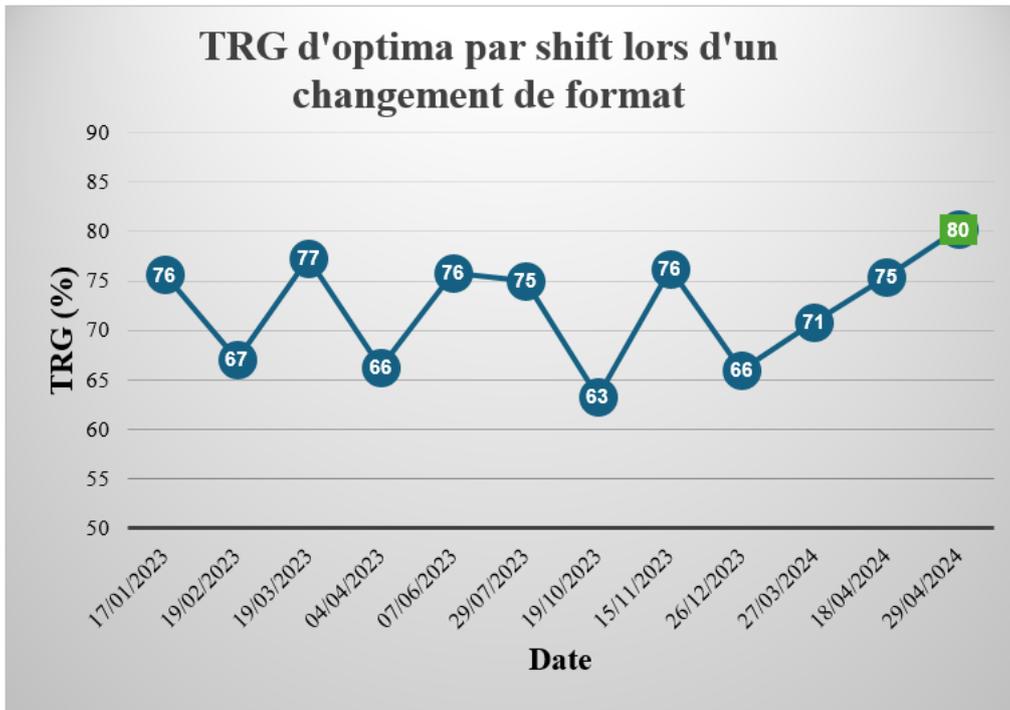


FIGURE 3.25 – TRG d’optima par shift lors d’un changement de format

Avant la mise en œuvre de SMED, le taux de performance varie en moyenne entre 60% et 75%, indiquant des fluctuations et des inefficacités dans le processus de changement de format.

Après l’application de SMED, la dernière valeur montre une augmentation de taux de performance, dépassant 80 %, le valeur la plus élevée de toute la série. Cette augmentation prouve l’efficacité de la méthode SMED pour l’optimisation des opérations de changement de format. En rationalisant les opérations et en externalisant certaines étapes, SMED a permis de réduire les temps de changement de format et d’augmenter la productivité et la disponibilité de la machine Optima. Ces résultats confirment que l’application de la méthode SMED conduit à une meilleure performance de la production.

**Remarque :** Nous nous sommes focalisés sur le changement de format small, car ce dernier présente le temps de changement le plus long par rapport aux autres formats. En conséquence, nous avons décidé de contrôler ce changement après l’application de la méthode SMED. De plus, toutes les améliorations mises en œuvre dans ce cadre peuvent être généralisées à d’autres changements de format. Par exemple, l’application de la méthode 5S sur le chariot des pièces s’applique à toutes les pièces, quel que soit leur format. De même, les checklists des pièces ont été élaborées pour couvrir tous les formats. Les standards de travail et l’affectation des opérations aux opérateurs sont également conçus pour être valables pour tous les formats. Cette approche garantit que les gains d’efficacité obtenus avec le format small se traduisent par des améliorations similaires pour les autres formats, créant ainsi une optimisation globale de notre processus de production.

### 3.4 Discussion

L'application de la méthode SMED dans notre projet, au sein de l'unité de production d'hygiène, a considérablement démontré des bons résultats en termes de réduction des temps de changement de format et d'augmentation de la productivité et de la disponibilité de la machine Optima, et ce sans investissement majeur. Initialement, le temps de changement de format était d'environ 140 minutes (moyenne des temps), ce qui impacte négativement la productivité.

Le processus de mise en œuvre de SMED a commencé par l'identification des différentes opérations de changement de format. Ensuite, nous avons séparé ces opérations en deux catégories : internes et externes. Cette étape nous a permis de déterminer quelles tâches peuvent être réalisées pendant que la machine est en fonctionnement. Une fois la distinction faite, nous avons externalisé le plus grand nombre possible d'opérations internes.

La rationalisation des opérations internes était la dernière étape du processus, où nous avons effectué des améliorations pour optimiser le processus de changement de format. Nous avons principalement organisé l'espace de travail en utilisant la méthode des 5S, standardisé les procédures, préparé des checklists des pièces et minimisé les mouvements inutiles. Ces actions ont permis de réduire le temps de changement de format à 95 minutes.

Le tableau 3.9 présente les objectifs et les résultats des temps de changement de format small :

TABLE 3.9 – Objectifs et résultats des temps de changement de format small

Objectif / Résultat	Temps (minutes)
Ancien objectif du temps de changement	120
Temps de changement actuel	95
Nouveau objectif fixé avec l'équipe	80

Ce tableau montre notre progression et les aspirations futures. Nous avons établi un nouveau objectif de 80 minutes pour le temps de changement de format small, que nous prévoyons d'atteindre en continuant à appliquer les principes de SMED et en maintenant l'amélioration continue. Ce nouvel objectif a été déterminé en collaboration avec l'ingénieur responsable de la ligne de production, en se basant sur les résultats de la simulation théorique, présentée dans la section "Ordonnancement des opérations" réalisée avec MS Project, qui présente, les durées estimées des opérations, présentées dans la figure 3.22.

