



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا للتكنولوجيات المتقدمة

Ecole Nationale Supérieure des Technologies Avancées



Département : Génie Industriel et Maintenance

Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme D'INGÉNIEUR d'État

-Filière-

Génie Industriel et Maintenance

-Spécialité -

Génie Industriel

- Thème -

Transition vers l'industrie 4.0 en Algérie **Cas pratique : BMS Electric**

Réalisé par

SAIB Safa

TAHRAOUI Wissem

Les membres de Jury :

M. GOURI Rabah	Président
M. RAHMOUNE Mehdi	Promoteur
M. MEDDOUR Ikhlass	Co-promoteur
M. BOUDHAR Hamza	Examineur

Alger, le 30 / 06 /2024

Année universitaire 2023 –2024

Remerciement

Tout d'abord, nous remercions Allah le Tout-Puissant, qui nous a dotés de la foi et de la force nécessaires pour atteindre ce point après un long parcours rempli d'efforts et d'obstacles.

Nous exprimons notre profonde gratitude à nos professeurs, M.RAHMOUNE et M.MEDDOUR, pour leurs précieux conseils, leur encadrement exceptionnel, et leur soutien constant, qui ont grandement enrichi notre travail. Leur expertise et leur disponibilité ont été des atouts inestimables tout au long de notre parcours.

Nous sommes également immensément reconnaissants envers toute l'équipe de BMS pour nous avoir accordé le privilège de vivre cette expérience, pour avoir pris en considération nos idées, et pour avoir partagé leurs connaissances avec tant de générosité. Nous adressons des remerciements particuliers à M. SAIDOUN, dont l'encadrement précieux nous a beaucoup appris sur le monde pratique. Nous tenons également à remercier les étudiants de l'ENSTA qui travaillent aussi dans BMS pour leur aide précieuse.

Nous souhaitons exprimer notre gratitude aux enseignants du département de Génie Industriel de l'École Nationale de Technologie Avancée pour leurs encouragements tout au long de notre parcours académique.

Nous adressons des remerciements spéciaux aux membres du jury pour l'honneur qu'ils nous font en évaluant notre travail et en nous fournissant des commentaires qui amélioreront sa qualité.

Enfin, nous sommes profondément reconnaissants envers nos parents, nos sœurs et nos amis, qui nous ont soutenus dans les moments difficiles et nous ont apporté le soutien nécessaire pour poursuivre notre parcours éducatif.

Dédicace

Je dédie ce travail à mes parents, dont le soutien indéfectible a été ma base, ainsi qu'à ma grande sœur Nesrine, qui a toujours été à mes côtés. À ma petite sœur Nassima et à ma chère amie Manel.

Cette dédicace s'étend à tous mes proches et à tous les étudiants palestiniens qui sont injustement empêchés de terminer leurs études en raison des graves injustices auxquelles ils sont confrontés.

Wissem

Je dédie ce travail à mes parents, Je tiens à vous exprimer toute ma gratitude pour votre amour inconditionnel et votre soutien sans faille. Vous avez toujours été là pour moi, me guidant et m'encourageant à chaque étape de ma vie. Votre sagesse, votre patience et votre générosité m'ont façonné en la personne que je suis aujourd'hui. Merci pour tout ce que vous avez fait et continuez de faire.

À ma sœur Sarah, et mon frère Abd El Malek, Merci pour votre soutien constant et vos encouragements qui m'ont toujours inspiré. Votre présence dans ma vie est une source inestimable de joie et de force.

Cette dédicace s'étend à tous mes proches et à tous les étudiants palestiniens qui sont injustement empêchés de terminer leurs études en raison des graves injustices auxquelles ils sont confrontés.

Safa

ملخص

يهدف هذا العمل إلى وضع خطة للنجاح في الانتقال إلى الصناعة 4.0 في ورشة حقن البلاستيك لشركة BMS Electric. لزيادة الإنتاجية والاستجابة السريعة لطلبات العملاء، تخطط BMS Electric للاستثمار في تقنيات الصناعة 4.0. بدأنا بتحسين وتوحيد العمليات باستخدام طريقة Lean Manufacturing، حيث حددنا الإهدار مثل الإنتاج الزائد، أوقات الانتظار، والعيوب. باستخدام منهجية DMAIC، اقترحنا حلولاً مثل SMED لتقليل وقت التغيير. بالإضافة إلى ذلك، يسلط هذا العمل الضوء على أهمية تطوير ثقافة رقمية من خلال تدريب الموظفين والتخطيط الاستراتيجي لتحقيق النضج الكامل للصناعة 4.0، وضمان أن جميع أعضاء الفريق يجيدون التقنيات وطرق العمل الجديدة. هذه النهج الشامل سيمكن BMS Electric من النجاح في الانتقال إلى الصناعة 4.0 والاستفادة الكاملة من مميزات مثل زيادة الإنتاجية، تحسين الجودة، وتسريع الاستجابة لاحتياجات العملاء.

الكلمات المفتاحية: الصناعة 4.0 ; ورشة الحقن ; التصنيع الرشيق.

Résumé

Ce travail vise à établir un plan pour réussir la transition vers l'Industrie 4.0 dans l'atelier de plasturgie de BMS Electric. Pour augmenter la productivité et répondre rapidement aux demandes des clients, BMS Electric prévoit d'investir dans les technologies de l'Industrie 4.0. Nous avons commencé par optimiser et standardiser les processus grâce à la méthode Lean Manufacturing, en identifiant les gaspillages comme la surproduction, les temps d'attente et les défauts. En utilisant la méthodologie DMAIC, nous avons proposé des solutions comme le SMED pour réduire le temps de changement. De plus, ce travail souligne l'importance de développer une culture numérique grâce à la formation des employés et à une planification stratégique pour atteindre une maturité complète de l'Industrie 4.0, en s'assurant que tous les membres de l'équipe maîtrisent les nouvelles technologies et méthodes de travail. Cette approche globale permettra à BMS Electric de réussir leur transition vers l'Industrie 4.0 et de profiter pleinement de ses avantages, comme une productivité accrue, une qualité améliorée et des temps de réponse plus rapides aux besoins des clients.

Mots-clés: Industrie 4.0; Atelier injection; Lean Manufacturing.

Abstract

This work aims to establish a roadmap for a successful transition towards Industry 4.0 within BMS Electric's plastic injection workshop. To boost productivity and quickly meet dynamic customer demands, BMS Electric plans to invest in Industry 4.0 technologies. We started by optimizing and standardizing processes through lean manufacturing, identifying wastes such as overproduction, waiting times, and defects. Using the DMAIC methodology, we proposed solutions like Single Minute Exchange of Die (SMED) to reduce changeover time. Additionally, this work underscores the importance of fostering a digital culture through employee training and strategic planning to achieve full Industry 4.0 maturity, ensuring all team members are proficient with new technologies and workflows. This holistic approach will enable BMS Electric to succeed in their mission towards Industry 4.0 and fully realize its benefits, including increased productivity, improved quality, and faster response times to customer needs.

Key words: industry 4.0; injection workshop; lean manufacturing;

Table des matières

Liste des figures	ii
Liste des tableaux	iv
Liste d'abréviation	v
Introduction générale	1
Chapitre 1 : l'industrie 4.0.....	4
1.1 Introduction.....	4
1.2 Contexte historique	4
1.3 L'industrie 4.0	5
1.4 Les caractéristiques de l'industrie 4.0	6
1.5 Les principes de l'industrie 4.0	6
1.6 Les technologies de l'industrie 4.0.....	7
1.6.1 Big data	8
1.6.2 Cloud Computing	9
1.6.3 Cyber sécurité.....	10
1.6.4 Impression 3D (additive manufacturing)	11
1.6.5 Systèmes cyber-physique (Cyber-Physical system).....	11
1.6.6 Internet des objets (internet of things).....	11
1.6.7 Architecture d'IoT	12
1.6.8 Réalité augmentée	13
1.6.9 Identification par radiofréquence (RFID).....	13
1.6.10 Robotique avancée	13
1.6.11 Intégration horizontale	13
1.6.12 Intégration verticale.....	14
1.7 L'implémentation de l'industrie 4.0 : discussion.....	15
1.8 Conclusion.....	16
Chapitre 2 : L'industrie en Algérie	17
2.1 Introduction.....	17
2.2 Présentation de l'entreprise	17
2.2.1. Stratégie de l'entreprise.....	17
2.2.2. L'organigramme de la direction générale	17
2.2.3. Présentation de l'organisation de la direction d'usine.....	18
2.2.4. Description des ateliers de site	19
2.3 Le niveau d'adoption de l'industrie 4.0 en Algérie.....	21

2.4	Analyse PESTEL.....	22
2.5	La matrice SWOT de l'industrie 4.0 en Algérie	22
2.6	Conclusion.....	24
Chapitre 3: Lean Manufacturing		25
3.1	Introduction.....	25
3.2	Lean Manufacturing.....	25
3.3	Les principes de Lean Manufacturing.....	25
3.4	Les sept MUDA (gaspillages).....	26
3.4.1	Surproduction.....	26
3.4.2	Temps d'attente.....	27
3.4.3	Transportation	27
3.4.4	Sur-processus	27
3.4.5	Sur stockage	27
3.4.6	Mouvement.....	28
3.4.7	Non-conformité.....	28
3.5	Les outils et techniques de Lean Manufacturing.....	28
3.6	Conclusion.....	30
Chapitre 4 : Cas pratique.....		31
4.1	Introduction.....	31
4.2	Le choix de l'atelier sur lequel nous devons nous concentrer	31
4.3	Le fonctionnement de l'atelier d'injection 2.....	31
4.4	Description du processus de fabrication dans l'atelier d'injection.....	32
4.5	Diagnostic du système industriel (atelier d'injection) selon Lean Manufacturing.....	35
4.5.1	Surproduction.....	35
4.5.2	Temps d'attente.....	44
4.5.3	Non-conformité.....	62
4.6	Situation actuelle dans l'industrie 4.0	71
4.6.1	Vision stratégique de BMS	71
4.6.2	Formation de personnel.....	71
4.6.3	Évaluation de l'état actuel par rapport à l'industrie 4.0 dans l'atelier d'injection 02.....	71
4.6.4	Recommandation.....	74
4.6	Conclusion.....	79
Conclusion Générale		81
Références bibliographiques		83

Liste des figures

Chapitre 1

Figure 1. 1 : La révolution industrielle.	5
Figure 1. 2: Les technologies de l'industrie 4.0.	8
Figure 1. 3: Les éléments du cyber sécurité.	10
Figure 1. 4: Les principes composants d'IoT	12
Figure 1. 5 : La structure de l'intégration horizontale	14
Figure 1. 6: L'intégration verticale dans l'industrie 4.0.	15

Chapitre 2

Figure 2. 1: L'organigramme de la direction générale de l'entreprise	18
Figure 2. 2: Organigramme de la direction d'usine	19
Figure 2. 3: Le schéma d'une machine de moulage par injection.	20
Figure 2. 4: Analyse PESTEL sur l'industrie 4.0 en Algérie.	22
Figure 2. 5: Matrice SWOT sur l'industrie 4.0 en Algérie.	23

Chapitre 4

Figure 4. 1 : Plan d'ateliers d'injection 2	32
Figure 4. 2 : Les machines d'injection thermoplastique.	33
Figure 4. 3 : Processus de production de l'atelier injection.	34
Figure 4. 4: Comparaison des objectifs de production et des quantités réalisées pour divers types de moules pour le mois de mars.	37
Figure 4. 5 : L'écart entre l'objectif de production et la quantité réalisée en pourcentage pour le mois de mars	37
Figure 4. 6 : Diagramme d'Ishikawa pour l'analyse des causes de surproduction.	38
Figure 4. 7 : Les fiches de suivi journalières dans l'atelier 2.	39
Figure 4. 8: La procédure de suivi au sein de l'atelier 2.	43
Figure 4. 9: Diagramme d'Ishikawa pour les causes de temps d'attente dans l'atelier 2.	46
Figure 4. 10: Diagramme de Pareto pour les causes de temps d'attente.	47
Figure 4. 11: Diagramme d'Ishikawa pour les causes du temps perdu lors de changement de moule.	48
Figure 4. 12: Les outils utilisés pour le changement de moule.	50
Figure 4. 13: Le gain après la phase de séparation des opérations (phase 2).	53
Figure 4. 14 : Diagramme de Gantt des opérations par catégories phase 2.	53
Figure 4. 15: Le gain après la transformation des opérations internes en externes.	54
Figure 4. 16: Diagramme de Gantt des opérations par catégories phase 3.	55
Figure 4. 17: Chariot.	56
Figure 4. 18: La buse de moule.	56
Figure 4. 19 : Le gain après la phase de rationalisation des tâches internes.	58
Figure 4. 20: Diagramme de Gantt des opérations par catégories phase 4.	58

Figure 4. 21: Diagramme de PERT des opérations de changement de moule après la mise en parallèle.	60
Figure 4. 22: Le gain après la mise en parallèle des opérations de changement de moules.....	61
Figure 4. 23: Diagramme de Pareto pour les types de non-conformité.....	65
Figure 4. 24: Diagramme de Pareto pour le nombre de non-conformité par moule.....	66
Figure 4. 25: Pièces non conforme de moule 113. Figure 4. 26 : Pièce conforme de moule 113.	67
Figure 4. 27: Diagramme d'Ishikawa pour les causes des défauts de moule 113.	68
Figure 4. 28 : Processus avant le montage du moule 113.....	69
Figure 4. 29: Amélioration de la visualisation des défauts pour le module 113.	70
Figure 4. 30 : Représentation du niveau de maturité de chaque critère à l'aide d'un diagramme radar.	72
Figure 4. 31 : Représentation de l'interconnexion entre les couches.....	76
Figure 4. 32 : Représentation de l'interconnexion entre les couches en intégrant le Cloud.	77

Liste des tableaux

Tableau 4. 1 : déploiement de la méthode QQQCCP pour la surproduction.	35
Tableau 4. 2 : Matrice de décision.....	41
Tableau 4. 3: table explicative des étapes de procédure de suivi.	44
Tableau 4. 4: Le déploiement de la méthode QQQCCP pour le temps d'attente.....	44
Tableau 4. 5: Tableau de classification des causes de temps d'attente.....	46
Tableau 4. 6: Les durées des opérations de changement de moule phase 1.....	51
Tableau 4. 7: Les durées des opérations par catégories de changement de moule phase 2.....	52
Tableau 4. 8: Les durées des opérations par catégories de changement de moule phase 3.....	54
Tableau 4. 9: Les durées des opérations par catégories de changement de moule phase 3.....	57
Tableau 4. 10 : Les opérations de changement de moule avec leur durée en secondes.	59
Tableau 4. 11: La répartition des tâches pour l'opérateur et le monteur/régleur.	61
Tableau 4. 12: le déploiement de la méthode QQQCCP pour la non-conformité.....	62
Tableau 4. 13: Les types de non conformités et leur fréquence durant 3 mois (de janvier à mars).....	63
Tableau 4. 14: Le nombre de non-conformité par moules.	65
Tableau 4. 15 : La fréquence des 3 majeure type de non-conformité pour les moules 113 et 282.....	67
Tableau 4. 16: Evaluation de niveau de maturité de l'industrie 4.0 au sein de l'atelier 2.....	72
Tableau 4. 17: Analyse d'évaluation de l'état actuel par rapport à l'industrie 4.0.....	73
Tableau 4. 18: Les personnels requis pour la transition vers l'industrie 4.0.....	79

Liste d'abréviation

CDTA: Centre de Développement des Technologies Avancées.

CPS: Cyber-Physical System.

DMAIC: Define, Measure, Analyze, Improve, Control.

ERP: Enterprise Resource Planning.

FIFO: First In First Out.

GMAO: Gestion de Maintenance Assistée par Ordinateur.

IaaS: Infrastructure as a Service.

IHM: Interface Homme Machine.

IIoT: Industrial Internet of Things.

IoT: Internet of Things.

JIT: Just In Time.

KPI: Key Performance Indicator.

LAN: Local Area Network.

LIFO: Last In First Out.

M2M: Machine to Machine.

MES: Manufacturing Execution System.

MQTT: Message Queuing Telemetry Transport.

PaaS: Platform as a Service.

PAN: Personal Area Network.

PDP: Plan Directeur de Production.

PESTEL: Politique, Economique, Société, Technologie, Environnement, Légal.

PLC: Programmable Logic Controller.

RFID: Radio Frequency Identification.

SaaS: Software as a Service.

SCADA: Supervisory Control And Data Acquisition.

SMED: Single Minute Exchange of Die.

SWOT: Strength, Weakness, Opportunity, Threats.

TI: Technologie Informationnelle.

TO: Technologie Opérationnelle.

TRS: Taux de Rendement Synthétique.

TPM: Total Productive Maintenance.

TQM: Total Quality Management.

USB: Universal Serial Bus.

UNS: Unified Namespace.

VSM: Value Stream Mapping.

WAN: Wide Area Network.

WIP: Work In Progress.

WSN: Wireless Sensor Network.

Introduction générale

De nos jours, la transformation digitale a grandement amélioré nos vies personnelles en rendant la communication plus facile, l'éducation plus accessible, les divertissements plus diversifiés, la gestion de la santé plus efficace et les tâches quotidiennes plus pratiques. Au fur et à mesure que la technologie évolue, la plupart des gens ont progressé à 90 % dans leur transformation digitale personnelle. Cependant, dans l'industrie, la transformation digitale, connue sous le nom d'Industrie 4.0, implique un passage de la fabrication traditionnelle aux usines intelligentes utilisant des technologies avancées telles que l'Internet des objets, l'intelligence artificielle, le Big Data, le Cloud Computing et la robotique. En Algérie, cette révolution est encore en cours de développement, mais elle présente des opportunités significatives pour moderniser le secteur industriel et améliorer la compétitivité économique du pays.

Pour mettre en œuvre l'Industrie 4.0 dans une entreprise, de nombreux experts estiment que le Lean Manufacturing est indispensable et constitue une base fondamentale pour l'implémentation de l'Industrie 4.0. Le Lean Manufacturing est une méthode qui se concentre sur l'identification et l'élimination des gaspillages (activités sans valeur ajoutée) par le biais de l'amélioration continue. Son objectif est de fournir des produits et services de meilleure qualité aux clients à des coûts réduits et dans des délais plus courts. La personnalisation des produits offerte par l'Industrie 4.0 est rendue possible grâce à la flexibilité opérationnelle et à une réactivité accrue, autrement dit, grâce à l'agilité opérationnelle. Cette agilité manufacturière s'appuie sur les outils du Lean Manufacturing. Ainsi, les principes de réduction des gaspillages et d'amélioration continue deviennent essentiels pour les entreprises souhaitant évoluer vers l'Industrie 4.0.

En Algérie, l'entreprise BMS a élaboré une stratégie pour déployer l'Industrie 4.0 au sein de ses processus de production. Leader dans la fabrication d'équipements électriques, BMS couvre l'ensemble du marché algérien et sert de principal fournisseur pour le secteur de la construction et des travaux publics. BMS a déjà commencé à implémenter les cultures du lean Manufacturing et de la transformation digitale en formant ses employés. Notre thèse sera structurée de manière compatible avec les concepts précédemment mentionnés et comprendra quatre chapitres.

Le premier chapitre vise à éclairer le concept de l'Industrie 4.0, en commençant par un contexte historique qui résume l'évolution des révolutions industrielles. Nous aborderons ensuite les principes essentiels et les caractéristiques qui distinguent l'Industrie 4.0 des révolutions industrielles précédentes. Par la suite, nous explorerons ses technologies clés, qui contribuent de manière significative à réduire les temps d'exécution des activités opérationnelles.

Le deuxième chapitre se compose de deux parties. La première partie traite du secteur industriel en Algérie, en se concentrant sur les entreprises les plus prospères dans le secteur électrique, en particulier BMS Electric. Nous fournirons un aperçu de ses activités principales, suivi d'une description des ateliers existants sur le site, en expliquant leurs rôles et leurs fonctions au sein du système de production global. La deuxième partie de ce chapitre examine l'état actuel de l'adoption de l'Industrie 4.0 en Algérie. Nous évaluerons le niveau d'adoption de ce concept par l'Algérie, effectuerons une analyse PESTEL de l'Industrie 4.0 en Algérie et concluons par une analyse SWOT.

Dans le troisième, nous définirons le Lean Manufacturing, en exposant ses principes importants et les sept gaspillages bien connus, qui sont fondamentaux pour le Lean Manufacturing, comme indiqué par son fondateur. Nous concluons ce chapitre en mettant en lumière les techniques couramment utilisées dans le Lean Manufacturing.

Le chapitre 4 est aussi divisé en trois parties. La première partie justifie le choix de l'atelier de moulage par injection comme sujet de cette étude et fournit une description détaillée du processus de moulage par injection, illustrée par un schéma. La deuxième partie applique les principes du Lean Manufacturing à l'atelier, en identifiant trois types de gaspillage : la surproduction, le temps d'attente et les défauts. En utilisant la méthode DMAIC (Définir, Mesurer, Analyser, Innover, Contrôler), nous structurons notre analyse pour définir chaque gaspillage, identifier ses causes et recommander des solutions pour les réduire. La troisième partie examine la mise en œuvre de l'Industrie 4.0 dans l'atelier. Nous commençons par définir la vision stratégique de l'entreprise concernant l'Industrie 4.0, évaluons le niveau de maturité de l'Industrie 4.0 dans l'atelier et, sur la base de cette évaluation, élaborons une feuille de route pour la mise en œuvre, en mettant en évidence les technologies et les qualifications cruciales pour réussir l'implémentation.

Nous concluons avec un résumé général pour encapsuler les conclusions de cette thèse, en mettant en lumière les solutions proposées.

situation actuelle

Agilité opérationnelle

Objectif

Identification de goulot

Réduction des gaspillages

- Surproduction
- Temps d'attente
- Non-conformité



Lean

Intégration des technologies

Industrie 4.0

Atelier d'injection 2

Amélioration continue

Chapitre 1
Industrie 4.0

Chapitre 1 : Industrie 4.0

Chapitre 1 : l'industrie 4.0

1.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous entreprendrons une exploration approfondie de la quatrième révolution industrielle. Nous débiterons par une définition précise de cette révolution, en mettant en lumière ses caractéristiques distinctives et ses principes fondamentaux. Ensuite, nous aborderons les technologies spécifiques qui la distinguent des révolutions industrielles précédentes.

1.2 Contexte historique

La première révolution industrielle (1765) :

De 1760 à 1840, le cadre de production, en particulier l'industrie, a connu d'énormes changements en raison de l'expansion des chemins de fer et de l'accélération des transformations économiques, humaines et matérielles, de l'extraction massive de charbon et de l'avènement de la machine à vapeur, qui a fourni une nouvelle source d'énergie alimentant tous les processus. L'industrie textile a été la première à adopter cette invention et la plus importante en termes d'investissement en capital, de dépenses et du nombre d'emplois offerts durant cette époque. Elle a également été la première à appliquer des procédés de fabrication contemporains (Azizi & Barenji, n.d.).

La deuxième révolution industrielle (1870) :

Surnommée la révolution technologique, elle a émergé entre 1870 et 1914. Cette période a connu une forte accélération du processus d'industrialisation en raison de nombreux facteurs, tels que le développement de matériaux plus légers comme les alliages et les synthétiques et l'adoption de nouvelles sources d'énergie telles que l'électricité, reconnue comme un moyen universel de transmission de l'énergie. Pendant cette période, des inventions comme les générateurs électriques, les pompes à vide, les systèmes d'éclairage au gaz, les moteurs diesel et les transformateurs ont vu le jour. De plus, les chemins de fer sont devenus plus rapides et les clippers ont été développés dans le domaine de l'automobile. À l'intérieur des installations de fabrication, les premières chaînes de montage ont été créées, jetant les bases du futur phénomène de la production de masse (Azizi & Barenji, n.d.).

La troisième révolution industrielle (1969) :

Souvent appelée la révolution numérique, cette période est marquée par la transition des systèmes analogiques et mécaniques aux systèmes numériques grâce à l'innovation des contrôleurs programmables, introduits en 1870, et des ordinateurs. De plus, l'invention des robots permet l'optimisation de l'ensemble du processus de développement avec une faible intervention humaine. Cette révolution a introduit l'utilisation de l'énergie nucléaire, ouvrant la porte à de nombreux domaines, y compris l'exploration spatiale et la biotechnologie (Azizi & Barenji, n.d.).

La quatrième révolution industrielle :

Au XXI^e siècle, une nouvelle terminologie a émergé : Industrie 4.0, basée sur le concept de fabrication intelligente. Son objectif est d'utiliser la numérisation pour construire un environnement virtuel robuste capable d'influencer le monde réel et de connecter tous les systèmes au sein de l'usine afin de permettre une communication en temps réel entre eux et une prise de décision intelligente grâce à l'utilisation de l'Internet des objets et de l'Internet

Chapitre 1 : Industrie 4.0

industriel. L'Industrie 4.0 a été initialement établie en Allemagne, et des principes similaires ont été mis en œuvre dans d'autres pays. Par exemple, General Electric a été la première à introduire l'Internet industriel en Amérique du Nord à la fin de 2012. Ce concept est applicable à de nombreux domaines tels que la distribution et la production d'énergie, les soins de santé, le transport, divers secteurs gouvernementaux, la fabrication et l'exploitation minière (Azizi & Barenji, n.d.). La chronologie des révolutions industrielles est illustrée dans la figure suivante :

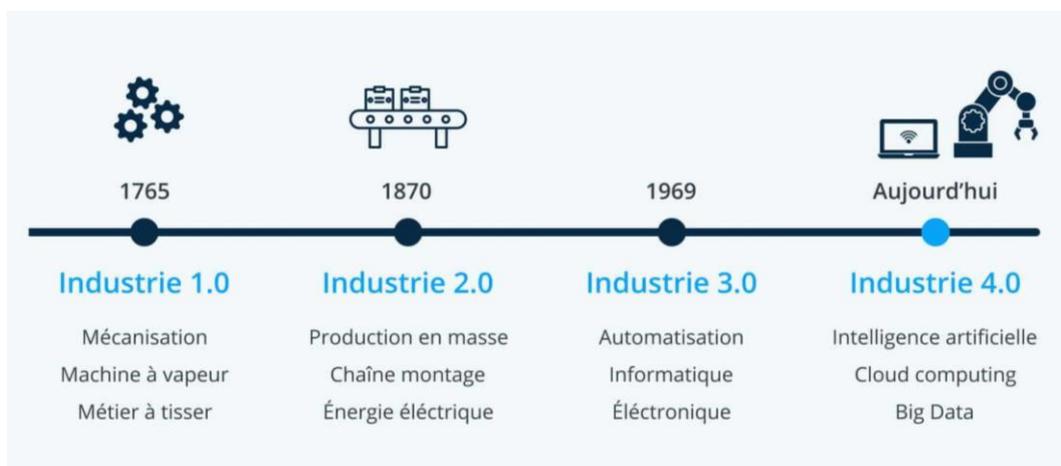


Figure 1.1 : La révolution industrielle.

1.3 L'industrie 4.0

La définition de l'industrie 4.0 varie : certains s'accordent à dire qu'elle fait de l'industrie manufacturière une industrie entièrement informatisée, tandis que d'autres la définissent comme la virtualisation de la production industrielle. Cependant, le consensus semble être qu'elle intègre les canaux horizontaux et verticaux.

Pour être précis, l'industrie 4.0 n'est pas un nouveau concept ; c'est la renaissance d'un ancien concept qui utilise de nouvelles inventions technologiques et innovations en combinant les technologies opérationnelles et de l'information pour augmenter le niveau d'automatisation et de numérisation de la production dans les processus de fabrication et industriels, en améliorant les efficacités du processus de production pour offrir des produits et services de haute qualité. Cette vision s'engage à fournir aux clients des produits alliant qualité et abordabilité. Cette philosophie a introduit le terme "usine intelligente du futur", où l'idée d'excellence doit être accessible aux clients et portée par le cyber physical system (CPS) et les humains.

Plusieurs moteurs ont contribué à l'émergence de l'industrie 4.0, à commencer par l'augmentation rapide au cours de la dernière décennie des volumes de données, du stockage dans le Cloud, de la puissance de calcul en location et de la connectivité réseau omniprésente, permettant l'analyse de données opérationnelles auparavant impossible, ainsi que le développement des produits et des opérations commerciales nécessitant une analyse poussée pour améliorer leur qualité. L'introduction de nouveaux concepts d'interaction homme-machine, y compris les systèmes de réalité augmentée et les systèmes nécessitant des interfaces tactiles complètes et d'autres systèmes d'exploitation mains libres, ainsi que l'innovation du transfert de données numériques en objets physiques utilisables, tels que la robotique avancée et l'émergence de la technologie d'impression 3D pour faciliter le processus de prototypage (Gilchrist, 2016).

Chapitre 1 : Industrie 4.0

1.4 Les caractéristiques de l'industrie 4.0

Intégration verticale du système de production intelligent

La quatrième révolution industrielle se caractérise par l'intégration de la transformation numérique dans le système de production. Les usines intelligentes sont le composant clé de l'Industrie 4.0 et sont considérablement améliorées grâce au réseautage. Grâce à l'intégration du système de production cyber-physique (CPPS), les usines intelligentes peuvent s'adapter rapidement aux changements, par exemple le niveau de la demande, le niveau des stocks, et les défauts des machines (Gilchrist, 2016).

Intégration horizontale par le biais de réseaux de chaînes de valeur

L'intégration horizontale fait référence à la relation entre les partenaires commerciaux et les clients. Elle va au-delà de cette compréhension conventionnelle pour inclure l'intégration de nouveaux modèles commerciaux à l'échelle internationale, créant ainsi un réseau mondial (Gilchrist, 2016).

Par l'ingénierie tout au long de la chaîne de valeur

La chaîne de valeur dans l'industrie est entourée par l'ingénierie. "Par l'ingénierie" fait référence à une approche où l'ensemble du cycle de vie du produit est tracé depuis le processus de production jusqu'à son retrait final. Cependant, dans certaines fabrications traditionnelles, l'accent est entièrement mis sur la fabrication du produit sans prendre en considération son cycle de vie. L'industrie 4.0 signifie un changement transformateur dans les pratiques de fabrication, impliquant l'intégration de technologies avancées qui couvrent l'ensemble du cycle de vie du produit (Gilchrist, 2016).

Accélération de la fabrication

Les opérations commerciales, en particulier dans la fabrication, tirent parti de nombreuses technologies qui ne sont ni innovantes ni coûteuses et qui existent déjà. Comme le montrent les caractéristiques de l'industrie 4.0, l'accent est mis sur la chaîne de valeur (Gilchrist, 2016).

1.5 Les principes de l'industrie 4.0

Les principes de l'Industrie 4.0 sont les suivantes (Azizi & Barenji, n.d.):

- **Transparence de l'information :**

La grande quantité de données disponibles dans les industries fournit une clarté d'information aux opérateurs et aide à l'analyse des données. Ces données se révèlent bénéfiques pour l'identification des lacunes, l'innovation dans les méthodes et l'amélioration des processus.

- **Interopérabilité :**

Les capteurs, dispositifs, personnes et machines communiquent entre eux à l'aide des technologies basées sur Internet. Les erreurs de communication dues à une mauvaise représentation des informations et des données sont réduites grâce à l'interopérabilité.

Chapitre 1 : Industrie 4.0

- **Décision décentralisée :**
Les machines intelligentes sont capables de prendre des décisions autonomes, de sorte que les tâches sont effectuées de manière indépendante par elles grâce à une coordination adéquate entre elles (en utilisant la communication M2M).
- **Modularité :**
La modularité est une notion utilisée pour réduire le degré de complexité en décomposant un système en plusieurs degrés d'interdépendance et d'indépendance entre les composants et en cachant la complexité de chaque partie derrière une abstraction et une interface. En revanche, elle peut être applicable à une variété de domaines, chacun avec ses propres subtilités. Par conséquent, une entreprise traditionnelle prendrait probablement une semaine pour étudier le marché et ajuster sa production en conséquence, mais les usines intelligentes doivent être capables de s'adapter rapidement et facilement aux changements saisonniers et aux tendances du marché.
- **Production orientée vers le client :**
La production doit être concentrée sur les besoins des clients. Les personnes et les objets intelligents/dispositifs doivent se connecter efficacement via l'Internet des services, ce qui devient crucial à ce stade pour créer des produits qui répondent aux besoins des clients.
- **Virtualisation :**
Ce terme fait référence au processus de création d'une version virtuelle d'un dispositif ou d'un système en divisant les ressources en un ou plusieurs contextes d'exécution à l'aide d'un cadre. L'acte de générer une version virtuelle de quelque chose, telle qu'une plate-forme matérielle informatique virtuelle, des dispositifs de stockage et des ressources de réseau informatique, est appelé virtualisation.

1.6 Les technologies de l'industrie 4.0

Les technologies de l'industrie 4.0 englobent un ensemble d'innovations numériques visant à transformer les processus industriels traditionnels en utilisant des systèmes cyber-physiques, l'internet des objets (IoT), l'intelligence artificielle (IA), le Big Data, le Cloud Computing, la réalité augmentée (AR), la simulation, et d'autres technologies avancées comme indiqué dans la figure ci-dessous (Kumar et al., 2019).

Chapitre 1 : Industrie 4.0

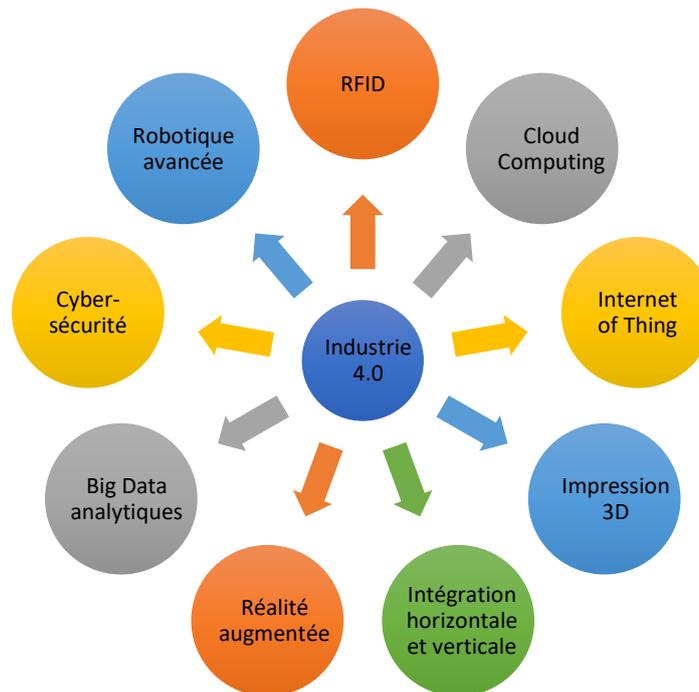


Figure 1. 2: Les technologies de l'industrie 4.0.

1.6.1 Big data

L'accès à l'information et aux données est devenu plus facile, de nombreuses industries s'intéressent au réseau de données et aux technologies telles que l'Internet des objets (IoT). Par conséquent, l'accessibilité des données nous conduit à un nouveau concept, celui du big data. Les canaux, réseaux, web, médias sociaux, applications sont à l'origine du concept de big data (Kumar et al., 2019)

Le big data est un concept permettant d'analyser et d'extraire des informations à partir d'un ensemble important de données, une tâche complexe à réaliser avec les méthodes traditionnelles. Le big data peut traiter la variété, la vitesse et le volume des données (Kant & Gurung, 2023)

Variété : désigne les différents formats et types de données, cela inclut les données structurées, les données semi-structurées et les données non structurées.

Vélocité : fait référence à la vitesse ou à la croissance rapide des données qui doivent être analysées pour prendre des décisions dans le temps.

Volume : désigne la quantité de données à traiter. Le big data implique des quantités massives de données, pouvant aller des téraoctets aux pétaoctets (Cevikcan, n.d.).

Le big data peut être utilisé dans l'analyse prédictive pour la maintenance prédictive afin d'extraire des informations et des données des machines, des opérateurs... Il peut également être applicable pour observer et garantir la qualité des services. Le big data peut gérer diverses données complexes en temps réel et offre l'avantage de prendre la bonne décision avec précision (Kant & Gurung, 2023)

Le big data est considéré comme une solution efficace pour surveiller et contrôler les changements inattendus. L'analyse du big data alimentée par les données collectées à partir de diverses sources via l'IoT est présentée comme un outil clé pour gérer et donner un sens aux vastes quantités de données générées dans un environnement intelligent (Kant & Gurung, 2023)

Chapitre 1 : Industrie 4.0

Les approches analytiques du Big Data peuvent être catégorisées en quatre grands groupes

- Méthodes de modélisation statistique : Les méthodes statistiques utilisent la théorie statistique pour inférer des données, révéler des relations, généraliser des résultats et prédire des quantités futures (Azizi & Barenji, n.d.).
- Schémas de fouille de données : Terme général désignant les techniques visant à identifier des motifs dans de grands ensembles de données (Azizi & Barenji, n.d.).
- Schémas d'apprentissage automatique (Machine Learning) : L'apprentissage automatique est l'étude d'algorithmes qui améliorent les performances en formulant des modèles mathématiques à l'aide de données d'entraînement et en appliquant des techniques d'optimisation pour créer un modèle prédictif efficace. La principale tâche de ce modèle est d'estimer les résultats avec une erreur minimale, testée sur un autre échantillon de données appelé données de test (Kant et al, 2023).
- Techniques de visualisation des données : Un ensemble de techniques permettant de présenter les données visuellement, comme des cartes, des graphiques et des diagrammes. Ces approches de visualisation sont utiles pour améliorer la lisibilité de grands ensembles de données (Azizi & Barenji, n.d.).

1.6.2 Cloud Computing

Le Cloud Computing propose des services à la demande tels que le réseau, le stockage, les logiciels, les bases de données, le traitement et les analyses aux clients. Grâce au Cloud, les organisations peuvent configurer et fournir des services personnalisés aux utilisateurs.

La connexion de plusieurs capteurs et appareils dans l'industrie 4.0 et l'Internet industriel des objets génère un volume considérable de données dans un format non structuré. C'est là que le rôle du Cloud Computing intervient pour le traitement, le stockage et l'analyse des données en temps réel.

Les modèles de Cloud basés sur les services sont classés en trois types comme suit (Sartal, Antonio, and Diego Carou, n.d.) :

Infrastructure en tant que service (IaaS) : Ce service offre aux utilisateurs un accès à des ressources informatiques essentielles, telles que les processeurs, la mémoire, les réseaux, et d'autres utilisateurs. Les utilisateurs ont la capacité de déployer et d'initialiser des logiciels optionnels, y compris des systèmes d'exploitation et des applications.

Plateforme en tant que service (PaaS) : Ce service permet aux clients de générer et de mettre en œuvre leurs applications, en utilisant des langages de programmation standard ainsi que des outils pour le développement de la plateforme et de l'infrastructure. L'utilisateur a l'autorité sur l'application déployée et possède certains paramètres de configuration pour l'hébergement de l'application. Néanmoins, l'utilisateur n'a pas accès aux interfaces de contrôle et de gestion du Cloud (Sartal, Antonio, and Diego Carou, n.d.) .

Logiciel en tant que service (SaaS) : Le consommateur utilise des applications fournies par le vendeur, les gérant de manière indépendante. Ces applications sont principalement accessibles via Internet, généralement via l'interface client ou un navigateur web, tous les utilisateurs ont un contrôle limité par l'application, et l'interface utilisateur n'est pas accessible au consommateur pour d'autres paramètres Cloud.

Les modèles de déploiement dans le Cloud Computing définissent le contexte de l'infrastructure physique, les plateformes d'utilisation et les modèles appliqués dans le Cloud. Le client peut choisir parmi trois modèles de services Cloud disponibles (SaaS, PaaS et IaaS), déployés dans le Cloud, avec des options comprenant les Clouds privés, communautaires, publics et hybrides. Notre attention se porte sur leurs liens avec les systèmes d'entreprise : le Cloud privé est particulièrement adapté aux grandes organisations, tandis que le Cloud

Chapitre 1 : Industrie 4.0

communautaire convient davantage aux petites et moyennes organisations (Sartal, Antonio, and Diego Carou, n.d.).

Cloud privé : L'utilisateur bénéficie d'un accès exclusif et de droits pour utiliser les ressources informatiques et l'infrastructure par le fournisseur.

Cloud public : Divers utilisateurs peuvent accéder aux services Cloud proposés par le fournisseur de services via une connectivité réseau.

Cloud communautaire : Un groupe spécifique d'utilisateurs a accès à des services Cloud, ils peuvent partager un intérêt commun, un objectif ou une exigence en matière de sécurité, ce type de Cloud est appelé Cloud de groupe conçu pour répondre aux besoins et préférences collectives de ce groupe d'utilisateurs.

Cloud hybride : Ce type de Cloud se caractérise par l'intégration de deux Clouds ou plus combinés avec les types de Cloud précédemment mentionnés. Le Cloud hybride peut exister dans l'infrastructure propre d'une organisation ou être hébergé par un fournisseur de services Cloud externe.

1.6.3 Cyber sécurité

Les mesures de cyber sécurité désignent les nombreuses précautions prises pour protéger les systèmes connectés à Internet, y compris le matériel, les logiciels et les données, contre les attaques malveillantes. Les organisations dépendent à la fois de la sécurité physique et de la cyber sécurité pour empêcher l'accès non autorisé aux données. Les données sensibles des centres de données sont généralement consultées, modifiées et détruites lors de ces attaques (Misra et al., 2021).