Si on compare avec la moyenne des temps de changement déjà calculée (139,6 min), on trouve un taux de performance de 70%, tandis que la dernière valeur de 95 min implique un taux de 80%, ce qui représente une amélioration de 10%. L'impact de ces améliorations est clairement visible en termes de productivité, ce qui est présenté dans la figure 3.25. Ainsi, les bénéfices en termes de disponibilité de la machine sont également importants.

Il est important de noter que je maintiens un contact avec l'entreprise pour suivre la mise en œuvre continue des améliorations introduites par la méthode SMED. Des mesures supplémentaires ont été adoptées, et les résultats montrent de manière constante l'efficacité de cette méthode. Ces efforts supplémentaires ont renforcé les gains en termes de productivité, confirmant l'impact durable du SMED pour réduire les temps de changement de format et améliorer la performance globale de l'entreprise.

## 3.5 Amélioration continue

L'amélioration continue constitue une phase primordiale dans notre démarche d'optimisation des processus de changement de format. Après avoir mis en œuvre les actions correctives initiales et observé des améliorations notables, il est essentiel de maintenir cette dynamique pour garantir des gains durables et optimiser encore la performance de nos processus. Cette section détaillera les outils et méthodes utilisés, notamment la mise en place d'un tableau de bord de suivi des indicateurs clés de performance (KPI) et l'élaboration d'un plan de communication avec les parties prenantes, afin d'assurer la continuité des améliorations obtenues et d'identifier de nouvelles opportunités d'optimisation.

### 3.5.1 Création de tableau de bord

#### 3.5.1.1 Identification des Indicateurs Clés de Performance (KPI)

Pour suivre efficacement les résultats de l'implémentation du SMED, il est essentiel de choisir des Indicateurs Clés de Performance (KPI) pertinents. Les KPI choisis sont :

- Temps de changement de format (avant et après SMED).
- TRG d'optima par shift lors d'un changement de format.
- Réduction des temps d'arrêt.
- Taux de Rejets ou de Défauts

● **Temps de changement de format (avant et après SMED) :**

C'est le temps entre la dernière pièce bonne de la référence A et la première pièce bonne de la référence B.

● **Productivité de la ligne de production par shift (quand il y a format) :**

Ce KPI mesure l'efficacité de la ligne de production en tenant compte de la disponibilité, de la performance et de la qualité. Il représente le pourcentage de temps de production réellement productif par rapport au temps de production planifié. Le TRG se calcule en multipliant le taux de disponibilité, le taux de performance et le taux de qualité. Suivre le TRG permet d'identifier les impacts directs de la réduction des temps de changement de format sur l'efficacité globale de la production. Un TRG croissant est un indicateur clé de l'efficacité du SMED.

● **Réduction des temps d'arrêt :**

Ce KPI mesure le temps total d'arrêt de production dû aux changements de format.

Il permet de comparer les temps d'arrêt avant et après l'implémentation du SMED afin d'évaluer l'efficacité des nouvelles procédures et améliorations faites lors de l'application de SMED. Une réduction des temps d'arrêt indique une amélioration de la continuité de la production.

● **Taux de Rejets ou de Défauts :**

Ce KPI mesure le pourcentage de produits rejetés ou défectueux produits immédiatement après un changement de format. Cela inclut tous les produits qui ne répondent pas aux normes de qualité établies.

Il est égale au nombre de produits défectueux ou rejetés divisé par le nombre total de produits produits après un changement de format, multiplié par 100.

Suivre le taux de rejets ou de défauts permet de s'assurer que les changements de format n'affectent pas la qualité des produits. Une diminution de ce KPI indique une amélioration de la précision et de la qualité des changements de format.

**Remarque :** Les KPI de réduction des temps d'arrêt et de taux de rejets ou de défauts sont déjà suivis par l'équipe de production et ne seront pas inclus dans le nouveau tableau de bord de suivi du SMED.

Ces KPI doivent être intégrés dans des tableaux de bord régulièrement actualisés pour offrir une vue claire et en temps réel des performances de l'approche SMED. Ils permettront de mesurer les améliorations en termes de temps de changement de format, d'efficacité globale de la production et de réduction des interruptions. Une analyse régulière de ces KPI aidera à identifier les domaines nécessitant des améliorations et à démontrer les gains de performance obtenus grâce à l'optimisation des processus.

### 3.5.1.2 Conception des Tableaux de Bord

Afin d'assurer un suivi précis et optimal de l'amélioration continue de la méthode SMED, nous avons conçu un tableau de bord spécifique pour le suivi du SMED, intégrant les KPI du temps de changement de format et du TRG de la ligne de production. Ce tableau de bord permet une analyse ciblée et une prise de décision efficace en offrant des visualisations claires des tendances et des performances actuelles.

En utilisant l'outil Excel, ce tableau de bord montré dans la figure 3.26 est conçu pour être régulièrement mis à jour afin de fournir une vue en temps réel des performances, soutenant ainsi une culture d'amélioration continue au sein de l'organisation.