Dans l'industrie 4.0, de nombreux appareils sont connectés aux technologies basées sur Internet, et ces appareils sont plus susceptibles d'être attaqués. Les cyberattaques peuvent être le fait d'une organisation ou d'un individu. Il existe plusieurs composantes essentielles de la cyber sécurité, sont représenté dans la figure suivante (Misra et al., 2021):

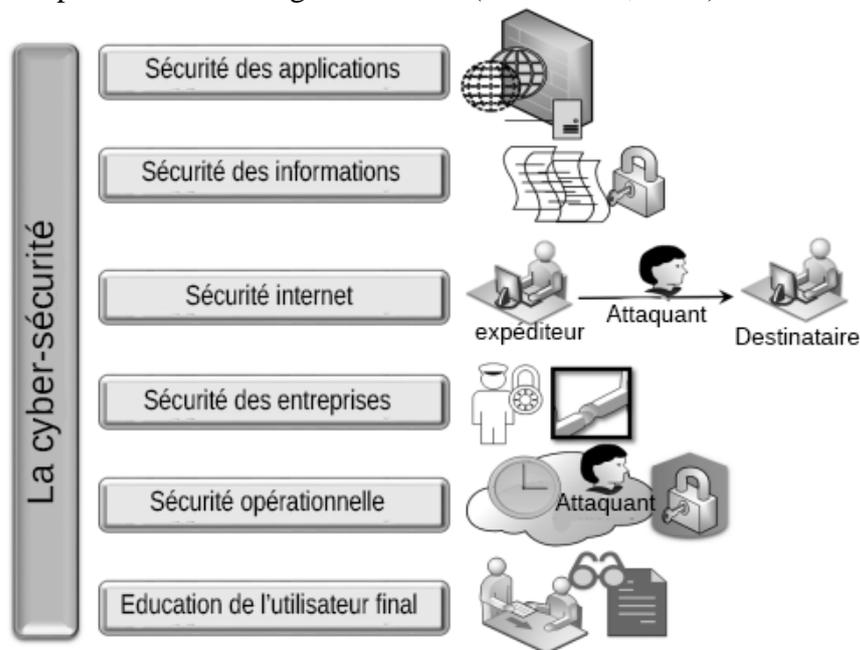


Figure 1. 3: Les éléments du cyber sécurité.

Chapitre 1 : Industrie 4.0

1.6.4 Impression 3D (additive manufacturing)

Aussi connu sous le nom d'addition Manufacturing, ce type de fabrication introduit un changement notable sur le marché en combinant des éléments des méthodes de production en série et artisanales. La fabrication additive, souvent désignée sous le terme d'impression 3D, implique la création d'objets par empilement couche par couche, chaque nouvelle couche étant ajoutée au-dessus des précédentes. Cela contraste avec les méthodes de fabrication soustractive, telles que l'usinage, où le matériau est enlevé pour façonner le produit final, avec le dépôt d'un matériau choisi sous un contrôle précis, souvent sous forme de poudres, liquides ou filaments. Ce processus se poursuit jusqu'à ce que l'objet désiré soit entièrement formé, le distinguant des méthodes de fabrication traditionnelles qui impliquent la soustraction de matériaux par découpe ou moulage (Cevikkan, Emre, n.d.).

1.6.5 Systèmes cyber-physique (Cyber-Physical system)

L'introduction des systèmes cyber-physiques (CPS) devient un point focal dans toute initiative de transformation numérique. Un CPS est un mécanisme caractérisé par son contrôle ou sa surveillance par le biais d'algorithmes informatiques, étroitement liés à Internet et à ses utilisateurs. Il représente l'intégration transparente du calcul, du réseau et des processus physiques. En essence, les ordinateurs intégrés et les dispositifs réseau jouent un rôle crucial dans la supervision et la gestion des processus physiques, offrant des abstractions et utilisant des techniques de modélisation, de conception et d'analyse pour l'intégration globale des systèmes. Cette intégration permet la création de systèmes sophistiqués où les composants physiques et numériques travaillent harmonieusement, améliorant la surveillance, le contrôle et l'adaptabilité dans divers domaines (Sartal, Antonio, and Diego Carou, n.d.).

Les caractéristiques clés et les exigences des CPS sont les suivantes : les CPS sont considérés comme des systèmes de feedback fonctionnelle, ils reçoivent des informations de l'environnement via des capteurs sans fil et l'actuation, et ils sont distribués et mis en réseau dans toute l'entreprise. Les CPS peuvent ajuster leur comportement en fonction des conditions changeantes, prendre des décisions intelligentes et prédire les états ou événements futurs, le tout en temps réel. Pour soutenir la spécification, la modélisation et l'analyse de divers aspects, y compris la conception de l'interopérabilité du réseau et la synchronisation temporelle, des outils de conception sont nécessaires. Les CPS peuvent également soutenir les systèmes d'assurance, les modèles stochastiques et la validation et la vérification des modèles de simulation (Sartal, Antonio, and Diego Carou, n.d.).

1.6.6 Internet des objets (internet of things)

IoT est un terme qui fait référence à l'interconnexion en réseau d'objets équipés d'une intelligence omniprésente. Cela augmentera l'omniprésence d'Internet en intégrant chaque élément pour une interaction via des systèmes intégrés, résultant en un réseau hautement distribué d'appareils communiquant avec les humains et d'autres appareils. Mais qu'est-ce qu'un objet qui correspond à cette définition ? La réponse est que cela peut être tout, si nous prenons l'exemple du stimulateur cardiaque implantable placé dans le cœur. Par conséquent, le cœur peut être considéré comme un objet et les informations seront transférées à l'assistant médical par un serveur, ou la puce biométrique placée sur les animaux de ferme pour surveiller l'état des animaux dans la ferme et améliorer l'efficacité du produit, donc la ferme d'animaux est l'objet dans cet exemple. Également dans le secteur automobile avec des capteurs intégrés peut

Chapitre 1 : Industrie 4.0

être considéré comme un objet, donc plusieurs objets peuvent être des choses ou peuvent se transformer en une chose (Azizi & Barenji, n.d.).

1.6.7 Architecture d'IoT

Chaque application IoT possède sa propre architecture ; trois couches principales sont présentes dans toutes les applications IoT, que nous mentionnerons (Azizi & Barenji, n.d.):

Couche de détection : La couche de détection est l'endroit où l'application IoT recueille des données à partir de l'objet qu'elle utilise pour une variété d'applications ; par exemple, un capteur peut être nécessaire pour collecter des données de température, ou des codes-barres peuvent être nécessaires à des fins d'identification. Les capteurs dans les appareils IoT effectuent la fonction de recevoir des informations de l'objet. Plusieurs d'entre elles ont été développées pour répondre à l'évolution des technologies et de la société (Azizi & Barenji, n.d.).

Couche réseau : Les données provenant des capteurs sont transférées vers l'application ou la zone de stockage en utilisant des technologies telles qu'USB et Ethernet ou des réseaux sans fil comme PAN, LAN, WAN et WSN. Le PAN est un réseau individuel à petite échelle, le LAN est utilisé pour le transfert de données à haut débit, le WAN connecte plusieurs LANs pour des zones étendues, et le WSN est idéal pour l'IoT en raison de son faible coût et de sa faible consommation d'énergie. Le WSN comporte cinq couches : physique, liaison de données, réseau, transport et application. Les nœuds intermédiaires comme les passerelles sont nécessaires pour les transferts de données en raison de l'absence de communication directe entre les nœuds (Azizi & Barenji, n.d.).

Couche d'application : Les données collectées sont stockées et présentées à l'utilisateur avec une interface complète. Pour que l'utilisateur puisse accéder aux données instantanées sans fil, un environnement Internet et un stockage accessible de n'importe où sont nécessaires. Ces caractéristiques se retrouvent dans le Cloud Computing (Azizi & Barenji, n.d.).

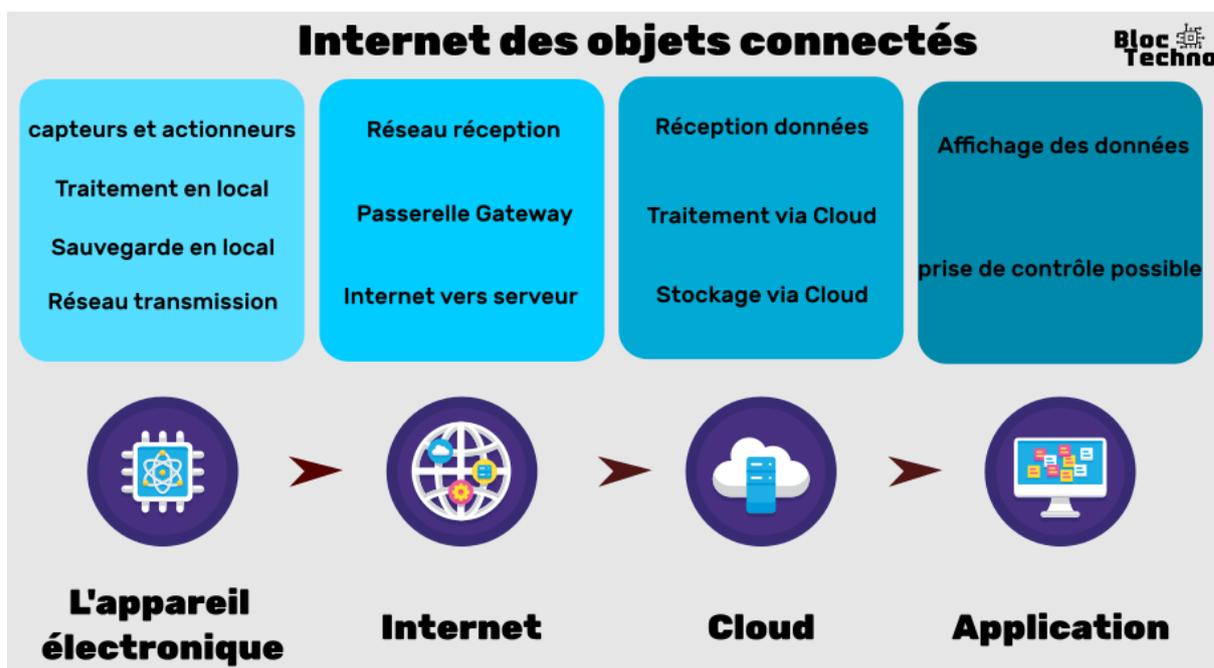


Figure 1. 4: Les principes composants d'IoT¹.

¹ Source : <https://bloctechno.wordpress.com/2020/05/10/cest-quoi-i-o-t-internet-des-objets-connectes/>

Chapitre 1 : Industrie 4.0

1.6.8 Réalité augmentée

La réalité augmentée assure l'incorporation de contenus générés par ordinateur dans l'expérience du monde réel, permettant de profiter des deux simultanément. Elle se situe sur un continuum entre les mondes virtuel et réel. L'AR décode les données numériques relatives aux composants physiques. Pokémon GO est peut-être l'exemple le plus connu. Elle maintient également l'accent sur le monde physique tout en l'augmentant avec des éléments numériques, offrant ainsi une perspective nouvelle (Azizi & Barenji, n.d.).

1.6.9 Identification par radiofréquence (RFID)

Les étiquettes RFID sont de petits dispositifs composés d'une puce microélectronique et d'une base métallique. Elles stockent des données et peuvent effectuer des opérations simples. La base métallique agit comme une antenne, recevant et transmettant les données au lecteur. Les étiquettes actives peuvent contenir des batteries, tandis que les étiquettes passives n'en contiennent pas en raison de leur coût inférieur. Les étiquettes passives reçoivent de l'énergie du signal reçu, ce qui limite leur capacité de stockage et de calcul. Les lecteurs RFID reçoivent les données de ces étiquettes en envoyant une radio pour les charger et les activer dans leur zone. Après avoir collecté les données, celles-ci sont transmises à un ordinateur central ou à un système backend qui stocke toutes les données nécessaires pour identifier les étiquettes et maintient un stock supplémentaire sur les produits ou articles associés (Azizi & Barenji, n.d.).

1.6.10 Robotique avancée

Les avancées technologiques ont rendu les robots plus adaptables et flexibles dans leur conception structurelle et fonctionnelle. Ils peuvent être classés en robots autonomes et collaboratifs. Les robots autonomes possèdent des fonctions telles que le calcul, la communication, le contrôle, l'autonomie et la sociabilité, rendues possibles lorsque des microprocesseurs et l'intelligence artificielle sont combinés avec des biens, des services et des équipements. Ils prennent leurs propres décisions et exécutent des tâches sans interaction avec les opérateurs. Les robots collaboratifs introduisent la proximité avec les humains pour des tâches nécessitant de la flexibilité, permettant aux humains de rester impliqués dans le traitement des données et des informations. Les technologies de l'Industrie 4.0 rendent l'intégration des robots plus rentable et plus efficace, permettant le contrôle à distance et les alertes par message texte en cas de problèmes (Sartal, Antonio, and Diego Carou, n.d.).

1.6.11 Intégration horizontale

L'intégration horizontale peut être définie comme la communication entre toutes les parties prenantes impliquées dans la chaîne d'approvisionnement d'un produit afin qu'elles puissent se connecter au Cloud, ce qui permet à chacun de rester informé tout en maintenant la sécurité. Prenant le cas d'une usine intelligente, les machines ou systèmes cyber-physiques (CPS) connaissent le statut des matériaux. De la même manière, l'usine, le distributeur, le fournisseur, le détaillant, le client et d'autres parties prenantes sont connectés. L'intégration horizontale résout les problèmes pour l'entreprise et le client, mais place les parties prenantes dans une situation délicate. Par exemple, les fournisseurs fournissent des produits à différentes entreprises, et un détaillant vend les produits de diverses entreprises. Lorsque les données de toutes les parties prenantes sont stockées dans le Cloud, cela peut entraîner une violation de la confidentialité et de la vie privée. Donc, lors de la mise en œuvre de l'intégration horizontale dans les entreprises futures, les aspects de confidentialité de toutes les parties prenantes doivent

Chapitre 1 : Industrie 4.0

être pris en compte. La structure de l'intégration horizontale est illustrée dans la figure suivante (Nayyar & Kumar, 2020).

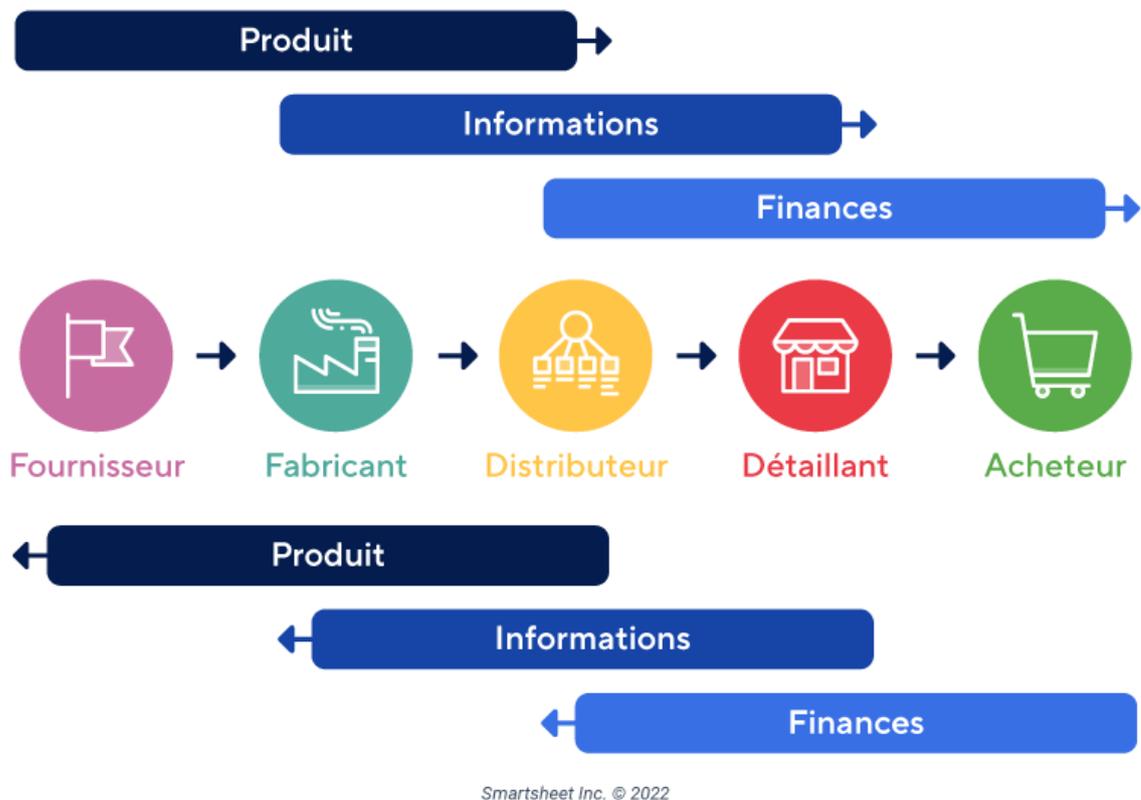


Figure 1. 5 : La structure de l'intégration horizontale²

1.6.12 Intégration verticale

L'objectif de l'intégration verticale est d'améliorer la transparence au sein de l'organisation. Elle peut être définie comme la fusion de la planification et du développement avec la production, ainsi que l'interconnexion des différents modules au sein d'une organisation pour développer des produits flexibles. Une usine comprend plusieurs unités, telles que les RFID et capteurs, le contrôle, la gestion de la production, la fabrication et la planification d'entreprise. Pour atteindre une intégration verticale à tous les niveaux, il est nécessaire que les signaux des actionneurs et des capteurs soient intégrés, jusqu'au niveau de la planification des ressources de l'entreprise (ERP). Cette intégration facilite le développement d'un système de fabrication flexible et reconfigurable, permettant une adaptation dynamique à différents types de produits et une collecte et un traitement de données étendus pour garantir la transparence du processus de production. La figure suivante montre l'intégration verticale dans l'industrie 4.0 (Nayyar & Kumar, 2020).

² Source : <https://fr.smartsheet.com/integrated-supply-chain-management-vertical-and-horizontal>

Chapitre 1 : Industrie 4.0

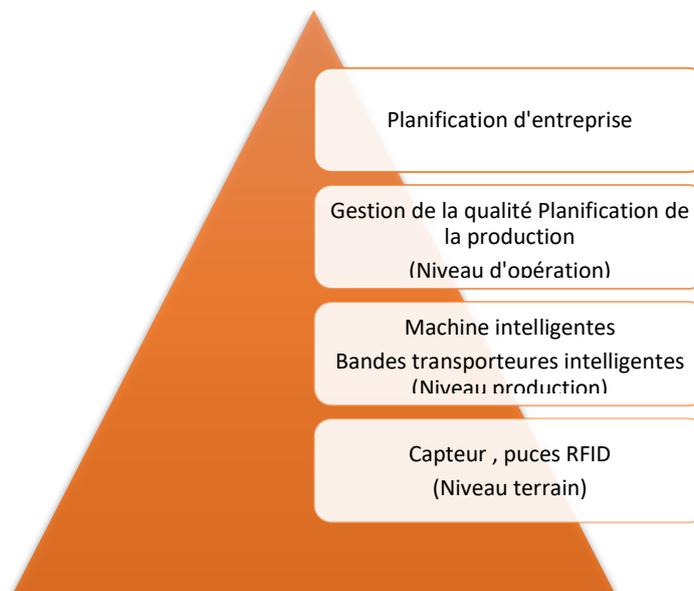


Figure 1. 6: L'intégration verticale dans l'industrie 4.0.

1.7 L'implémentation de l'industrie 4.0 : Discussion

Selon Christopher Hohman³, la transformation vers l'industrie 4.0 dépend d'initiatives conditionnelles à mettre en place avant l'implémentation, l'une des plus importantes étant que l'organisation soit déjà efficiente. Cette hypothèse est soutenue par Bill Gates, qui explique que l'automatisation et la robotisation d'opérations inutiles peuvent entraîner une augmentation des gaspillages en raison de processus non maîtrisés. Gamache et al. (2019) soulignent l'importance d'avoir une agilité opérationnelle avant le passage au numérique, ce qui peut être réalisé en appliquant la philosophie du Lean Manufacturing (détaillée au chapitre 3) dans le contexte de la réduction des gaspillages et de l'amélioration continue. Abdulnour et al. (2022) ont détaillé une étude de cas sur l'implémentation de l'industrie 4.0 dans un contexte de production de masse. Ils ont développé une cartographie de la chaîne de valeur de la ligne de production pour identifier les gaspillages et les améliorations nécessaires afin d'assurer le contrôle des processus avant de passer à l'automatisation. L'entreprise étudiée a réussi à réduire les mouvements inutiles du personnel, les retards et les attentes, et à standardiser les méthodes de travail en utilisant des outils Lean (détaillés au chapitre 3).

D'autre part, l'industrie 4.0 offre l'infrastructure potentielle pour renforcer le Lean Manufacturing et l'augmenter de manière à améliorer efficacement la performance organisationnelle. De plus, L. Naciri et al (2022) mentionnent que l'industrie 4.0 a le potentiel de gérer les demandes de marché variables plus efficacement que la production nivelée du Lean Manufacturing. Enfin, la flexibilité accrue de l'industrie 4.0 aide à s'adapter à la complexité croissante. En outre, S. Schumacher et al. (2020) indiquent que le Lean Manufacturing pourrait être renforcé par la transformation digitale. Cette transformation a eu un impact particulièrement important sur les méthodes et les outils qui ont été raffinés et rendus plus intelligents. En conséquence, les processus Lean sont devenus plus agiles et se sont adaptés aux caractéristiques de l'industrie 4.0, permettant ainsi une productivité et une flexibilité accrues au niveau des ateliers.