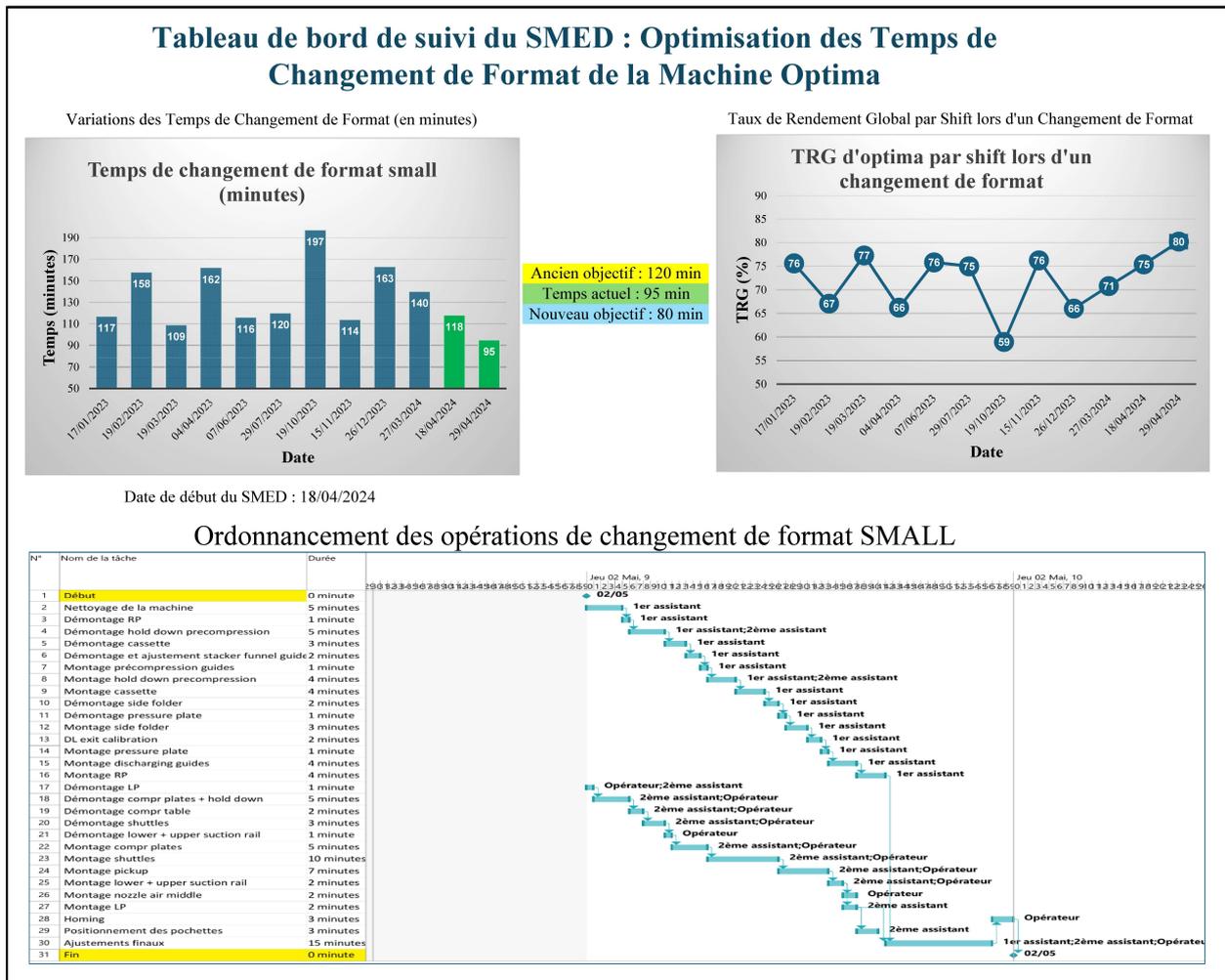


FIGURE 3.26 – Tableau de bord de suivi du SMED

### 3.5.1.3 Mise à Jour Régulière

Afin de garantir que le tableau de bord reste utile, sa mise à jour est essentielle pour suivre de près l'évolution de l'approche SMED et garantir une gestion efficace. En collaboration avec les équipes opérationnelles, nous veillons à la collecte régulière et fiable des données pertinentes, assurant ainsi que le tableau de bord reflète constamment la réalité du terrain. Cette actualisation fréquente permet de repérer rapidement les tendances, les écarts et les opportunités d'amélioration, tout en fournissant un aperçu en temps réel des performances. En utilisant Excel, on automatise autant que possible le processus de mise à jour, garantissant ainsi la fiabilité et la cohérence des informations présentées.

De plus, on organise régulièrement des réunions de revue avec les équipes concernées pour analyser les indicateurs clés et discuter des actions correctives ou des initiatives d'amélioration à entreprendre. Cette approche proactive nous permet de maintenir une culture d'amélioration continue, où les décisions sont prises en fonction de données actualisées, favorisant ainsi l'efficacité opérationnelle et la réussite de notre démarche SMED.

## 3.5.2 Élaboration du Plan de Communication

### 3.5.2.1 Identification des Parties Prenantes

L'identification des parties prenantes est la première étape dans l'élaboration du plan de communication pour l'application du SMED. Il est essentiel de déterminer toutes les personnes et équipes qui seront impliquées par les changements apportés et qui doivent être informées des progrès et des résultats. Les principales parties prenantes incluent :

- L'équipe de production, qui est en lien direct avec la machine et les outils.
- La direction générale, qui a besoin de comprendre les gains de productivité et le retour sur investissement.
- Le service de maintenance, qui est responsable des biens et de la diminution des temps d'arrêt.
- Les opérateurs de machines, qui exécutent les changements de format.
- Le département de qualité, qui surveille l'influence des changements de format sur la qualité des produits.

En identifiant ces parties, nous pouvons définir par la suite les flux informationnels et les méthodes de communication pour répondre aux besoins spécifiques de chaque partie et assurer la compréhension.

### 3.5.2.2 Élaboration du Plan de Communication

Pour élaborer le plan de communication, nous avons mis en place divers moyens pour garantir que les informations sur l'approche SMED soient diffusées de manière efficace et cohérente. Les informations nécessaires doivent être transmises lors de réunions pour discuter des progrès et des ajustements nécessaires, accompagnées de rapports mensuels détaillés décrivant les performances et les améliorations. De plus, des affichages sur site permettent aux équipes de surveiller les indicateurs clés et les progrès en temps réel. Enfin, l'utilisation des e-mails pour tenir tous les membres de l'équipe et les parties prenantes informés, garantissant ainsi la transparence et une communication continue.

### ● Réunions :

Les réunions sont un moyen efficace de maintenir une communication régulière et directe avec l'équipe de production et les superviseurs. À travers ces réunions, on peut présenter les KPI actuels, discuter des problèmes rencontrés et partager les solutions mises en œuvre. En intégrant les résultats des tableaux de bord dans ces réunions, il est possible de visualiser les progrès réalisés et de maintenir une focalisation sur les objectifs de réduction des temps de changement d'outils et d'amélioration de la productivité.

### ● Rapports mensuels :

Les rapports mensuels sont conçus pour fournir à la direction et aux principales parties prenantes un aperçu des performances et des progrès de la mise en œuvre du SMED. Ces rapports doivent inclure des résumés des KPI clés, une analyse des tendances et des évaluations du retour sur investissement. En détaillant les gains de productivité, les réductions des temps d'arrêt et les améliorations des processus, ces rapports aident à justifier les investissements et à identifier les domaines qui nécessitent des ajustements stratégiques.

### ● Affichages sur Site :

Les affichages sur site doivent être intégrés dans notre projet SMED pour tenir tous les employés informés des progrès et des performances de la mise en œuvre du SMED. Ces affichages, placés directement dans la zone de production, doivent montrer les KPI actuels, les objectifs et les derniers progrès à tous, y compris aux opérateurs et assistants de production, d'une manière simple et facile à comprendre. Ils doivent être mis à jour pour refléter les données les plus récentes et utiliser des indicateurs visuels clairs, tels que des codes couleur ou des graphiques simples, pour avoir une compréhension rapide. Cette visibilité contribue à renforcer l'importance de SMED et à promouvoir une culture d'amélioration continue. Les affichages à mettre sont :

- le temps moyen de changement de format (avant et après SMED) ainsi que les objectifs.
- TRG d'optima par shift lors d'un changement de format.
- le nouveau standard de travail
- les checklists des pièces de format.
- le standard de nettoyage du chariot (5S), et la fiche des 5S.

### ● Emails :

Les emails sont des outils de communication essentiels pour atteindre un large public au sein de l'organisation et maintenir tous les niveaux informés des avancées de l'implémentation du SMED. Ces communications doivent inclure des mises à jour régulières sur les résultats obtenus, des histoires de succès, et des meilleures pratiques. En partageant ces informations de manière régulière, nous pouvons maintenir l'engagement autour des initiatives de SMED. Ils permettent également de reconnaître les contributions des équipes et des individus et de renforcer la motivation et l'esprit d'équipe.

### 3.5.2.3 Feedback et Ajustements

Encourager les parties prenantes à donner leur feedback sur les résultats et la manière dont ils sont communiqués. Utiliser ce feedback pour ajuster et améliorer le processus de communication et les tableaux de bord. Organiser des séances de brainstorming ou des ateliers pour discuter des résultats et des moyens d'amélioration continue.

## 3.6 Conclusion

En conclusion, ce chapitre a mis en lumière l'impact significatif de la mise en place de la méthode SMED sur l'optimisation des temps de changement de format au sein de notre système de production. Nous avons commencé par une identification précise des problèmes initiaux, notamment les temps de changement trop longs et l'inefficacité des opérations associées. La mise en œuvre des quatre phases du SMED a permis non seulement de rationaliser ces opérations, mais aussi de créer une culture d'amélioration continue et d'efficacité opérationnelle.

Les améliorations apportées, telles que l'organisation des chariots des pièces selon la méthode des 5S et la création de standards de travail, ont conduit à une réduction significative des temps de changement, avec des gains mesurables en termes de productivité et de performance. La préparation minutieuse des pièces et l'affectation stratégique des tâches ont permis de minimiser les interruptions et d'améliorer la fluidité du processus de changement de format.

L'analyse des gains obtenus montre une amélioration tangible, démontrant l'efficacité de la méthode SMED dans notre contexte industriel. En outre, la mise en place d'un tableau de bord pour le suivi des KPI et d'un plan de communication pour assurer l'engagement des parties prenantes, nous a permis de pérenniser les résultats obtenus et de créer une base solide pour les améliorations futures.

Ainsi, ce chapitre a non seulement illustré les bénéfices immédiats de l'implémentation de la méthode SMED, mais a également jeté les bases d'une démarche d'amélioration continue, essentielle pour maintenir et développer notre compétitivité industrielle à long terme.

# Conclusion générale

Ce mémoire a exploré la mise en œuvre de la méthode SMED (Single Minute Exchange of Die) dans le but de réduire les temps de changement de format au sein de l'entreprise SARL HAYAT DHC. L'objectif principal était de montrer comment cette approche, ainsi que toutes les approches du Lean Manufacturing, pouvaient améliorer la productivité et la compétitivité de l'entreprise sans nécessiter de gros investissements financiers.

À travers l'étude de cas sur la ligne de production des couches bébé et spécifiquement la machine OPTIMA, nous avons appliqué les quatre phases de la méthode SMED : identification des opérations, distinction des opérations internes et externes, conversion des opérations internes en opérations externes, et rationalisation des opérations. Les résultats obtenus montrent une réduction significative des temps de changement de format, passant d'environ 140 minutes (la moyenne des temps de changement de l'année passée) à 95 minutes, avec un taux de rendement qui s'élève à 80%, marquant une augmentation de 10% en le comparant avec le taux moyen, ce qui représente une augmentation de la disponibilité des machines et une amélioration de la productivité de toute la ligne de production.

La contribution de ce travail réside non seulement dans l'implémentation pratique de la méthode SMED, mais également dans la création de normes et standards de travail et de bonnes pratiques pour les changements de format. Ces standards ont été intégrés dans un processus d'amélioration continue, essentiel pour maintenir les gains en termes de productivité à long terme.

Cette étude a mis en évidence l'importance de la formation et de l'implication des opérateurs et tout le personnel concerné par le processus de changement de format en particulier et par les processus de production en général. En développant une culture d'amélioration continue et en standardisant les processus, l'entreprise peut assurer une performance durable et compétitive.

En conclusion, ce mémoire propose une solution pratique et efficace pour réduire les temps de changement de format. L'application de la méthode SMED a permis non seulement d'améliorer les performances opérationnelles, mais aussi de renforcer la culture d'amélioration continue au sein de l'entreprise SARL HAYAT DHC. Les résultats obtenus peuvent servir de modèle pour d'autres lignes de production et entreprises qui souhaitent optimiser leurs processus sans engager de lourds investissements.