³ Source : <http://christian.hohmann.free.fr/index.php/usine-du-futur>

Chapitre 1 : Industrie 4.0

1.8 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté la Quatrième Révolution Industrielle, également connue sous le nom d'Industrie 4.0, en mettant en évidence ses caractéristiques et en nous concentrant sur les différentes technologies qu'elle englobe, telles que l'Internet des objets, le Big data et le Cloud Computing. Nous avons également discuté de deux hypothèses basées sur la littérature concernant l'implémentation de l'Industrie 4.0 : Lean Manufacturing est un prérequis de l'industrie 4.0 et l'industrie 4.0 soutient Lean Manufacturing. Le choix de l'hypothèse à mettre en œuvre au sein d'une entreprise dépend de la stratégie de l'entreprise, du type d'activité et de la taille de l'entreprise, ce qui sera exploré dans le prochain chapitre.

Chapitre 2
L'industrie en Algérie

Chapitre 2 : L'industrie en Algérie

Chapitre 2 : L'industrie en Algérie

2.1 Introduction

Ce chapitre se concentre sur la présentation de l'industrie en Algérie à travers l'exemple de l'entreprise BMS Electric et de son secteur de production. Nous débuterons par une introduction de l'entreprise, en détaillant sa stratégie ainsi que l'organisation de ses différentes directions et départements à l'aide d'un organigramme. Ensuite, nous examinerons les principaux ateliers de production. Par la suite, nous explorerons le niveau d'adoption de l'industrie 4.0 en Algérie, en mettant en lumière les entreprises qui ont été numériquement transformés. Enfin, nous présenterons une analyse SWOT de l'industrie 4.0 en Algérie pour identifier les forces, les opportunités, les menaces et les faiblesses liées à son adoption dans le pays.

2.2 Présentation de l'entreprise⁴

Depuis sa fondation en 2001, BMS Electric s'est spécialisée dans la fabrication d'accessoires et d'appareillage électrique. En seulement quatre ans, la société a su s'imposer comme leader sur le marché algérien, tout en exportant ses produits vers différents pays étrangers. Dans le cadre de son projet d'extension, BMS ELECTRIC envisage de créer une centaine de nouveaux emplois et d'étendre ses chaînes de production afin de renforcer son potentiel productif. Grâce à une équipe dirigeante dynamique, BMS Electric a réussi à transformer l'entreprise en une véritable "société industrielle", devenant ainsi un acteur majeur de l'économie nationale. Grâce à sa capacité de production élevée, atteignant jusqu'à 130 000 appareils par jour, l'entreprise parvient à couvrir 90 % du territoire national. Cette expansion est également soutenue par un solide réseau de distributeurs et les initiatives de la direction visant à renforcer la distribution des produits. De plus, les produits de l'entreprise sont désormais disponibles dans neuf pays, grâce à des partenariats solides avec des partenaires formés et soutenus par la société.

2.2.1. Stratégie de l'entreprise

- Répondre aux besoins des clients en offrant des produits de qualité, à prix compétitif et respectant les délais.
- Étendre la présence sur le marché international des appareillages électriques.
- Utiliser des technologies avancées pour améliorer les performances de l'entreprise.
- Assurer un développement à long terme de l'entreprise.

2.2.2. L'organigramme de la direction générale

La direction générale joue un rôle crucial dans la gestion et le fonctionnement de l'entreprise. Elle guide l'organisation vers ses objectifs stratégiques en prenant des décisions clés et en gérant les ressources et les opérations. La figure suivante représente l'organigramme de la direction générale de l'entreprise BMS Electric.

⁴ Source : <https://bms-electric.com/https://bms-electric.com/>

Chapitre 2 : L'industrie en Algérie

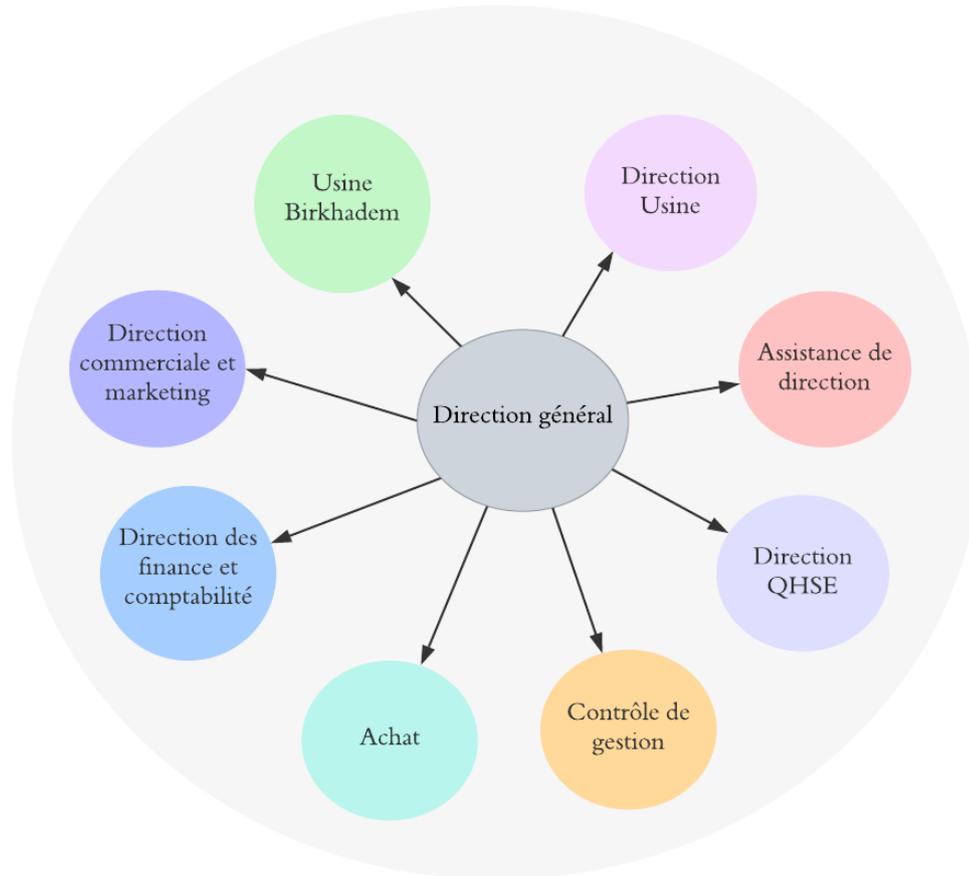


Figure 2. 1: L'organigramme de la direction générale de l'entreprise⁵

2.2.3. Présentation de l'organisation de la direction d'usine

La direction d'usine est responsable de la supervision et de la gestion de tous les aspects au sein de l'usine, garantissant ainsi le respect des normes et le bon déroulement des opérations dans leur ensemble. L'organisation de la direction d'usine de BMS Electric à Baba Hassen est illustrée dans le schéma ci-dessous :

⁵ Source : document interne de l'entreprise.

Chapitre 2 : L'industrie en Algérie



Figure 2. 2: Organigramme de la direction d'usine⁶

2.2.4. Description des ateliers de site

Ateliers moulage par injection

L'entreprise BMS compte 5 ateliers de moulage par injection avec 48 machines, considérés comme le cœur de son processus de fabrication. Ces ateliers sont vitaux car ils fournissent les autres ateliers de montage situés sur les sites de Baba Hacem et Birkhadem. Chaque atelier d'injection est équipé de machines de moulage par injection ayant les mêmes fonctionnalités, mais variant en taille et en vitesse. Chaque machine est adaptée à un type spécifique de matière première. Les machines d'injection de BMS Electric sont de la marque taïwanaise HUARONG Group, modèles 150, 200, 320 et 400 Newton.

Le fonctionnement du moulage par injection (injection thermoplastique)

Le principe du moulage par injection consiste à injecter un polymère fondu (matière thermoplastique comme polycarbonate, polyamide, ABS, polypropylène) sous haute pression dans un moule à l'aide d'une presse d'injection. Le processus commence par l'utilisation de matières thermoplastiques sous forme de granulés. Ces granulés sont d'abord versés dans une vis de plastification chauffée. La rotation de la vis, combinée à la chaleur, ramollit les granulés jusqu'à ce qu'ils deviennent du plastique fondu. Ensuite, cette matière fondue est stockée à l'avant de la vis avant d'être injectée dans le moule, où elle prend la forme de l'empreinte du moule. Il est crucial de s'assurer que le moule est complètement rempli avant que la matière ne

⁶ Source : document interne de l'entreprise.

Chapitre 2 : L'industrie en Algérie

se solidifie. La matière est ensuite refroidie par des circuits de refroidissement à l'intérieur du moule. Une fois cette opération terminée, la pièce est éjectée du moule et devient utilisable. La figure suivante représente le schéma de la machine de moulage par injection.

Moulage par injection

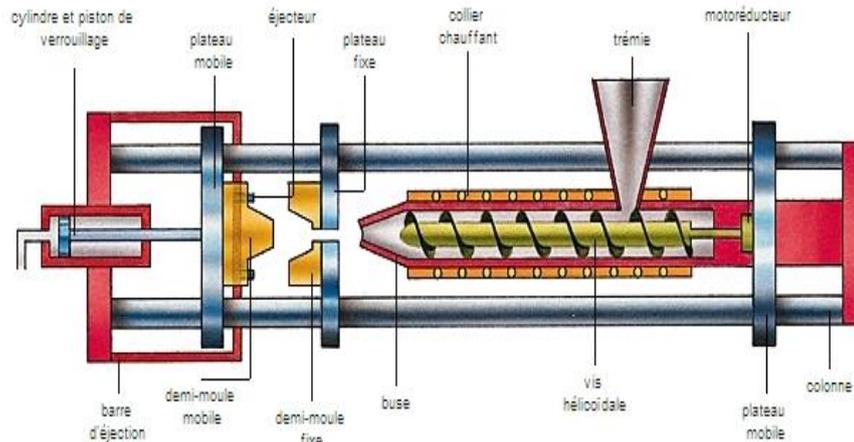


Figure 2. 3: Le schéma d'une machine de moulage par injection.⁷

Atelier presse à découpe

Cet atelier est également considéré comme un fournisseur pour les autres ateliers de montage situés sur le site. Il est spécialisé dans la fabrication de composants destinés à être montés dans les produits finis, à partir de matériaux conducteurs tels que le laiton, le cuivre, la tôle galvanisée ou la platine. Initialement sous forme de barres très fines, ces matériaux sont transformés à l'aide de machines semi-automatiques pour adopter des formes spécifiques, faciles à intégrer dans les produits finis. Ces matériaux sont bien connus pour leur faible résistance électrique qui permet une circulation efficace des courants électriques.

Ateliers de montage

Les ateliers de montage sont responsables de transformer des pièces semi-finies, provenant de l'atelier d'injection et de l'atelier de presse à découpe, en produits finis, emballés et prêts à la distribution. Les tâches de montage sont réalisées manuellement pour garantir une précision optimale. Il existe six ateliers de montage, avec un effectif qui dépasse 300 personnes. Deux ateliers sont destinés aux femmes et deux aux hommes, chacun spécialisé dans le montage des rallonges, des interrupteurs et des prises. Le cinquième atelier est spécialisé dans le montage des disjoncteurs, et le dernier dans le montage des lampes.

Le processus de montage des appareillages électriques nécessite des opérations de préparation des composants spécifiques, obligeant les ateliers de montage à créer des postes dédiés sur la ligne de montage pour effectuer ces opérations, soit manuellement, soit à l'aide de machines.

Il y a également un atelier d'automatisation. Cet atelier réalise des opérations nécessitant un haut niveau de précision. Ces opérations, appelées préparation de composants, visent à faciliter leur assemblage dans les ateliers de montage. Cet atelier est composé de deux zones : une zone

⁷ Source : https://www.larousse.fr/encyclopedie/images/Moulage_par_injection/1001607

Chapitre 2 : L'industrie en Algérie

contenant des machines pour effectuer ces tâches et une autre zone où ces tâches sont réalisées manuellement.

Atelier d'usinage et de maintenance des moules

La mission de cet atelier est de garantir le bon état des moules, en assurant leur nettoyage après chaque utilisation et leur réparation si nécessaire. L'atelier intervient également en cas d'anomalies survenant dans les moules pendant le processus d'injection, afin de minimiser les interruptions de production et d'assurer la qualité des pièces produites.

Atelier de recyclage

Cet atelier a pour mission de transformer les pièces non conformes, provenant des ateliers d'injection, en matière broyée afin de les réutiliser dans de nouvelles productions. Cependant, la réutilisation de cette matière broyée dépend du type de produit final et de l'emplacement du composant dans le produit.

Si le composant doit être visible et faire partie de la façade du produit fini, il est impératif d'utiliser de la matière neuve pour garantir une qualité esthétique et fonctionnelle optimale. En revanche, si le composant est destiné à être caché à l'intérieur d'un boîtier, il peut être fabriqué à partir de matière recyclée (broyée), ce qui permet de réduire les coûts et de minimiser les déchets sans compromettre la performance du produit.

2.3 Le niveau d'adoption de l'industrie 4.0 en Algérie

En 2019, le tout premier atelier sur l'Industrie 4.0 a été organisé en Algérie, en collaboration avec le Centre de Développement des Technologies Avancées (CDTA) et Siemens Algérie. L'objectif était de lancer une initiative visant à mettre en place la première **smart manufacturing platform** pour l'Industrie 4.0, afin de soutenir les entreprises innovantes du pays. L'objectif principal était d'incorporer les technologies et les concepts de la révolution numérique pour améliorer l'adaptabilité de la production et l'efficacité de l'allocation des ressources. Cette initiative ouvre la voie à une nouvelle industrie, plus compétitive et plus personnalisée (ATRST, 2018.).

Lors d'une entrevue avec un expert en transformation digitale, Djallal Bouabdallah a souligné que l'Algérie se trouve à un moment décisif de sa transition. Le pays se concentre sur le renforcement de ses compétences technologiques et de ses infrastructures en améliorant la connectivité, en développant des capacités d'hébergement et de Datacenter, et en intégrant des solutions numériques innovantes dans divers secteurs tels que l'éducation, la santé, l'industrie et la finance digitale. Il a également noté que les secteurs bancaire et financier, l'éducation et le gouvernement ont été les premiers à adopter rapidement la transformation digitale. Cependant, il a souligné que les entreprises algériennes sont confrontées à plusieurs défis dans ce processus, notamment la gestion de la sécurité des données et le développement des compétences numériques au sein de leur main-d'œuvre (Djallal Bouabdallah, 2024).

Un expert algérien (Abderhmane Hadeff, 2023) en économie a souligné la nécessité de définir des priorités dérivées d'une vision à long terme (Algérie 2050). Il a indiqué que l'Algérie doit choisir un modèle industriel à développer, qui jouera un rôle crucial dans l'économie du pays. Il est impératif de se projeter vers la nouvelle révolution industrielle, l'Industrie 4.0, car l'avenir économique de l'Algérie en dépendra. Cette révolution repose principalement sur l'intelligence artificielle (AI). Selon lui, l'Algérie dispose des ressources humaines et des infrastructures nécessaires pour cette émergence. Cependant, il manque une prise de conscience et une volonté d'avancer, ainsi qu'une gouvernance économique favorable à cette vision.

Chapitre 2 : L'industrie en Algérie

Voici quelques entreprises en Algérie qui ont intégré l'Industrie 4.0 dans leurs opérations :

- IRIS Algérie
- Cevital agro-alimentaire.

2.4 Analyse PESTEL

L'analyse PESTEL de l'industrie 4.0 en Algérie prend en compte différents facteurs qui peuvent influencer le développement et l'adoption de cette industrie dans le pays. Voici une analyse PESTEL pour l'Algérie :

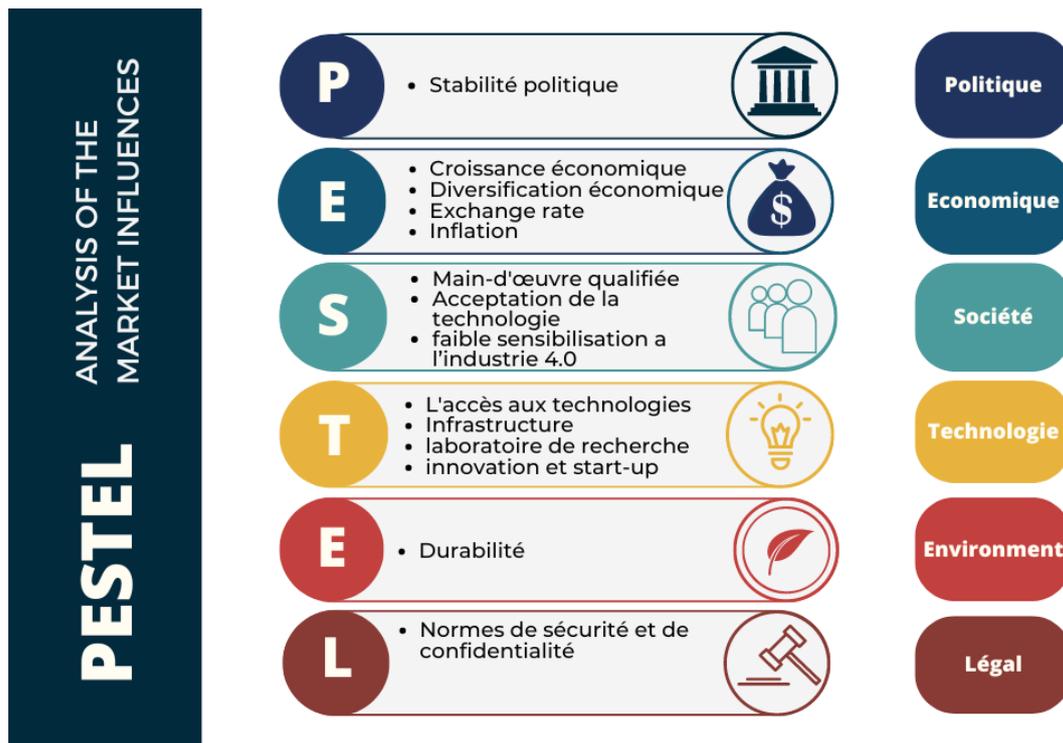


Figure 2. 4: Analyse PESTEL sur l'industrie 4.0 en Algérie.

2.5 La matrice SWOT de l'industrie 4.0 en Algérie

Pour identifier les forces et les faiblesses de l'industrie 4.0, une matrice SWOT a été élaborée, comme indiqué dans la figure ci-dessous.

Chapitre 2 : L'industrie en Algérie



Figure 2. 5: Matrice SWOT sur l'industrie 4.0 en Algérie.

Force

- Main d'œuvre qualifiée : la présence d'une main d'œuvre qualifiée est un atout majeur, car elle assure une base solide pour l'innovation et l'adaptation aux nouvelles technologies.
- Infrastructure numérique émergente : le développement des infrastructures numériques favorise la digitalisation et la modernisation des industries.
- Population jeune et connectée : une population jeune et connectée est synonyme de dynamisme, d'adaptabilité et d'une forte capacité à adopter de nouvelles technologies.
- Existence d'une base industrielle : la présence d'une base industrielle existante permet une transition plus facile vers des méthodes de production plus modernes et automatisées.

Faiblesses :

- Faible niveau d'investissement : le manque d'investissement limite les possibilités de croissance et de modernisation.
- Problèmes de standardisation : l'absence de standards uniformes complique l'intégration et la coopération entre différentes entreprises et secteurs.
- Dépendance à la deuxième révolution industrielle : une dépendance aux méthodes et technologies de la deuxième révolution industrielle empêche l'adoption rapide des technologies de l'industrie 4.0.

Chapitre 2 : L'industrie en Algérie

- Lean Manufacturing non mis en œuvre : l'absence de méthodes de production efficaces comme le Lean Manufacturing peut entraîner des inefficacités et des gaspillages

Opportunités :

- Diversification de l'économie : la diversification économique permet de réduire les risques associés à la dépendance d'un seul secteur.
- Partenariats public-privé : les collaborations entre le secteur public et le privé peuvent accélérer le développement technologique et économique.
- Formation et éducation : investir dans la formation et l'éducation permet de préparer une main-d'œuvre qualifiée et adaptable.
- Amélioration de la productivité : l'adoption de nouvelles technologies et méthodes peut significativement améliorer l'efficacité et la productivité.
- Accès à de nouveaux marchés : la modernisation et l'innovation peuvent ouvrir des opportunités sur des marchés internationaux.

Menace :

- Cyberattaques : les risques de cyberattaques augmentent avec la digitalisation et peuvent avoir des conséquences graves sur la sécurité des données et des opérations.
- Changement technologique rapide : la rapidité des avancées technologiques peut rendre les investissements rapidement obsolètes et nécessiter une adaptation continue.
- Concurrence mondiale : la globalisation entraîne une concurrence accrue, nécessitant une amélioration constante des produits et services.
- Migration des cerveaux : la fuite des talents à l'étranger en raison de la marginalisation prive le pays de compétences précieuses.

2.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté l'industrie en Algérie et le niveau d'adoption de la technologie dans le pays. D'après l'étude de la matrice SWOT, nous avons constaté que les processus des entreprises algériennes ne sont ni standardisés ni optimisés, ce qui constitue une faiblesse pour l'implémentation de l'industrie 4.0. Pour l'entreprise BMS, il est essentiel de mettre en place le Lean Manufacturing avant de procéder à la transformation digitale, car elle n'a pas encore pris cette initiative. Dans le prochain chapitre, nous explorerons ce qu'est le Lean Manufacturing.