En perspective à notre étude, il est possible de continuer à améliorer les processus pour atteindre un temps de changement de format small de 80 minutes. A titre d'exemple, l'intégration de technologies avancées de suivi et d'analyse des données pourrait affiner les processus et identifier de nouvelles opportunités d'optimisation. De plus, le développement de programmes de formation continue pour le personnel permettrait de maintenir les gains réalisés et de garantir une adaptation rapide aux futurs défis de production. Enfin, l'application de la méthode SMED à d'autres machines et lignes de production pourrait uniformiser les gains de productivité à travers l'ensemble de l'entreprise. La mise en place d'une plateforme de retour d'expérience pour partager les meilleures pratiques et les leçons apprises entre les équipes renforcerait l'efficacité de l'amélioration continue.

# Annexe

# Annexe A

## Généralités sur le Lean Manufacturing

### A.1 Lean manufacturing

#### 1.1.1 Historique du Lean Manufacturing et son invention

• **1913. Fordisme :**

Tout d'abord, Henry Ford a créé le fordisme bien avant que le terme Lean Manufacturing soit utilisé pour la première fois [2].

**Définition du fordisme :**

Organisation industrielle visant à augmenter la productivité des chaînes de montage par la réorganisation du travail. La réorganisation du travail chez Ford a conduit aux premiers concepts Lean : [2]

- Réduction des gaspillages et des pertes.
- Standardisation des produits, des procédés de fabrication et des tâches de production.
- Juste à temps : amélioration de la Supply Chain pour ajuster l'approvisionnement de matières en fonction de la demande.

• **1924. Jidoka (autonomation) :**

Deuxièmement, Sakichi Toyoda conçoit et met en place les premières machines qui détectent les pannes et s'arrêtent automatiquement [2].

**Définition du Jidoka :**

Méthode qui consiste à stopper automatiquement le travail et la machine dès qu'un problème est détecté pour éviter de produire des pièces défectueuses.

L'idée principale de l'automatisation est d'améliorer la qualité des produits en détectant les défauts le plus tôt possible dans le processus de fabrication. Plus un défaut est découvert en retard, plus le coût est élevé (coûts de non-qualité). Sakichi Toyoda pensait que cette méthode était plus efficace et plus rentable que le contrôle qualité (et la correction) en fin de chaîne.

Il s'agit d'une vision nouvelle car cette méthode préconise d'arrêter la production (le plus court possible) pour éviter de produire des pièces défectueuses (rebut).

Cette innovation va révolutionner l'industrie japonaise. En effet, un seul opérateur pourra désormais surveiller plusieurs machines et intervenir uniquement sur une machine défaillante. De plus, en confiant à des humains la responsabilité du parc de machines, les humains sont impliqués de manière significative dans le processus de production [2].

### • 1962. Toyota Production System (TPS) :

Enfin, au cours des trois dernières décennies, l'héritage idéologique de Sakichi (père de la révolution industrielle japonaise et fondateur de Toyota Industries, décédé en 1937) a évolué sous l'impulsion des membres de sa famille qui ont repris l'entreprise familiale.

La famille Toyoda a également abandonné l'industrie des métiers à tisser et s'est lancée dans l'industrie automobile, créant le système de production Toyota « Toyotisme » et développant le Lean Manufacturing [2].

**Définition du Toyotisme :** organisation de la chaîne d'approvisionnement en juste à temps. Le Toyotisme préconise de tirer le produit fini tout au long de la chaîne de production. L'approvisionnement des pièces détachées se fait alors au bon moment, au bon endroit, en bonne quantité et sans gaspillage.

Cette méthode contraste avec les méthodes occidentales traditionnelles. Ces dernières ont planifié et imposé d'importants stocks de pièces afin de pousser la production d'un maximum de pièces, sans se soucier de la demande réelle.

On parle donc d'une production tirée par la demande plutôt que poussée par anticipation. Cela signifie que la production de TPS répond à des demandes spécifiques [2].

La figure 1.1 montre l'évolution du Lean Manufacturing au fil du temps.

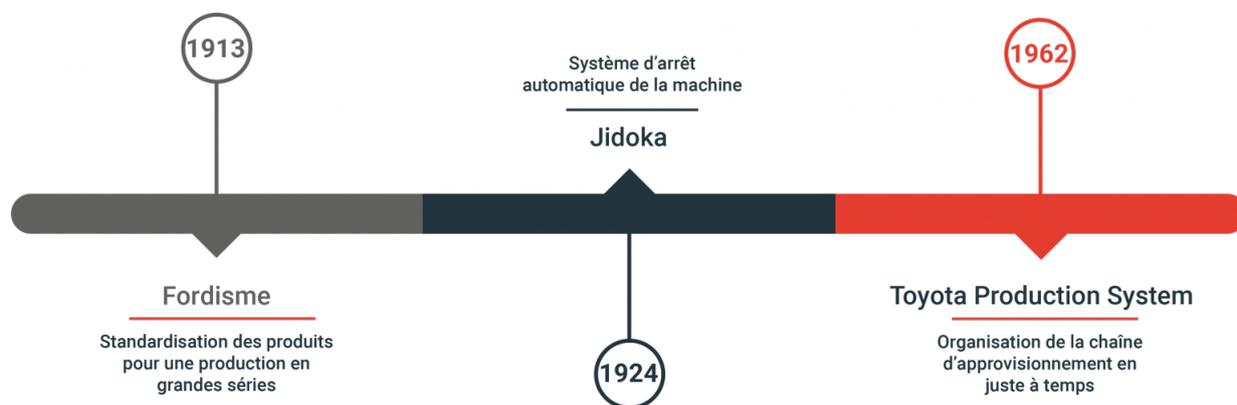


FIGURE 1.1 – Histoire du Lean Manufacturing [2]

## A.2 Méthode SMED

### 1.2.1 Historique de la méthode SMED

Selon Shigeo Shingo, la méthode SMED a évolué à partir de trois étapes : [1]

#### Naissance du SMED :

En 1950, Shigeo Shingo a mené une enquête sur l'amélioration de l'efficacité dans l'usine Mazda de Toyo Kogyo à Hiroshima, qui fabriquait à l'époque des véhicules à trois roues. Toyo voulait éliminer les goulets d'étranglement causés par les grandes presses à mouler les carrosseries - presses de 350, 750 et 800 tonnes - qui ne fonctionnaient pas à pleine capacité. Il savait déjà que les presses étaient la cause des goulets d'étranglement et avait affecté ses employés les plus compétents et les plus consciencieux à leur travail. Les trois presses fonctionnaient 24 heures sur 24 et il estimait que le seul moyen d'améliorer encore la productivité était d'acheter de nouvelles machines, ce qui était exactement ce qu'il espérait de la part de la direction générale.