Chapitre 3
Lean Manufacturing

Chapitre 3 : Lean Manufacturing

Chapitre 3: Lean Manufacturing

3.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons explorer le Lean Manufacturing. Nous commencerons par une brève histoire du Lean Manufacturing et une présentation de ses principes. Ensuite, nous discuterons des sept types de gaspillage identifiés par le Lean Manufacturing et examinerons leurs caractéristiques. Enfin, nous définirons les outils que nous avons utilisés dans notre projet, comme la méthode SMED (Single Minute Exchange of Die).

3.2 Lean Manufacturing

Lean Manufacturing se réfère au système de production de Toyota. La société Toyota a été fondée par la famille Toyoda en 1937. Treize ans plus tard, Toyota produisait 2685 voitures, tandis que Ford en produisait 7000 par jour. Eiji Toyoda et Taiichi Ohno ont conclu qu'il était possible d'améliorer le système de production. Ils ont d'abord gagné la confiance de leurs travailleurs en leur garantissant leur emploi et en les aidants à s'améliorer, intégrant ainsi les travailleurs à la communauté de l'entreprise (Dennis, Pascal, and John Shook. n.d).

Le système de production de Toyota s'est appuyé sur les études de temps et de mouvement de Taylor, le travail standardisé et l'amélioration continue. La production Lean était la solution aux problèmes de Toyota. Taiichi Ohno a résolu ces problèmes un par un sur une période de 30 ans. Les travailleurs d'Ohno ont inventé le changement rapide d'outillage, réduisant le temps de changement qui prenait une journée ou plus pour la production de masse à seulement quelques minutes chez Toyota (Dennis, Pascal, and John Shook. n.d).

Dès 1960, Taiichi Ohno avait mis en œuvre la production Lean dans les installations de Toyota. La prochaine étape était que les fournisseurs de Toyota adoptent également le système Lean. Toyota a introduit le concept de systèmes de fabrication Lean dans le but de réduire les déchets dans leurs processus et d'utiliser efficacement les ressources dans leurs usines. En éliminant les déchets des processus industriels, l'approche Lean améliore l'efficacité, optimise le temps de cycle, augmente la productivité, réduit les délais de réponse, abaisse les coûts des matériaux et permet un débit élevé. À mesure que les déchets sont minimisés, la qualité du produit s'améliore et le temps de production et les coûts globaux diminuent. L'objectif principal de l'approche Lean est de prioriser les besoins des clients (Misra et al., 2021).

3.3 Les principes de Lean Manufacturing

Les principes de la valeur du Système de Production Toyota, basés sur cinq principes généraux : la valeur, le flux de valeur, le flux, le tirage et la perfection, sont complétés par un principe tout aussi important - le respect des personnes et la collaboration entre les employés (Womack & Jones, 1997).

La valeur : la définition de la valeur doit toujours être déterminée du point de vue du client. Cela inclut la satisfaction des exigences non seulement de l'utilisateur final du produit, mais aussi des besoins de ceux impliqués dans les processus de fabrication ultérieurs.

Le flux de valeur : le flux de valeur englobe toutes les étapes nécessaires à la création d'un produit, de la commande du client à la livraison. Identifier le flux de valeur améliore considérablement la compréhension du processus et aide à révéler des problèmes précédemment non détectés (Rother et al., 2003) (Magenheimer, 2014).

Chapitre 3 : Lean Manufacturing

Flux : le principe de flux s'aligne fondamentalement sur le principe central du Système de Production Toyota axé sur l'orientation client en réduisant le temps entre la prise de commande et la livraison grâce à une organisation de la production clairement basée sur le flux de valeur.

Flux tiré : le principe de flux tiré implique la prestation de services à la demande, où les processus de fabrication sont déclenchés par les commandes des clients.

La perfection : s'améliorer constamment (Kaizen) est le principe clé de la pensée Lean, qui est à la base de la gestion Lean. Pour continuer à s'améliorer par petites étapes (Kaizen), il est important d'avoir des processus clairs, stables et transparents (Krijnen, 2007)

Personnes et Travail d'Équipe : la valorisation des employés est un aspect central de la philosophie Lean. En mettant l'accent sur le travail d'équipe, le potentiel des employés est libéré et développé.

3.4 Les sept MUDA (gaspillages)

Les sept Muda, ou les sept gaspillages du Lean Manufacturing, se réfèrent aux activités sans valeur ajoutée qui constituent un obstacle dans le processus de production. Ces activités augmentent les coûts de production et réduisent la qualité. Les gaspillages incluent le transport, la surproduction, les temps d'attente, les mouvements inutiles, les processus superflus et les non-conformités.

3.4.1 Surproduction

Le gaspillage par surproduction est la principale cause de tous les gaspillages apparus. Le type de gaspillage le plus répandu dans un contexte de fabrication est la surproduction. Il est risqué de produire plus que ce qui est nécessaire, plus rapidement que nécessaire, ou avant qu'il ne soit nécessaire. Pour une ligne d'assemblage, le traitement par lots ou la planification anticipée peuvent entraîner des problèmes. Les opérateurs ont tendance à surproduire en raison de la crainte de l'absence, des pannes éventuelles de la machine, des retouches et des rebuts, et du "paraître occupé". Les gestionnaires et les superviseurs de ligne ont du mal à surveiller l'attrition et l'absence des employés, donc ils développent souvent des produits en avance au cas où ils auraient une pénurie de personnel le lendemain. L'accumulation de travail en cours excessif (WIP), la dissimulation des défauts de qualité dans ce WIP, des comptages de productions erronées, de longues heures de travail et une gestion inefficace des stocks sont les effets néfastes de la surproduction (Ortiz, 2006).

Voici les caractéristiques du gaspillage par surproduction (Dailey, Kenneth W, n.d.):

- Traitement par lots.
- Construction anticipée.
- Gestion complexe des stocks.
- Équipement excessif.
- Capacité excessive.
- Racks de stockage excessifs.
- Grand nombre de travaux en cours.
- Stockage extérieur.

Chapitre 3 : Lean Manufacturing

3.4.2 Temps d'attente

Lorsque tous les processus de fabrication sont désynchronisés, des périodes d'attente se produisent et un opérateur se retrouve inactif. Les périodes d'attente sont causées par divers facteurs, notamment un manque de pièces, des charges de travail inégales, des normes et des procédures erronées, des temps de configuration prolongés, des équipements défectueux, une communication insuffisante et des rejets (Ortiz, 2006). Voici les caractéristiques du temps d'attente (Dailey, Kenneth W, n.d.)

- Goulot d'étranglement de la production.
- Attente de la production pour les opérateurs.
- Temps d'arrêt non planifié des équipements.
- Attente de l'opérateur pour l'équipement.

3.4.3 Transportation

Le transport englobe tous les mouvements de matériaux du fournisseur aux clients. Les mouvements de matériel entre les lignes de production génèrent des gaspillages dans le processus de fabrication, augmentant ainsi les coûts pour les clients et provoquant des retards dans la livraison du produit final (Ortiz, 2006).

Les problèmes de transport se trouvent généralement dans les installations de l'usine. Cela inclut la distance entre les chaînes de production, la distance entre les machines, la distance entre les entrepôts de stockage et la production, ainsi que la distance entre les autres départements et le service de maintenance du site de production (Solimane, 2017). Voici les caractéristiques du gaspillage de transport (Dailey, Kenneth W, n.d.) :

- Gestion des stocks complexe.
- Équipement de transport excessif.
- Taux élevé de dommages aux matériaux transportés.
- Multiples emplacements de stockage des matériaux.
- Ratio pauvre de stockage par rapport à l'espace de production.

3.4.4 Sur-processus

Tout comme la surproduction, le sur-traitement est un travail gaspillé qui n'améliore pas le résultat. Dans un département de fabrication, le sur-traitement est monnaie courante. Par exemple, un ponçage excessif, un polissage, un meulage et un ébavurage excessif peuvent se produire (Ortiz, 2006). Voici les caractéristiques du gaspillage par sur-traitement (Dailey, Kenneth W, n.d.) :

- Raffinements de produits/processus sans fin.
- Goulots d'étranglement dans le processus.
- Spécifications client peu claires.

3.4.5 Sur stockage

Le sur stockage est l'un des plus grands gaspillages. Les problèmes d'inventaire sont fortement influencés par le style de production. L'une des raisons de ces problèmes est due aux prévisions de vente incorrectes ou à une mauvaise planification des approvisionnements (Solimane, 2017).

Réduire l'inventaire excédentaire pourrait réduire les coûts des installations. En raison de processus de production inefficaces et de logiciels de gestion des stocks peu performants, les organisations conservent des stocks plus importants que nécessaire. Voici les caractéristiques du gaspillage par sur-traitement (Dailey, Kenneth W, n.d.):

Chapitre 3 : Lean Manufacturing

- Ressources supplémentaires pour la manipulation des matériaux.
- Rework étendu des produits finis.
- Espace supplémentaire sur les quais de réception.
- Délai prolongé pour les modifications de conception.
- Congestion de stockage obligeant à LIFO (dernier entré, premier sorti) au lieu de FIFO (premier entré, premier sorti).

3.4.6 Mouvement

Le gaspillage de mouvement est tous les mouvements inutiles qui n'ajoutent aucune valeur au produit et cela pourrait être le mouvement humain, le mouvement de l'équipement, l'atteinte inutile (Ortiz, 2006).

L'opérateur doit avoir un accès facile aux équipements et au matériel pour éviter les déplacements inutiles. Il ne devrait pas avoir à quitter son poste pour aller chercher des outils ou du matériel (Solimane, 2017). Voici les caractéristiques du gaspillage de mouvement (Dailey, Kenneth W, n.d.) :

- Équipement de déplacement excessif.
- Atteinte ou flexion excessive.
- Procédures inutilement compliquées.
- Rassemblement excessif d'outils.
- Matériaux, outils, équipements largement dispersés.

3.4.7 Non-conformité

La qualité du produit est primordiale pour une entreprise. La non-conformité n'est pas seulement liée au processus de production, mais également à d'autres processus. Par exemple, en maintenance, si un opérateur commet une erreur lors de la réparation d'une machine, cela indique une non-conformité (Solimane, 2017).

Le gaspillage lié aux défauts fait référence à la réparation du produit défectueux ; cela inclut le matériel, le temps et l'énergie nécessaires pour créer et réparer le défaut (Dennis, Pascal, and John Shoochr, n.d.).

L'une des meilleures façons de réduire les problèmes de non-conformité est de standardiser les processus et de réaliser une cartographie des processus.

3.5 Les outils et techniques de Lean Manufacturing

Juste à temps : juste à temps Considéré comme l'un des piliers qui soutiennent le système Lean, le juste-à-temps (JIT) implique la fourniture de la quantité précisément requise, au moment précis et au bon endroit. Fondamentalement, il s'agit de contrôler les quantités (Wilson, 2010).

Jidoka : Le deuxième pilier est le "Jidoka," qui combine des aspects culturels et techniques pour intégrer les machines et le personnel. Il s'agit d'utiliser les compétences humaines pour les tâches où elles sont les meilleures, tout en permettant aux machines de maintenir automatiquement les standards de qualité (L.W, 2010).

Kaizen : Kaizen est un mot japonais qui signifie amélioration continue. Cette philosophie met l'accent sur l'importance de l'implication des employés à tous les niveaux de l'organisation. Elle

Chapitre 3 : Lean Manufacturing

suppose que notre vie quotidienne devrait se concentrer sur des efforts constants d'amélioration (Ortiz, 2006).

Value Stream Mapping (VSM) : Il est considéré comme un outil visuel permettant d'identifier toutes les activités impliquées dans le processus de planification et de fabrication. En cartographiant ces étapes, il devient facile de reconnaître les activités à valeur ajoutée et celles sans valeur ajoutée (Conner, Gary, n.d.)

Total productive maintenance : Les origines de la méthode TPM viennent de la maintenance préventive et du concept de gestion de la qualité totale (TQM) appliqué aux problèmes de maintenance. Cela garde les employés engagés à long terme en fixant des objectifs clairs et mesurables. Des améliorations continues doivent être apportées. Il faut éliminer les gaspillages et les pertes pour augmenter l'efficacité, la productivité et la sécurité (Vinodh, 2022).

Les 5S : Généralement Kaizen commence par le 5S. On fait rappel de la signification de 5S qui décrivent les activités dont le nom japonais commence par un « s » (De Cheffontaines, Charles, et al, n.d.):

- Seiri : trier l'utile et l'inutile et débarrasser le poste de travail.
- Seiton : ranger chaque chose à sa place.
- Seiso : nettoyer chaque jour.
- Seiketsu : standardiser les règles de rangement et de nettoyage.
- Shitsuke : maintenir la discipline d'ordre et de propreté.

Management visuel : Par définition le management visuel est la construction d'un système d'information sur le périmètre de travail ou la rédaction des consignes est réduite minimum par la mise en place des solutions visuelles, a deux types différents (De Cheffontaines, Charles, et al, n.d.) :

- La communication en temps réel de la performance de la ligne.
- La visualisation des règles au poste de travail.

Kanban : Kanban est le mode d'exécution quotidien du système de flux tiré ; il permet de contrôler les niveaux d'encours et pièces et de simplifier les flux d'information en les représentant par des étiquettes ou par un signal électronique. Le Kanban se compose de deux boucles: la première boucle est kanban de prélèvement qui est entre le client et le stock pour commander le réapprovisionnement depuis le stock, la deuxième boucle est kanban de production qui entre le stock et le fournisseur pour déclencher la production et compléter le stock après la consommation du client (De Cheffontaines, Charles, et al, n.d.).

Single minute exchange of die (SMED) : Dans toutes les pratiques du Lean, le SMED est la plus stratégique car elle permet la réduction des tailles de lot et du temps de passage, ainsi que la mobilisation de l'équipe autour d'une réponse rapide aux demandes du marché. Les consultants de cette méthode ont l'habitude de dire qu'au premier SMED, l'objectif fixé est de réduire de 50% le temps de changement de série, et pour la seconde passe d'analyse, il est encore possible de trouver 30% d'amélioration. Pour atteindre cet objectif, il est important de respecter les principes de la méthode telle que Shingo l'a formalisée (De Cheffontaines, Charles, et al, n.d.) :

- Classification des opérations de réglages externes à la machine, les opérations internes et les opérations inutiles.

Chapitre 3 : Lean Manufacturing

- Supprimer les opérations inutiles et convertir les opérations internes en opérations externes.
- Réduction des temps des activités de réglage internes et externes en appliquant quelques règles d'amélioration :
 - Utilisation des systèmes à bridage ou à serrage rapide.
 - Standardisation des outils du réglage et application des 5S.
 - Elimination des réglages par l'auto-indexation, préparation des outils de production, l'uniformisation des hauteurs d'outil.
 - Synchroniser les activités en établissant un mode opératoire standard chronométré qui décrit les gestes des participants.

3.6 Conclusion

L'objectif de ce chapitre était de définir le lean Manufacturing en découvrant son histoire et ses origines. Ensuite, nous avons approfondi ses principes célèbres et les sept types de Muda (gaspillages) qui constituent le concept central de cette philosophie. Nous avons fini en expliquant rapidement les techniques et outils utilisés pour atteindre le but principal du Lean, qui est de réduire les gaspillages. Le prochain chapitre examinera les différents types de gaspillages avec une étude de cas concrète.

Chapitre 4
Cas pratique

Chapitre 4 : Cas pratique

Chapitre 4 : Cas pratique

4.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous examinerons la première hypothèse selon laquelle la Lean Manufacturing est une condition préalable à la mise en œuvre de l'Industrie 4.0. Nous commencerons par évaluer la situation actuelle du Lean Manufacturing dans l'atelier d'injection, en nous concentrant particulièrement sur l'identification des gaspillages, qui est le principe fondamental de la méthodologie Lean. Suite à cette évaluation, nous proposerons des recommandations pour réduire les gaspillages au sein de l'atelier et assurer la standardisation des processus. Ensuite, nous évaluerons l'état actuel de l'Industrie 4.0 dans l'atelier. Sur la base des résultats de cette évaluation, nous élaborerons une feuille de route pour faciliter la mise en œuvre réussie des concepts de l'Industrie 4.0.

4.2 Le choix de l'atelier sur lequel nous devons nous concentrer

Nous avons choisi de nous concentrer sur les ateliers d'injection parmi les autres ateliers, car :

- Ils représentent un goulot d'étranglement dans la chaîne de valeur de l'entreprise. Fonctionnant sur trois équipes, 24 heures sur 24, 7 jours sur 7, ces ateliers doivent alimenter les ateliers de montage, qui ne travaillent qu'en une seule équipe. Un délai d'une semaine existe entre la production des ateliers d'injection et celle des ateliers de montage.
- Si les ateliers d'injection ne fonctionnent pas correctement, cela affecte directement la production des ateliers de montage et, par conséquent, l'ensemble de la chaîne de valeur.
- Les ateliers d'injection utilisent des machines, tandis que les ateliers de montage sont manuels, ce qui rend la transformation digitale plus facile à mettre en place dans les ateliers d'injection. Notre étude doit se concentrer sur l'atelier d'injection 2, qui possède le plus grand nombre de machines.

4.3 Le fonctionnement de l'atelier d'injection 2

L'atelier 2 contient 18 machines, Chaque machine est associée à un opérateur, qui peut gérer jusqu'à trois machines simultanément. Chaque atelier est supervisé par un adjoint chef d'atelier chargé de contrôler le bon déroulement des opérations et de surveiller les taux de production de chaque machine. Le contrôleur qualité est responsable de garantir la production de produits conformes, tandis que le superviseur vérifie l'état général des ateliers, des machines et des moules, et s'assure du bon approvisionnement en équipement et du nettoyage des installations.

Un gestionnaire est chargé de collecter les données de production à la fin de chaque période de travail. Il est également responsable du suivi des machines, de la matière première et des matériaux recyclés. En cas de besoin en matière première ou des produits consommables tels que les papiers et les étiquettes, il émet des bons de commande. Chaque jour, il reçoit un ordre de fabrication détaillant les moules à monter et les quantités à produire.

Le processus de travail est organisé en trois shifts et quatre groupes (A, B, C, D).

Chapitre 4 : Cas pratique

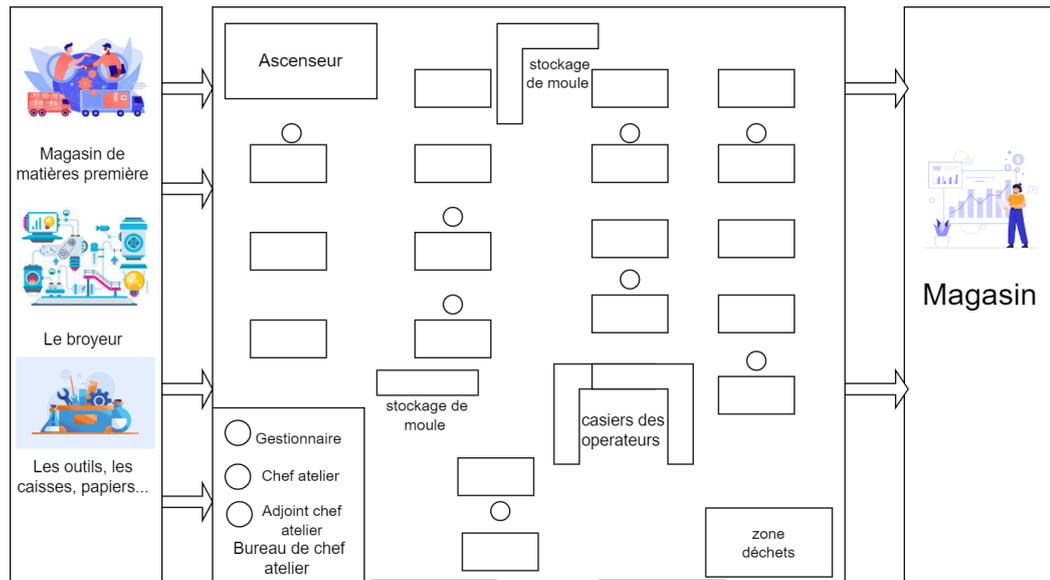


Figure 4. 1 : Plan d'atelier d'injection 2

4.4 Description du processus de fabrication dans l'atelier d'injection

Le processus démarre dès la réception des ordres de fabrication du service de lancement et d'ordonnancement. Ensuite, le chef d'atelier communique aux opérateurs concernés la liste des composants à fabriquer. Dans ce cadre, une équipe polyvalente entame simultanément la vérification des inputs nécessaires :

- La disponibilité de la matière première : si la matière première n'est pas disponible, le gestionnaire doit passer une commande au service d'approvisionnement et il organise le transfert de la matière première vers l'atelier.
- La disponibilité de la machine est cruciale : en cas d'indisponibilité de la machine, une autre machine doit être programmée pour la production. Dans l'atelier d'injection, chaque machine est associée à un opérateur, mais il arrive que certains opérateurs gèrent jusqu'à trois machines en fonction du temps de cycle et du nombre d'empreintes.

Chapitre 4 : Cas pratique



Figure 4. 2 : Les machines d'injection thermoplastique

- L'état du moule : Avant de monter le moule dans la machine désignée, il est nécessaire de vérifier s'il présente des anomalies. Si l'état du moule est bon, il est monté. En cas de problème, le monteur soumet une demande d'intervention au service d'usinage pour résoudre le problème. Une fois la réparation effectuée par le service d'usinage, le moule est transmis à l'atelier d'injection avec un rapport validant son utilisation.

Une fois que ces inputs ont été vérifiés, le monteur régleur entame son travail en montant le moule dans la machine conformément aux procédures de montage établies. Trois types de changement sont envisageables : le changement de moule seul, le changement de moule avec la matière déjà utilisable dans une machine qui est en production, et le changement de matière qui n'est utilisable nulle part en cours de production. Ensuite, il ajuste les paramètres nécessaires dans la machine en fonction du nouveau moule afin de lancer l'opération d'injection des premières pièces. Ces ajustements se poursuivent jusqu'à ce qu'il obtienne des pièces jugées conformes, dépourvues de taches mates, de rayures, de fissures, de résidus et de lubrifiant, de bulles, de bavures, etc. Une fois ces critères remplis, il alerte le contrôleur qualité pour valider ces pièces. Ce dernier procède à une vérification visuelle pour confirmer le jugement du monteur, et s'il les juge conformes, les considère comme des échantillons de référence. Ensuite, il établit une fiche de validation et donne son approbation pour continuer la production. En cas de non-validation, le contrôleur analyse les différentes causes potentielles qui peuvent entraîner des non-conformités dans les premières pièces, telles qu'un paramétrage inadéquat. Il prend alors des mesures correctives en collaboration avec le monteur/régleur. Une fois le problème résolu, le processus d'injection peut se poursuivre. À la fin de la production, les pièces injectées conformes sont placées dans des caisses et transférées aux magasins, tandis que les rebuts et les produits non conformes doivent être broyés.

Chapitre 4 : Cas pratique

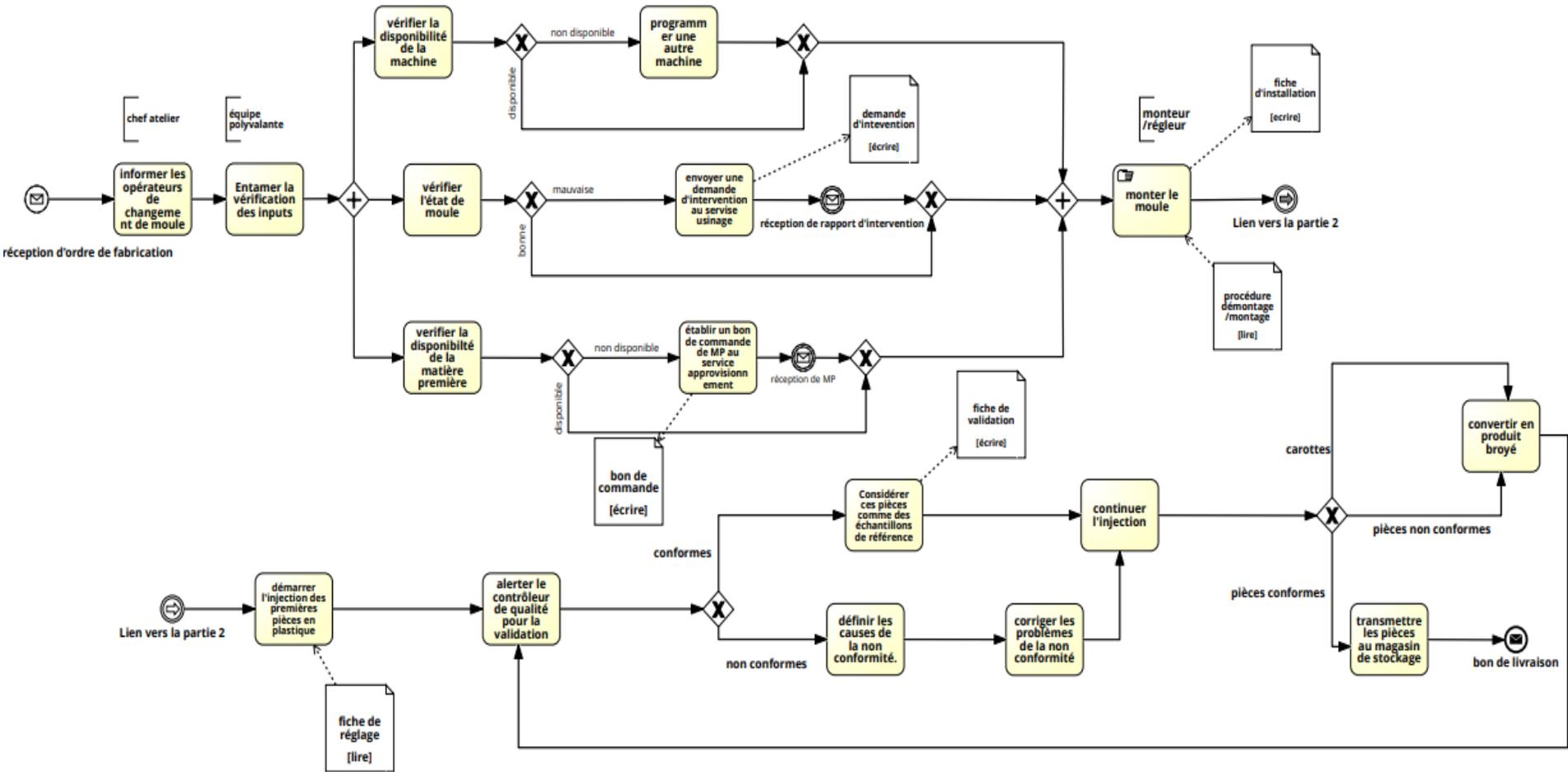


Figure 4. 3 : Processus de production de l'atelier injection

Chapitre 4 : Cas pratique

4.5 Diagnostic du système industriel (atelier d'injection) selon Lean Manufacturing

4.5.1 Surproduction

Phase Définir

1. Définition de gaspillage

Dans l'atelier de moulage par injection, un problème de surproduction a été observé au cours des derniers mois. Malgré des objectifs de production clairs et des prévisions de demande établies, l'atelier continue de produire des quantités excédentaires de pièces moulées. Cette surproduction a entraîné plusieurs conséquences négatives, notamment un surplus de stock de produits finis, une utilisation excessive de matières premières, des coûts de production supplémentaires et une surcharge des capacités de stockage.

2. La méthode QQQCCP

Le tableau ci-dessous représente la méthode QQQCCP, qui sert à analyser une situation ou un problème par un questionnement.

Tableau 4.1 : Déploiement de la méthode QQQCCP pour la surproduction.

Quoi	Une surproduction dans la plupart des produits.
Qui	Chef d'atelier et responsable d'atelier, opérateurs.
Où	Atelier d'injection 2.
Quand	Depuis le mois de mars.
Comment	La surproduction a entraîné des difficultés de stockage au niveau du magasin, rendant la gestion des stocks problématique. Cette surabondance de production a conduit à la présence de stocks morts, résultant directement de la surproduction.
Combien	L'écart total pour le mois de Mars entre l'objectif programmé et la quantité réalisée est de 21,61 % en pourcentage.
Pourquoi	La surproduction entraîne des gaspillages liés aux stocks, aux temps d'attente ainsi qu'aux coûts de production et de stockage.

Afin de corroborer l'existence d'une surproduction dans l'atelier d'injection, une réunion a été organisée avec le responsable de la production. Cette réunion visait à parvenir à une conclusion en suggérant une comparaison entre deux variables essentielles : la quantité prévue initialement, telle que définie par le service d'ordonnancement et de lancement en réponse aux

Chapitre 4 : Cas pratique

demandes émanant du département commercial, et la quantité réellement produite dans l'atelier. L'objectif était d'analyser l'écart entre ces deux paramètres, qui constituait dans notre contexte le critère déterminant pour évaluer l'existence d'une surproduction.

Phase Mesure

Pendant cette étape, nous avons recueilli les informations essentielles liées à la production sur une période allant de fin février à fin mars. Nous avons entamé le processus en identifiant les données nécessaires pour détecter toute éventuelle surproduction. Cela a impliqué la capture des objectifs de production établis pour le mois, ainsi que des quantités réellement produites. Pour ce faire, nous avons extrait des données de diverses sources, notamment des systèmes informatiques de suivi de la production quotidienne situés dans le bureau du gestionnaire de l'atelier 02, ainsi que des programmes de fabrication transmis par le service d'ordonnancement et de lancement. Les données collectées sont indiquées en *Annexe A*.

1. Traitement des données

Au cours de cette phase, les données collectées ont été organisées dans une feuille de calcul Excel, dans laquelle chaque produit injecté est présenté avec ses attributs spécifiques, tels que le numéro de moule utilisé pour sa fabrication, la date de début correspondant au moment où la production a débuté dans l'atelier, la date de fin indiquant la fin de la production, l'objectif représentant la quantité à produire demandée, et la quantité réelle, reflétant la production effective, disposées dans des lignes. Suite à cette structuration, des calculs ont été effectués sur ces données. Dans un premier temps, les écarts entre les objectifs fixés et les quantités réellement produites ont été calculés afin de repérer les cas de surproduction. Ultérieurement, étant donné la volumineuse quantité d'articles contenue dans notre base de données, rendant impossible leur visualisation dans un seul graphique, nous avons procédé à un filtrage des cas présentant des écarts significatifs.

2. Visualisation des données

Dans un premier temps, nous avons exposé la quantité réalisée au sein de l'atelier 02 pour chaque moule, en comparaison avec la quantité programmée dans (PDP), dans le but de mettre en évidence les écarts entre ces deux mesures, comme illustré dans la figure suivante :

Chapitre 4 : Cas pratique

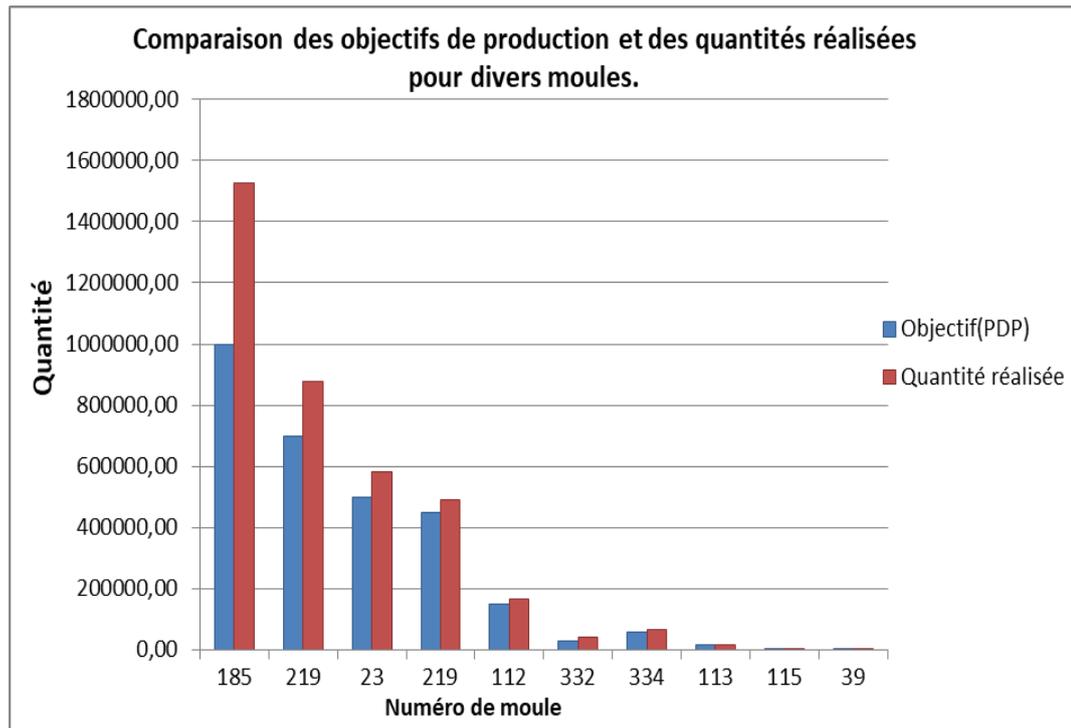


Figure 4. 4: Comparaison des objectifs de production et des quantités réalisées pour divers types de moules pour le mois de mars.

Il est observé que la quantité réalisée dépasse la quantité programmée, indiquant ainsi une situation de surproduction. Afin d'identifier ces cas de manière précise, nous avons utilisé un autre graphique pour représenter exclusivement les pourcentages des écarts entre les deux variables, la quantité réalisée et l'objectif PDP, comme il est indiqué dans la figure suivante :

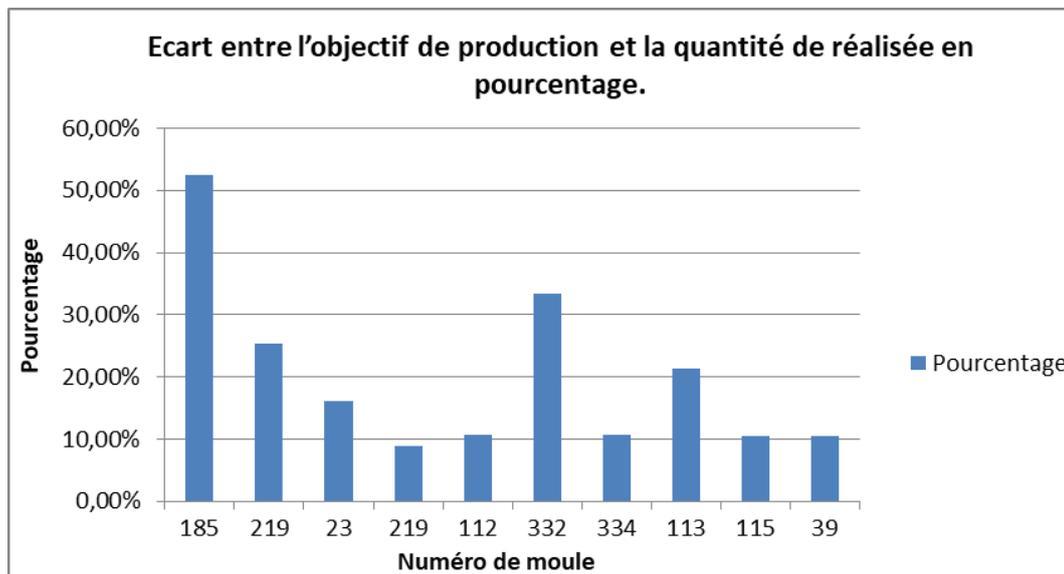


Figure 4. 5 : L'écart entre l'objectif de production et la quantité réalisée en pourcentage pour le mois de mars

Chapitre 4 : Cas pratique

Après examen du graphique, nous avons constaté que certains types de moules, tels que les moules 332 et 219, affichent des écarts dépassant largement les 20 %, atteignant même jusqu'à 50 % dans le cas du moule 185. Cette observation suggère une déviation significative par rapport aux objectifs fixés, une utilisation inefficace des ressources et potentiellement un surplus de stocks, car elle dépasse l'intervalle de tolérance établi par les normes de production, qui est de 5 %. Il est particulièrement essentiel de noter que ces cas se réfèrent exclusivement à des situations de surproduction, car le service d'ordonnancement et de lancement ajoute des quantités supplémentaires, équivalant à un pourcentage de 10%, aux quantités initialement prévues dans l'objectif à atteindre. Cette pratique vise à constituer une réserve pour faire face à d'éventuels imprévus non planifiés.

Phase Analyse

1. Identification des causes

L'objectif de cette étape consiste à identifier les causes contributives à la surproduction, afin d'initier des mesures correctives visant à réduire son taux. À cette fin, des entretiens ont été organisés avec les parties prenantes pertinentes, notamment le gestionnaire, le chef des ateliers et le responsable des ateliers d'injection. À la fin de ce travail, on a structuré les causes avec l'utilisation de diagrammes d'Ishikawa.

Diagramme Ishikawa :

La question qui se pose : Pourquoi y a-t-il eu une surproduction dans l'atelier d'injection 02 ?

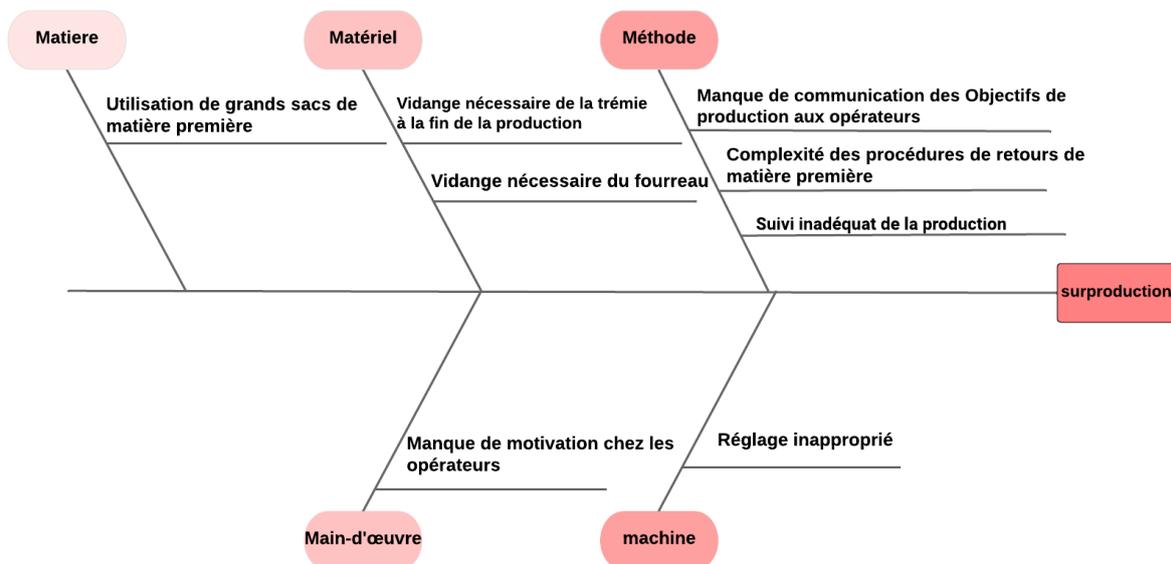


Figure 4. 6 : Diagramme d'Ishikawa pour les causes de surproduction.

Chapitre 4 : Cas pratique

2. Analyse des causes d'Ishikawa

Méthode

Manque de communication des Objectifs de production aux opérateurs

Dès le début du processus de production, l'opérateur n'est pas suffisamment informé des objectifs spécifiques à atteindre. Par conséquent, il ne stoppe pas la machine une fois l'objectif atteint, attendant que le chef d'équipe lui en donne l'instruction. Cependant, il peut arriver que le chef d'équipe soit occupé par d'autres tâches, ce qui retarde l'arrêt de la machine.

Complexité des procédures de retour de la matière première

En cas de surplus de matière première dans les sacs, une procédure de retour est nécessaire, impliquant l'utilisation d'une machine à coudre et l'identification des sacs avec une étiquette fournie par le bureau des méthodes.

Suivi inadéquat de la production

Le manque de suivi régulier et précis de la production conduit à des décisions prises sur la base d'informations incomplètes, entravant ainsi une gestion efficace et augmentant le risque de surproduction. De plus, l'accumulation de nombreuses fiches sur le tableau complique la vérification et la mise à jour régulière des données, ce qui peut entraîner des erreurs ou des omissions dans le suivi de la production.

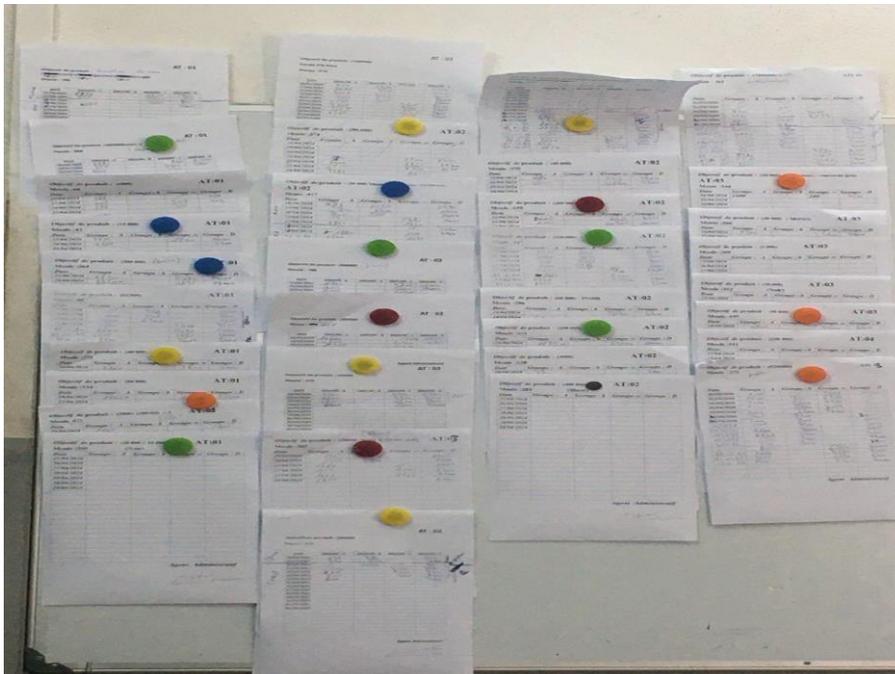


Figure 4. 7 : Les fiches de suivi journalières dans l'atelier 2.