Shigeo Shingo a demandé de faire une analyse. Lors du changement de matrice sur la presse de 800 tonnes, l'opérateur n'arrivait pas à trouver un boulon. Au bout de plus d'une heure, l'opérateur a emprunté un long boulon à matrice à la machine voisine. Il l'a coupé pour le rendre plus court, puis il l'a fileté. C'est ce qui a pris tant de temps.

Donc on constate que les opérations de réglage étaient en fait de deux types fondamentalement différents :

- Le réglage interne (IED), comme le montage ou le démontage des matrices, qui ne peut être effectué que lorsque la machine est à l'arrêt.
- Le réglage externe (OED), tel que le transport des anciennes matrices vers le stockage ou l'acheminement des nouvelles matrices vers la machine, qui peut être effectué lorsqu'une machine est en fonctionnement.

La préparation des boulons est une opération externe. Il était insensé d'arrêter le fonctionnement d'une presse de 800 tonnes parce qu'il manquait un boulon.

Ils ont mis en place un processus pour trier tous les boulons et mettre les boulons nécessaires dans des boîtes. Ils ont également amélioré la procédure en réalisant tous les aspects possibles de l'installation en externe. Cela a permis d'augmenter l'efficacité d'environ 50 % et de dissiper le goulot d'étranglement.

Depuis cet épisode, Shigeo Shingo a pour principe de faire une distinction claire entre l'organisation interne et l'organisation externe. C'est ainsi que le nouveau concept SMED a fait ses premiers pas à Toyo ICogyo.

### **Deuxième étape : Conversion des tâches internes en tâches externes**

Au cours de l'année 1957, il a effectué une étude sur le chantier naval de Mitsubishi Heavy Industries à Hiroshima. Le problème était qu'une grande raboteuse ouverte utilisée pour usiner les lits des moteurs diesel ne fonctionnait pas à pleine capacité et qu'ils souhaitaient rationaliser l'opération.

Après avoir analysé la production, il a rendu compte que la procédure de marquage pour le centrage et le dimensionnement du banc moteur était effectuée sur la table de la raboteuse elle-même. Cela réduisait considérablement le taux d'exploitation. Donc il a pensé à installer une deuxième table de rabotage et afin d'effectuer l'opération de réglage séparément, ce qui réduirait considérablement le temps d'interruption de l'opération de rabotage pour chaque réglage.

Cette solution a permis d'augmenter la productivité de 40 %. La apparaît l'idée de la conversion d'une installation interne en une installation externe, le concept SMED aurait été perfectionné.

### **Troisième étape :**

En 1969, il a visité l'atelier de carrosserie de l'usine principale de Toyota Motor Company. Ils avaient une presse de 1 000 tonnes qui nécessitait quatre heures pour chaque changement de réglage.

Ils ont distingué clairement les réglages internes et externes (IED et OED), en essayant d'améliorer chacun d'entre eux séparément. Au bout de six mois, le temps de préparation a été réduit à quatre-vingt-dix minutes.

Après avoir converti IED en OED, ils ont pu atteindre l'objectif des trois minutes après trois mois d'efforts assidus. Dans l'espoir que toute installation puisse être réalisée en moins de dix minutes, Shigeo Shingo a baptisé ce concept de "single-minute exchange of die" (SMED).

Le SMED a été par la suite adopté par toutes les usines Toyota et a continué d'évoluer comme l'un des principaux éléments du système de production Toyota. Son utilisation s'est maintenant étendue à des entreprises dans tout le Japon et dans le monde entier.

Ce passage souligne l'impact de la réduction des temps de préparation sur l'amélioration de l'ensemble des activités de production. Il est le fruit d'une réflexion de plus en plus approfondie sur les aspects pratiques et théoriques de l'amélioration de la préparation.

En conséquence, le SMED est basé sur la théorie et sur des années d'expérimentation pratique. Il s'agit d'une approche scientifique de la réduction des temps de réglage qui peut être appliquée dans n'importe quelle usine à n'importe quelle machine.

## A.3 Méthode des 5S

### 1.3.1 Étapes de mise en œuvre des 5S

#### 1.3.1.1 Seiri (Débarrasser)

Un bon tri identifie les matériaux, les outils, l'équipement et les informations nécessaires pour accomplir une tâche. La séparation élimine les déchets (matières premières et matériaux), les éléments non conformes et les outils endommagés, contribue au maintien de la propreté du lieu de travail, à l'amélioration de l'efficacité de la recherche et de la réception des produits et à la réduction du temps de fonctionnement.

Mise en œuvre de la règle 1S [29] :

A) Dans un premier temps, on doit répondre aux questions dites de contrôle :

Des choses inutiles provoquent-elles le désordre sur le lieu de travail ? Les restes de matériaux inutiles sont-ils jetés quelque part sur le lieu de travail ? Y a-t-il des outils de production ou des déchets sur la zone de travail ? Tout ce dont on a besoin est-il catégorisé, catalogué, décrit et a-t-il sa propre place ? Tous les instruments de mesure sont-ils correctement classés et stockés ?

Répondre aux questions ci-dessus permettra d'évaluer le lieu de travail en termes d'espace de travail. Si la réponse à l'une des questions est positive, vous devez classer les objets trouvés sur le lieu de travail.

B) Deuxièmement, tout ce qui se passe sur le lieu de travail doit être vérifié et regroupé selon un certain système. En fonction du tri effectué, les objets classés inutilisables doivent être retirés du lieu de travail.

C) Pour une utilisation à long terme, la règle 1S est appelée programme label rouge. Les articles que les travailleurs jugent inutiles sur le lieu de travail sont marqués d'une étiquette rouge. Grâce à cette étiquette, on peut non seulement éliminer ce qui est en cause, mais également éliminer la raison pour laquelle cela se produit sur le lieu de travail, grâce à sa formule unique.