Chapitre 4 : Cas pratique

Matériau

Vidange nécessaire de la trémie à la fin de production

Lorsqu'il y a un changement de matière, il est nécessaire de transférer la matière première restante de l'ancienne série dans une autre trémie qui utilise la même matière pour produire. Cependant, en raison du programme de production, il arrive souvent qu'aucune trémie ne soit disponible pour recevoir la quantité restante. Par conséquent, les opérateurs choisissent de transformer toute la matière restante en produits finis, ce qui entraîne une surproduction.

Vidange nécessaire du fourreau

À la fin de la production, il reste souvent une certaine quantité de matière première non utilisée dans le fourreau. Par conséquent, les opérateurs doivent s'assurer de la vider en produisant la quantité restante. Cela est nécessaire pour éviter tout mélange avec la matière première utilisée pour la nouvelle série de production.

Machine

Réglage inapproprié

Dans certains cas, lorsque les opérateurs ajustent les réglages pour réduire le cycle de production afin de compenser les pièces non conformes, les machines produisent davantage de pièces par unité de temps, ce qui conduit à une surproduction.

Main d'œuvre

Manque de motivation chez les opérateurs

L'opérateur se limite à l'accomplissement de tâches répétitives telles que le placement des pièces dans les caisses, sans comprendre pleinement la contribution de son travail à l'ensemble du processus de production. Cela peut limiter sa motivation à atteindre des niveaux de production optimaux.

Matière

Utilisation des grands sacs de matière première

Les opérateurs peuvent se sentir obligés de vider complètement les grands sacs pour éviter les complications liées au retour des matières premières. Cela peut conduire à une utilisation excessive de matière première, entraînant la production de plus de pièces que nécessaire.

Phase Innover et contrôle

Pour proposer une solution optimale, nous avons mené des entretiens avec les parties prenantes, notamment le chef d'atelier, le responsable de la production des ateliers d'injection, le gestionnaire et le chef d'équipe. L'objectif était d'identifier les causes les plus fréquentes

Chapitre 4 : Cas pratique

parmi celles mentionnées dans le diagramme d'Ishikawa afin de concentrer notre attention sur celles-ci. Pour ce faire, nous avons établi une matrice d'aide à la décision basée sur l'impact sur la production, la fréquence de survenue et la faisabilité de résolution.

Tableau 4. 2 : Matrice de décision

cause	impact sur la production(1/5)	fréquence de survenue(1/5)	Faisabilité de la résolution(1/5)	Total (1/15)
Manque de communication des Objectifs de production aux opérateurs	4	4	4	12
Complexité des procédures de retour de la matière première	3	3	1	7
Suivi inadéquat de la production	4	4	4	12
Vidange nécessaire de la trémie à la fin de production	4	3	1	8
Vidange nécessaire du fourreau	4	2	1	7
Réglage inapproprié	2	2	2	6
Manque de motivation chez les opérateurs	2	3	3	8
Utilisation des grands sacs de matière première	4	3	2	9

Nous avons constaté que le manque de communication des objectifs avec les opérateurs et le suivi inadéquat de la production obtiennent les scores les plus élevés. Par conséquent, nous devons concentrer nos efforts de résolution sur ces aspects. Pour ce faire, nous avons suivi cette démarche :

Chapitre 4 : Cas pratique

Sensibilisation des opérateurs

Le chef d'atelier doit organiser des sessions régulières pour sensibiliser les opérateurs à l'impact de leur travail sur le processus de production. Il doit également leur expliquer comment les surplus de production peuvent entraîner des surstocks et des coûts supplémentaires pour l'entreprise.

Mise en place d'un nouveau système de suivi

Afin de réaliser cette étape, nous avons recommandé l'utilisation d'une seule feuille effaçable pour présenter en *Annexe B* :

- Économie de papier : réduction significative de l'utilisation de papier grâce à l'utilisation répétée de la feuille effaçable.
 - Visibilité et accessibilité : les informations sont clairement visibles pour tous les shifts, facilitant la communication et la supervision.
 - Simplicité et faible coût : solution simple et économique sans besoin d'investissement en technologie informatique.
 - Organisation efficace : une seule feuille pour les trois shifts, ce qui simplifie la gestion et réduit le risque de perte d'informations.
-
- Conception de fiche de suivi commune entre les trois shifts. Nous avons fait tout notre possible pour simplifier la conception afin de la rendre facile à utiliser pour l'opérateur.
 - Fixation de la fiche à chaque poste de travail de manière sécurisée. Pour éviter l'accumulation de nombreuses fiches sur le tableau.
 - Le gestionnaire doit décrire l'objectif à réaliser selon le PDP
 - Formation et instructions :
 - Expliquer à chaque opérateur comment remplir leurs sections respectives.
 - Le chef d'équipe doit s'assurer que chaque opérateur remplit correctement sa section.
 - À la fin de chaque shift, le gestionnaire doit :
 - Se déplacer à chaque machine dans l'atelier pour collecter les données et les saisir directement dans Google Sheet (car il utilise Excel) sur une tablette déjà présente dans son bureau mais peu utilisée, ce qui facilite l'opération de saisie et évite de devoir retourner à son poste pour les saisir ultérieurement.
 - Soustraire la quantité produite durant le shift de l'objectif global et réécrire la quantité restante dans la case correspondante.
 - Nettoyer la colonne de quantité pour le prochain shift.
 - Conserver les informations critiques pour que l'opérateur du prochain shift soit informé de ce qui s'est passé dans le shift précédent.
 - Prendre en considération uniquement la quantité conforme dans ses calculs.

Chapitre 4 : Cas pratique

- Le gestionnaire du prochain shift doit :
 - Mettre à jour les horaires des shifts.
 - Actualiser les informations nécessaires concernant le shift, comme le nom de l'opérateur et le groupe.

Standardisation des méthodes de travail

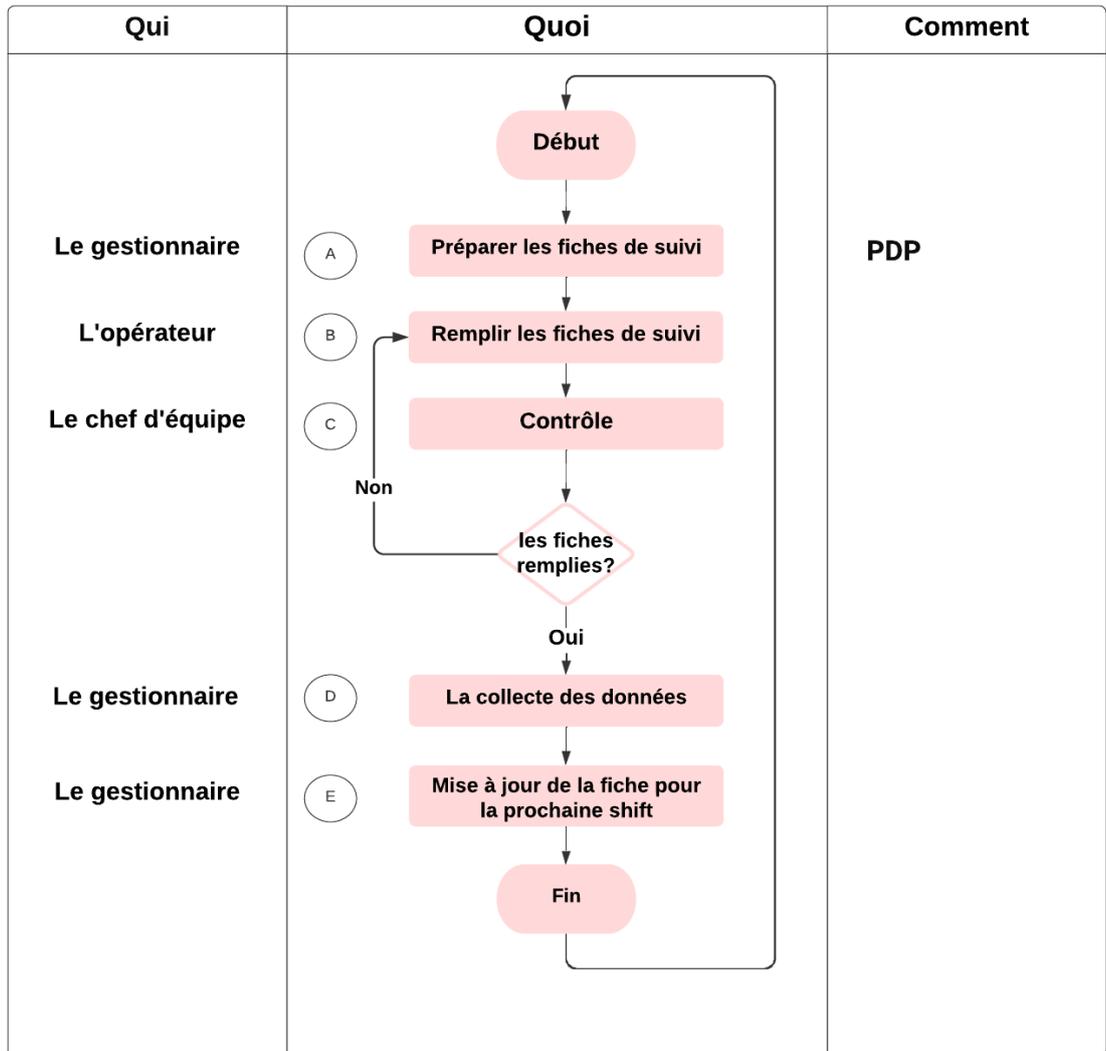


Figure 4. 8: La procédure de suivi au sein de l'atelier 2.

Chapitre 4 : Cas pratique

Explication

Tableau 4. 3: Table explicative des étapes de procédure de suivi.

étape	explication
A	Au début de chaque shift de travail, le gestionnaire doit préparer la fiche de suivi pour le poste concerné conformément au PDP. Cette fiche doit inclure l'objectif, l'opérateur assigné, le groupe, le moule, et la date.
B	L'opérateur doit remplir la quantité produite en utilisant un marqueur effaçable à sec, selon la quantité horaire affichée sur l'écran de la machine. Il doit également indiquer le nombre de pièces non conformes (calculé par lui-même) et mentionner les anomalies, en s'exprimant en arabe si nécessaire.
C	Le chef d'équipe s'assure que l'opérateur remplit la fiche en vérifiant régulièrement chaque poste de travail.
D	À la fin de shift, le gestionnaire doit calculer la quantité produite pendant ce shift, la soustraire de l'objectif pour mettre à jour la quantité restante, et enregistrer les informations citées dans sa base de données.
E	Le gestionnaire doit nettoyer la fiche afin que l'opérateur du prochain shift puisse la remplir facilement.

4.5.2 Temps d'attente

Phase définir

1. Définition de gaspillage

Les gaspillages liés au temps d'attente font référence au temps perdu lorsque l'opération est en attente d'une ressource ou de condition nécessaire pour avancer, dans le cas l'atelier d'injection par moulage 2 il existe les temps d'attente généralement générés à cause de changement de moule.

2. La méthode QQQCCP

Tableau 4. 4: Le déploiement de la méthode QQQCCP pour le temps d'attente.

Quoi	Délais d'attente excessifs entre les étapes de production.
Qui	Chef d'atelier et responsable atelier, opérateurs, monteur régleur
Où	Atelier injection 2
Quand	Pendant le changement de moule, des pannes de la machine

Chapitre 4 : Cas pratique

Comment	Les temps d'attente, comme le changement de moule, panne des machines, et panne des moules, ont causé des retards de production.
Combien	Plus de 100 heures pour le temps de changement de moule pour un mois.
Pourquoi	Les opérations de changement de moule prennent beaucoup de temps, et la complexité des réglages de la machine pour obtenir une pièce conforme prend également beaucoup de temps, ce qui laisse l'opérateur sans travail et en attente.

Phase mesure

1. La collecte de données

Pour évaluer de manière exhaustive le gaspillage de temps d'attente dans le processus de production de notre atelier, nous avons entamé une démarche rigoureuse de collecte de données. Nous avons débuté en scrutant attentivement les rapports de suivi de production journaliers fournis par les gestionnaires de production. Ces documents ont révélé une réalité troublante : chaque machine de l'atelier était sujette à des périodes d'arrêt pour diverses raisons telles que les changements de moules, les problèmes techniques liés aux moules ou aux machines elles-mêmes, entre autres. Ces interruptions mettaient invariablement le processus de production en veille, impactant ainsi la productivité globale de l'atelier. Pour mieux comprendre et quantifier ces temps d'arrêt, nous avons entrepris d'identifier pour chaque machine les durées d'interruption ainsi que leurs principales causes. Cette analyse méticuleuse nous a permis de dresser un tableau détaillé répertoriant les temps d'arrêt associés à chaque machine et les motifs sous-jacents. En synthétisant ces données, nous avons obtenu un aperçu précis du gaspillage de temps d'attente au sein de notre processus de production comme indiqué dans l'*Annexe C*, jetant ainsi les bases d'une stratégie d'amélioration ciblée et efficace.

Phase Analyse

Nous nous interrogeons sur la raison pour laquelle il existe des attentes dans l'atelier de moulage par injection 02 ?

Les principales causes contribuant aux problèmes d'attente sont :

Chapitre 4 : Cas pratique

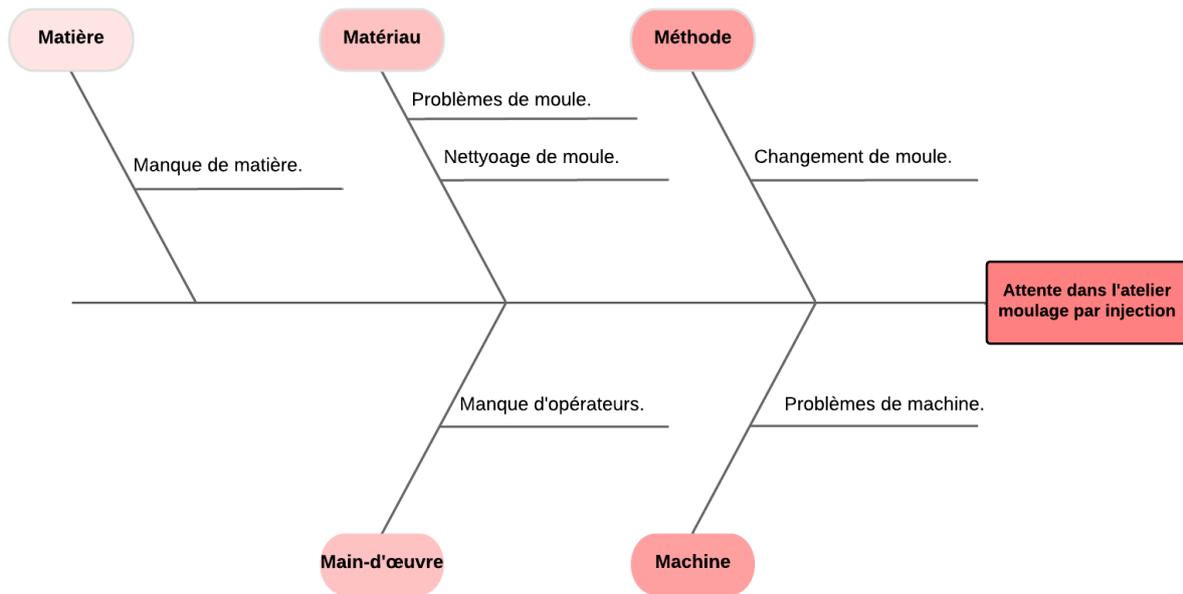


Figure 4. 9: Diagramme d'Ishikawa pour les causes de temps d'attente dans l'atelier 2.

1. Analyse des causes du diagramme d'Ishikawa avec la méthode Pareto

En se servant de cette méthode, on est en mesure de repérer et de classer par ordre d'importance les causes de problèmes les plus significatifs dans un ensemble de données. Dans notre cas, nous ciblons spécifiquement les opérations responsables des temps d'attente les plus fréquents, afin d'identifier les problèmes ayant un impact négatif considérable, à hauteur de 80%.

Étape 1 : Elle implique la collecte et la classification des données, pour l'objectif de détecter les 20 % des causes responsables de 80 % du temps consacré.

Tableau 4. 5: Tableau de classification des causes de temps d'attente.

	La duree	La duree (%)	Cumulé(%)
Changement de moule	101	57,96%	57,96%
Problème de moule	34	19,51%	77,41%
Probleme de machine	28,4	16,50%	93,97%
Manque d'opérateur	6,5	3,73%	97,70%
Nettoyage de moule	4	2,30%	100,00%
Totale	174,25		

Chapitre 4 : Cas pratique

Étape 02 : La représentation graphique du tableau

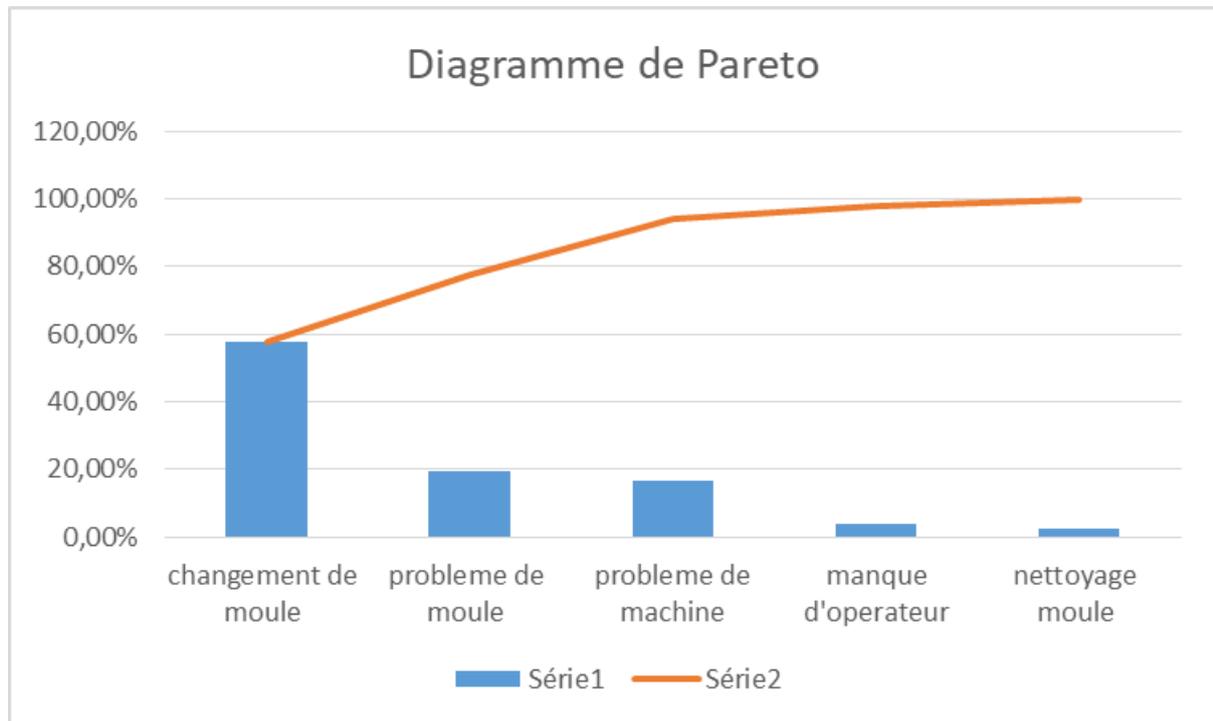


Figure 4. 10: Diagramme de Pareto pour les causes de temps d'attente.

2. Interprétation du diagramme Pareto

Le diagramme précédent représente les différentes causes en fonction du temps, ainsi que la fréquence cumulée utilisée pour identifier les 20% des causes principales responsables de 80% des attentes dans l'atelier. On constate que les causes "changement de moule" représentent 57.96% du temps d'attente. Cela suggère que concentrer les efforts d'amélioration sur cette principale cause pourrait entraîner une réduction significative du temps d'attente global. Les autres causes contribuent de manière relativement mineure au temps d'attente global et peuvent être traitées ultérieurement si nécessaire.

3. Identification des causes prolongeant la durée des changements de moule

Nous avons employé le diagramme d'Ishikawa pour déterminer les raisons entraînant un temps considérable lors des changements de moule par rapport à d'autres causes. La question qui guide l'élaboration de ce diagramme est : pourquoi le changement de moule prend-il autant de temps ?