#### 1.3.1.2 Seiton (Classer)

La visualisation du lieu de travail est particulièrement importante (ex : peindre le sol pour identifier l'emplacement de stockage et l'itinéraire de transport de chaque matériau, dessiner la forme des outils pour les stocker rapidement dans un endroit fixe, des étiquettes de couleur pour identifier les équipements, pièces de rechange, documentation, etc).

Les objets utilisés occasionnellement ou rarement doivent être conservés sur le lieu de travail, mais en dehors de la zone d'utilisation directe. La distance du lieu de travail dépend de la fréquence d'utilisation de ces matériaux et outils. Le lieu de stockage doit être marqué de manière à pouvoir être facilement identifié. Il peut s'agir de lignes colorées, de panneaux, de diagrammes d'outils, etc. Une fois définis, les emplacements et méthodes de stockage doivent être invariable.

#### 1.3.1.3 Seiso (Nettoyer)

Le nettoyage régulier permet d'identifier et d'éliminer les sources d'encombrement et de maintenir la propreté des lieux de travail. Lors du nettoyage, il faut tenir compte de la propreté des machines, des postes de travail et des sols, de l'étanchéité des équipements, de la propreté des conduites, des tuyaux et des sources lumineuses, des données actuelles ainsi que de la lisibilité et de la compréhensibilité des informations fournies.

De plus, il convient de donner attention à la propreté personnelle de l'opérateur.

#### 1.3.1.4 Seiketsu (Standardiser)

Créer et appliquer des standards sous forme de procédures et d'instructions pour conserver l'ordre sur le lieu de travail. Les règles doivent être très communicables, claires et faciles à comprendre. Toutes les personnes impliquées dans le processus sur leur lieu de travail respectif, c'est-à-dire les employés directs, doivent être impliquées dans la préparation et l'amélioration. Ce groupe connaît le détail de ses activités et de son processus de développement et offre par la suite, par son utilisation, l'opportunité de comprendre la nature et tous les aspects de son fonctionnement. Les règles obligatoires doivent être affichées dans un endroit cohérent et visible pour garantir un accès facile pour tous.

Il est envisagé que les lignes directrices soient mises en œuvre non seulement dans les processus opérationnels typiques tels que la production, la maintenance et le stockage, mais également dans les processus administratifs tels que la comptabilité, le service client, la gestion des ressources humaines et les services de secrétariat. [29, 34].

#### 1.3.1.5 Shitsuke (Maintenir)

La mise en pratique du concept 5S nécessite une autodiscipline ciblée de la part des employés ainsi que la pratique et le respect de la régularité dans le nettoyage et la séparation. Le résultat est une sensibilisation accrue des employés, une diminution des produits et des processus non conformes et une amélioration de la communication et des relations internes.

Il est également important de comprendre la nécessité d'effectuer des inspections périodiques selon les règles 5S. L'inspection est effectuée à l'aide d'une liste de contrôle et, sur cette base, une carte radar 5S est créée et utilisée pour les évaluations du lieu de travail. L'état de mise en œuvre des règles 5S est vérifié une fois par mois par l'équipe de mise en œuvre des règles 5S et l'équipe de suivi. [35].

### 1.3.2 Avantages des 5S

Les avantages de la mise en œuvre de la méthode des 5S sont : [35, 29, 36]

#### 1 S :

- Amélioration des processus par la réduction des coûts.
- Réduction des stocks.
- Meilleure utilisation de l'espace de travail.
- Prévention de la perte d'outils.

#### 2 S :

- Amélioration des processus (augmentation de l'efficacité et de l'efficience).
- Réduction du temps de recherche des éléments nécessaires.
- Amélioration de la sécurité.

#### 3 S :

- Augmentation de l'efficacité des machines.
- Maintien de la propreté des appareils.
- Amélioration de l'entretien et de l'efficacité des machines.
- Maintien de la propreté du lieu de travail, facilité de contrôle.
- Information rapide sur les dégâts (sources potentielles des dégâts).
- Amélioration de l'environnement de travail.
- Élimination des causes d'accidents.

**4 S :**

- Amélioration de la sécurité et réduction de la pollution de l'industrie.
- Élaboration des procédures définissant le déroulement des processus.

**5 S :**

- Augmentation de la sensibilisation et du moral.
- Diminution des taux d'erreurs involontaires.
- Procédures conformes aux décisions.
- Amélioration des processus de communication interne.
- Amélioration des relations interhumaines.

## Annexe B

# Présentation du cas d'étude : la machine OPTIMA

## B.1 Hayat Kimya Holding

### 2.1.1 Les prix de Hayat Kimya Holding

En tant qu'acteur mondiale de l'industrie FMCG, Hayat continue d'investir dans ses marques, ses installations de classe mondiale et ses collaborateurs à travers le monde. Hayat est le 4e plus grand fabricant de couches pour bébés de marque au monde et le plus grand fabricant de mouchoirs en papier d'Afrique, Du Moyen-Orient et d'Europe de l'Est, le groupe Hayat apprécie les prix et les réalisations, comme le reflet de son travail dévoué pour établir des marques durables. Des produits de haute qualité et des relations solides avec ses parties prenantes, différents types de prix et pour toutes ses marques, dans différents pays producteurs ou distributeurs de Hayat. La figure 2.1 montre différents prix que Hayat possède.



FIGURE 2.1 – Prix de Hayat Kimya Holding

# Bibliographie

- [1] Shigeo Shingo. *A revolution in manufacturing : the SMED system*. Routledge, 2019.
- [2] Astrée Software. Lean manufacturing : définition, outils, implémentation. <https://www.astree-software.fr/conseils/performance-industrielle/lean-manufacturing/>. Accessed : 06-06-2024.
- [3] Wevalgo. Les cinq principes du lean de «lean thinking» de womack, jones et roos. <https://www.wevalgo.com/fr/savoir-faire/gestion-lean/lean-vrai-principes>. Accessed : 06-06-2024.
- [4] Frédéric Leveugle. Smed (single minute exchange of die). <https://flconsultants.fr/lean-manufacturing/smed-single-minute-exchange-of-die/>. Accessed : 06-06-2024.
- [5] Jugraj Singh Randhawa and Inderpreet Singh Ahuja. 5s—a quality improvement tool for sustainable performance : literature review and directions. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 34(3) :334–361, 2017.
- [6] Yves Lebrasseur. Le 5s : comment bien implanter et pérenniser le lean manufacturing ? <https://blog.proactioninternational.com/fr/lean-management-implantation-5s>. Accessed : 06-06-2024.
- [7] James P Womack and Daniel T Jones. Lean thinking—banish waste and create wealth in your corporation. *Journal of the Operational Research Society*, 48(11) :1148–1148, 1997.
- [8] Yu Cheng Wong and Kuan Yew Wong. A lean manufacturing framework for the malaysian electrical and electronics industry. In *Proceedings of the 3rd International Conference on Information and Financial Engineering*, volume 12, pages 30–34, 2011.
- [9] Michael A Lewis. Lean production and sustainable competitive advantage. *International journal of operations & production management*, 20(8) :959–978, 2000.
- [10] R Eugene Goodson. Read a plant-fast. *Harvard business review*, 80(5) :105–113, 2002.
- [11] Lean Advancement Initiative et al. Lean enterprise self-assessment tool (lesat) version 1.0. 2001.
- [12] Taiichi Ohno and Muhammad Syariff Paridudin. *Sistem Pengeluaran Toyota : Melangkaui Pengeluaran Skala Besar*. Move Associations, 2010.
- [13] Berna Ulutas. An application of smed methodology. *International Journal of Industrial and Manufacturing Engineering*, 5(7) :1194–1197, 2011.
- [14] Francisco Moreira, Anabela C Alves, and Rui M Sousa. Towards eco-efficient lean production systems. In *International conference on information technology for balanced automation systems*, pages 100–108. Springer, 2010.
- [15] Shigeo Shingo. *The sayings of Shigeo Shingo : Key strategies for plant improvement*. Routledge, 2018.
- [16] Edward D Arnheiter and John Maleyeff. The integration of lean management and six sigma. *The TQM magazine*, 17(1) :5–18, 2005.
- [17] Tony Bendell. A review and comparison of six sigma and the lean organisations. *The TQM magazine*, 18(3) :255–262, 2006.
- [18] Joseph C Chen, Ye Li, and Brett D Shady. From value stream mapping toward a lean/sigma continuous improvement process : an industrial case study. *International Journal of Production Research*, 48(4) :1069–1086, 2010.
- [19] Matthew PJ Pepper and Trevor A Spedding. The evolution of lean six sigma. *International journal of quality & reliability management*, 27(2) :138–155, 2010.

- [20] Richard McIntosh, Geraint Owen, Steve Culley, and Tony Mileham. Changeover improvement : reinterpreting shingo's "smed" methodology. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 54(1) :98–111, 2007.
- [21] Eric Simão Macieira da Costa, Rui M Sousa, Sara Bragança, and Anabela Carvalho Alves. An industrial application of the smed methodology and other lean production tools. 2013.
- [22] M Kemal Karasu, Mehmet Cakmakci, Merve B Cakiroglu, Elif Ayva, and Neslihan Demirel-Ortabas. Improvement of changeover times via taguchi empowered smed/case study on injection molding production. *Measurement*, 47 :741–748, 2014.
- [23] Amir Azizi et al. Designing a future value stream mapping to reduce lead time using smed-a case study. *Procedia Manufacturing*, 2 :153–158, 2015.
- [24] E Sousa, FJG Silva, Luís Pinto Ferreira, Maria Teresa Pereira, R Gouveia, and RP Silva. Applying smed methodology in cork stoppers production. *Procedia manufacturing*, 17 :611–622, 2018.
- [25] C Rosa, FJG Silva, L Pinto Ferreira, and RDSG Campilho. Smed methodology : The reduction of setup times for steel wire-rope assembly lines in the automotive industry. *Procedia Manufacturing*, 13 :1034–1042, 2017.
- [26] Marlene Brito, Ana Luísa Ramos, Paula Carneiro, and Maria Antónia Gonçalves. Combining smed methodology and ergonomics for reduction of setup in a turning production area. *Procedia Manufacturing*, 13 :1112–1119, 2017.
- [27] Mehmet Cakmakci. Process improvement : performance analysis of the setup time reduction-smed in the automobile industry. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 41 :168–179, 2009.
- [28] RI McIntosh, SJ Culley, Anthony Roy Mileham, and GW Owen. A critical evaluation of shingo's' smed'(single minute exchange of die) methodology. *International journal of production research*, 38(11) :2377–2395, 2000.
- [29] Roland Smith and JR Peterson. The 5s pocket guide. *New York : Quality Resources*, 2001.
- [30] Elżbieta Nowakowska, Krzysztof Kus, Piotr Ratajczak, Michał Cichocki, and Anna Woźniak. The influence of aripiprazole, olanzapine and enriched environment on depressant-like behavior, spatial memory dysfunction and hippocampal level of bdnf in prenatally stressed rats. *Pharmacological Reports*, 66 :404–411, 2014.
- [31] J Michalska. The usage of the quality-cost analysis in a production process. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 16(1-2), 2006.
- [32] Joanna Michalska and Danuta Szewieczek. The 5s methodology as a tool for improving the organization. *Journal of achievements in materials and manufacturing engineering*, 24(2) :211–214, 2007.
- [33] Falah Abu, Hamed Gholami, Muhamad Zamari Mat Saman, Norhayati Zakuan, and Dalia Streimikiene. The implementation of lean manufacturing in the furniture industry : A review and analysis on the motives, barriers, challenges, and the applications. *Journal of cleaner production*, 234 :660–680, 2019.
- [34] M Dudek-Burlikowska and D Szewieczek. Quality estimation of sale process with usage of quality methods in chosen company. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 20(1-2) :531–534, 2007.
- [35] M Urbaniak. Quality management–theory and practice. *Difin, Warsaw*, 290, 2004.
- [36] J Michalska. Quality costs' analysis in the selected production process in material engineering. *Materials and Technologies*, 3 :137–140, 2005.