Les principales causes affectant ce problème :

Chapitre 4 : Cas pratique

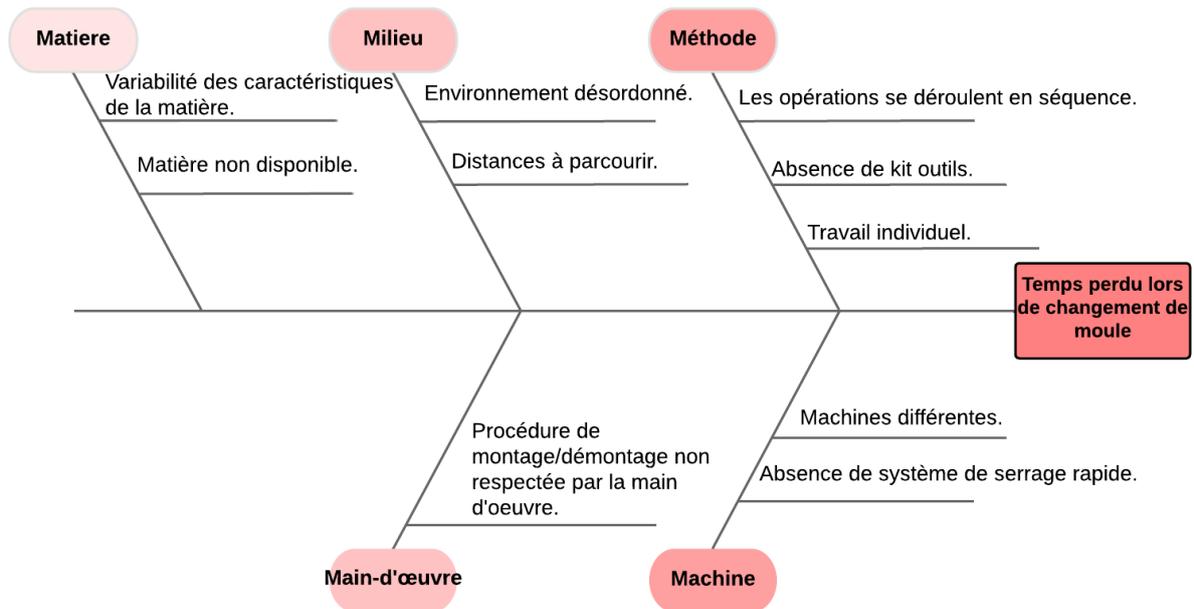


Figure 4. 11: Diagramme d'Ishikawa pour les causes du temps perdu lors de changement de moule.

4. Analyse des causes

Matière

Variabilité des caractéristiques de la matière première

Lors du changement de moule, accompagné d'un changement de matière pour que la matière première soit prête à l'injection, chaque type de matière requiert un temps de séchage qui varie en fonction de ses propriétés thermoplastiques spécifiques. Le temps de séchage ajoute une étape supplémentaire au processus de changement de moule, ce qui peut rallonger la durée totale du changement de moule.

Matière non disponible

Lorsque la matière première pour un nouveau produit diffère, il est nécessaire d'utiliser du polycarbonate ou du polypropylène broyé à l'intérieur du fourreau, puis de le purger à nouveau pour nettoyer la vis-fourreau. Cependant, il a été observé à plusieurs reprises que le monteur/régleur ne trouve pas la matière dans l'atelier 02, car tous les sacs utilisés au cours de la fabrication sont épuisés. Par conséquent, il doit se déplacer vers un autre atelier pour en récupérer.

Milieu

Environnement désordonné

Dans un environnement de travail mal rangé où les outils sont dispersés de manière aléatoire dans l'atelier, il est difficile pour le monteur/régleur de localiser les outils nécessaires au changement de moule. Cette situation est aggravée par le fait que les principes du 5S ne sont pas appliqués dans l'atelier.

Chapitre 4 : Cas pratique

Distances à parcourir

Pour récupérer les outils nécessaires au changement de moule, le monteur/régleur doit souvent se déplacer plusieurs fois entre son poste de travail et son armoire, parfois même vers un autre atelier dans le cas où il ne trouve pas l'outil nécessaire à cette tâche.

Main d'œuvre

Les procédures de montage/démontage ne sont pas respectées

Il est stipulé que le monteur/régleur doit préparer et vérifier à l'avance les outils de montage. Cependant, dans notre cas, le monteur/régleur ne prépare pas les outils, interrompant ainsi à plusieurs reprises l'opération pour les chercher.

Machine

Pas de système de serrage rapide

Pour serrer les boulons, le monteur/régleur utilise des clés à fourche qui nécessitent beaucoup d'effort et prennent du temps. En conséquence, le monteur se plaint de douleurs au dos.

Machines différentes

Chaque machine se distingue par ses caractéristiques techniques, telles que la force de fermeture maximale, les dimensions du moule/la distance entre les colonnes de la presse à injecter, la fonction de tirage du noyau, le dispositif de soufflage d'air et le type de vis-fourreau. Toutes ces spécifications ont un impact sur le temps nécessaire pour régler les paramètres afin d'obtenir la première pièce conforme, ce qui prolonge la durée de l'opération de réglage.

Méthode

Les opérations se déroulent en séquence

Le processus de changement de moule est une série d'activités successives qui ont un impact notable sur sa durée. Les détails de ces activités sont discutés dans les pages suivantes.

Travail individuel

La plupart des changements de moule dans l'atelier sont effectués par un seul monteur/régleur, qui se charge uniquement des tâches nécessaires. Il n'y a pas de répartition des tâches entre les membres de l'équipe pour terminer le processus le plus rapidement possible.

Absence de kit outils

Dans notre situation, les outils requis pour le changement de moule ne sont pas organisés dans une boîte dédiée. Au lieu de cela, le monteur/régleur doit rechercher chaque outil séparément et les ramener à son poste, ce qui entraîne des retards dans le processus de travail. Comme indiqué dans la figure suivante :

Chapitre 4 : Cas pratique



Figure 4. 12: Les outils utilisés pour le changement de moule.

Phase Innover et contrôler

Démarche SMED (single minute exchange of die)

1. Phase 0 : objectif

Nous avons débuté l'implémentation de la méthode SMED (Single Minute Exchange of Die) dans le but de diminuer les temps d'attente associés au changement de moule, qui actuellement s'étend de 1 à 2 heures. Notre objectif principal est de réduire significativement cette durée de changement de moule, ce qui contribuera à accroître l'efficacité de notre processus de production en minimisant les temps morts. En mettant en œuvre des techniques de SMED, nous visons à identifier et à éliminer les gaspillages de temps et les étapes non essentielles du processus de changement de moule, afin d'optimiser notre flux de production et d'améliorer notre réactivité aux demandes du marché.

2. Phase 1 : observation, identification et mesure

Durant cette étape, notre objectif consiste à identifier avec précision les opérations effectuées lors du changement de moule en se référant à une vidéo enregistrée pendant ce processus. Ces observations reflètent fidèlement les actions réalisées dans des conditions réelles, sans aucune altération. Il est important de souligner que nous avons exclu toutes les opérations n'ayant pas de lien direct avec le changement de moule, telles que les conversations avec les collègues ou au téléphone. Les différentes opérations sont répertoriées dans une table, accompagnées de leur durée respective, les opérations sont représentées en *annexe D*.

Une fois les opérations élémentaires identifiées, les regrouper en plusieurs catégories d'opérations (ou familles d'opérations) en lien avec le mode opératoire est une démarche simple. Voici leur présentation :

- **Arrêt de la machine** : le monteur/régleur arrête la production et débarrasse les caisses de la série précédente.
- **Démontage du moule** : tout d'abord, l'opérateur retire les tuyaux de circulation hydraulique, puis il enlève le moule en dévissant les boulons, et fait usage des systèmes de manutention.

Chapitre 4 : Cas pratique

- **Montage du moule** : après le démontage, le monteur-régleur entame le processus de levage du moule et de son positionnement dans la machine. Cette étape revêt une importance capitale, car toute mauvaise position pourrait entraîner des défauts sur le moule.
- **Nettoyage de moule** : cette opération est réalisée par les techniciens de maintenance du département d'usinage en utilisant des lubrifiants spéciaux.
- **Démarrage** : une fois le nettoyage terminé, ce processus chronophage, le monteur/régleur commence à ajuster la température du fourreau ainsi que les paramètres de la machine pour démarrer la première injection.
- **Réglage et contrôle qualité** : cette étape est la plus longue pour obtenir la première pièce conforme. Le monteur/régleur ajuste minutieusement les paramètres de la machine en fonction du moule, notamment le temps de cycle, la température et la pression. Une fois les pièces obtenues jugées conformes, il doit alerter le contrôle qualité pour les valider. Le contrôleur analyse visuellement les pièces pour détecter d'éventuels défauts, puis réalise un test de montage pour vérifier leur compatibilité avec les autres pièces formant le produit final. Une fois ces étapes terminées, le contrôleur donne sa validation.

Tableau 4. 6: Les durées des opérations de changement de moule phase 1.

Les opérations par catégories	La durée
Arrêt de la machine	00:01:42
Démontage du moule	00:07:14
Montage du moule	00:21:29
Nettoyage du moule	00:20:05
Démarrage	00:15:04
Réglage et contrôle qualité	01:06:13
Total	2:11:47

Remarque

- Il est important de noter que toutes ces opérations ont été réalisées par un seul opérateur.
- Toutes les opérations sont effectuées de manière séquentielle.
- L'opérateur effectue plusieurs déplacements pour récupérer les outils tout au long du processus de changement de moule.
- La vidéo a été enregistrée de 9h30 à 12h00.
- Le temps total consacré au changement de moule est de 2 heures et 11 minutes.
- On observe que le temps alloué au montage est trois fois supérieur à celui du démontage, en raison de l'opération de placage du moule avec la machine, une étape cruciale dans

Chapitre 4 : Cas pratique

le processus de montage. Cette opération, entièrement automatisée, est contrôlée par la machine, ce qui influe sur sa durée.

3. Phase 2 : séparation des opérations internes et externes

Après avoir identifié les opérations de changement de moule dans la phase précédente, il est nécessaire de les classer en tâches internes (qui nécessitent l'arrêt de la machine) et en tâches externes (qui peuvent être effectuées pendant que la machine est en marche). Dans notre situation, il a été observé que le monteur/régleur interrompt l'opération de changement de moule et se déplace pour rechercher les outils appropriés et le moule. Dans ce contexte, les tâches externes sont les tâches de préparation indiquées comme suit :

- Tâches à effectuer avant le changement de moule (lors de la fabrication de l'ancienne série) :
 - ❖ Retirer les caisses contenant les pièces de la production précédente.
 - ❖ Placer le moule à changer à proximité de la machine concernée par le changement.
 - ❖ Préparer les outils nécessaires pour le changement de moule : les clés et le chalumeau.
- Tâches internes :

Tableau 4. 7: Les durées des opérations par catégories de changement de moule phase 2.

Les opérations par catégories	Durée
Arrêt de production	00:00:54
Démontage de moule	00:07:14
Montage de moule	00:18:22
Nettoyage du moule	00:20:05
Démarrage	00:07:10
Contrôle et réglage	01:03:41
Total	01:57:26

Résultat de la phase 2

Au cours de cette étape, en externalisant les déplacements, nous avons réussi à réduire le temps total de changement de moule de 10,36%. Ainsi, la nouvelle durée de changement de moule est de 1 heure, 57 minutes et 26 secondes.

Chapitre 4 : Cas pratique

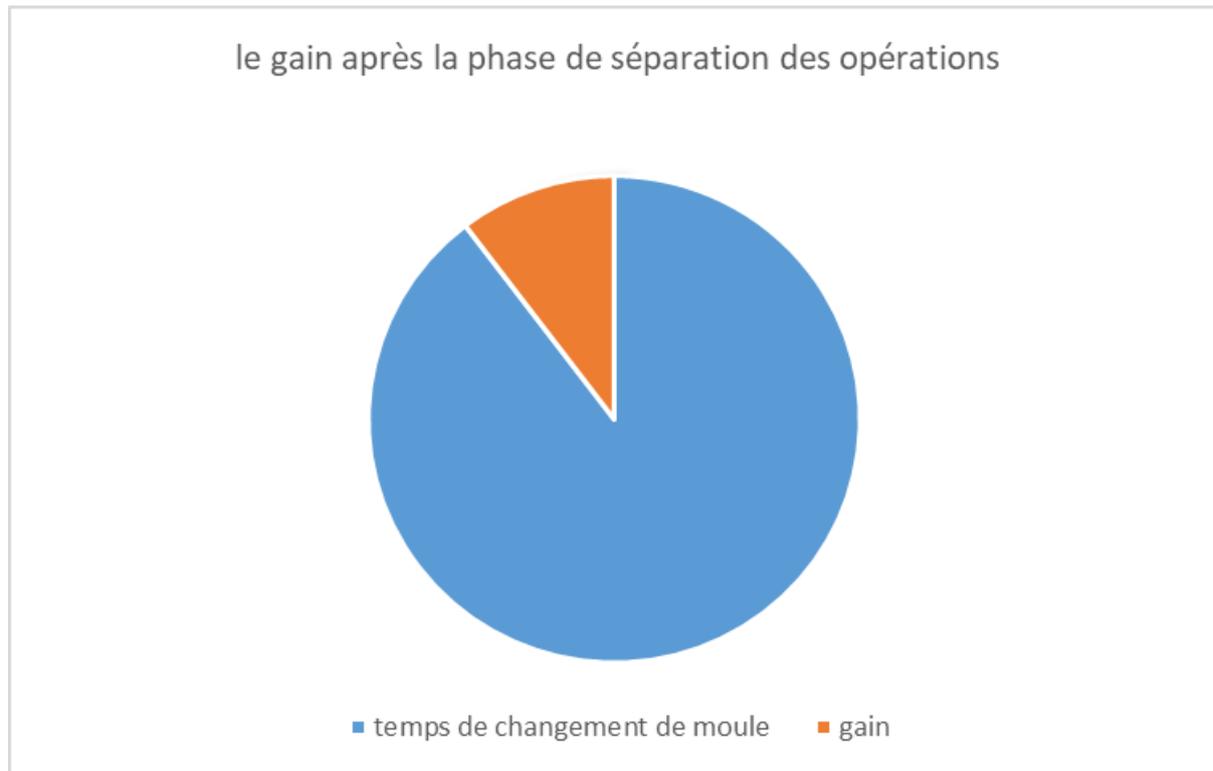


Figure 4. 13: Le gain après la phase de séparation des opérations (phase 2).

La figure ci-dessous illustre le diagramme de Gantt des opérations par catégorie. Il est important de noter que les durées indiquées sont approximatives par rapport aux durées initiales.

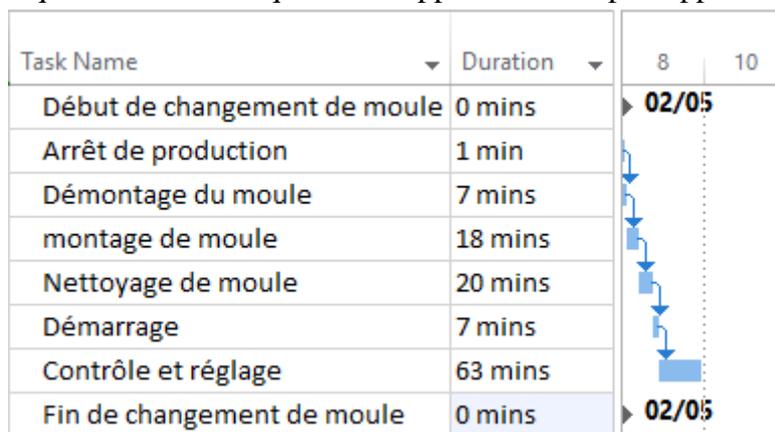


Figure 4. 14 : Diagramme de Gantt des opérations par catégories phase 2

4. Phase 3 : transformation des opérations internes en externes

L'objectif de cette phase est de transformer autant que possible les opérations internes en opérations externes pour minimiser le temps d'arrêt.

Dans le processus de changement de moule, le nettoyage revêt une importance cruciale. En particulier, lorsque le matériau utilisé est du polycarbonate, connu pour sa sensibilité à la contamination, même à de petites quantités de résidus de matériau ou d'autres impuretés. Dans ce contexte, externaliser cette opération s'avère une solution efficace. En envoyant le moule à

Chapitre 4 : Cas pratique

l'usinage un jour avant son montage, l'usinage dispose du temps nécessaire pour effectuer le nettoyage requis.

Tableau 4. 8: Les durées des opérations par catégories de changement de moule phase 3.

Les opérations par catégories	Durée
Arrêt de production	00:00:54
Démontage de moule	00:07:14
Montage de moule	00:18:22
Démarrage	00:07:10
Contrôle et réglage	01:03:41
Total	01:37:21

Le résultat de l'étape

En transformant l'opération de nettoyage en une opération externe, le temps de changement de moule sera réduit à 1 heure, 37 minutes et 21 secondes, ce qui représente un gain de 25,69%.

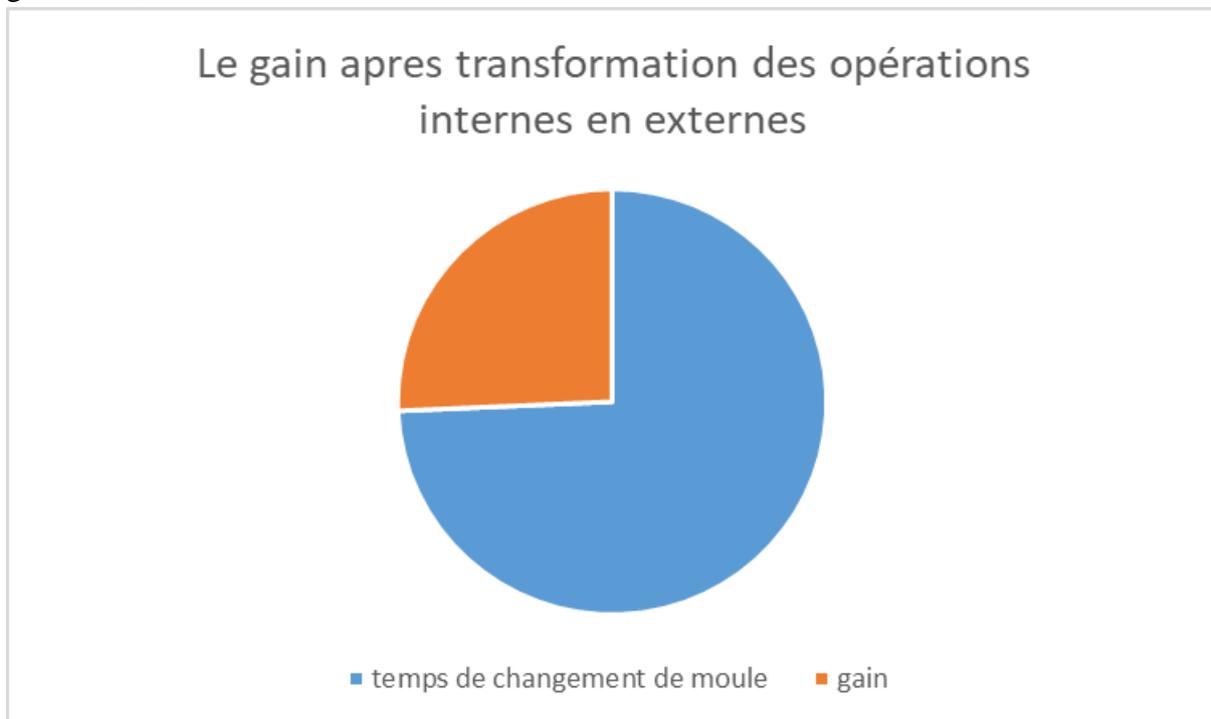


Figure 4. 15: Le gain après la transformation des opérations internes en externes.

La figure ci-dessous représente un diagramme de Gantt des catégories, chaque catégorie contenant une ou plusieurs opérations.

Chapitre 4 : Cas pratique



Figure 4. 16: Diagramme de Gantt des opérations par catégories phase 3.

5. Phase 4 : Rationalisation des tâches internes

Cette étape consiste à rationaliser les tâches internes, dans le but de réduire au maximum le temps nécessaire pour effectuer ces opérations qui ne peuvent pas être externalisées :

- Analyser les tâches internes en examinant en détail les tâches.
- Identifier les gaspillages et rechercher les activités à non-valeur ajoutée.
- Simplification des tâches en trouvant un autre moyen de les rationaliser, cela peut impliquer des outils ou équipements.
- Éliminer les tâches non essentielles : les tâches qui non pas strictement nécessaires au processus de changement de moule.
- Standardisation de la procédure.

Pour améliorer les tâches externes

Check List

Avant l'arrêt de la production, le monteur-régleur doit effectuer une vérification des outils nécessaires et des consommables requis pour le changement de moule. Il doit disposer d'une check-list exhaustive de tous ces éléments, ce qui lui permettra de repérer rapidement les outils utiles lors de cette opération. Un exemple de check List est indiqué en *Annexe E*.

Chariot pour matériel

Après avoir vérifié les outils à utiliser, il est essentiel de les préparer. À cet effet, il a été suggéré d'utiliser un chariot disponible dans l'atelier et actuellement inutilisé. Dans cette optique, le monteur-régleur peut rassembler tous les outils nécessaires pour l'opération de montage sur ce chariot et le déplacer facilement jusqu'à la machine concernée.

Chapitre 4 : Cas pratique



Figure 4. 17: Chariot.

Pour améliorer les tâches internes

Serrage avec clé à cliquet

Pour serrer les boulons, le monteur/régleur utilise généralement des clés à fourches, mais celles-ci peuvent prolonger la durée de serrage et nécessiter un effort important. C'est pourquoi il a été recommandé d'utiliser des clés à cliquet, conformément à l'avis du monteur/régleur. Ces outils sont munis d'un mécanisme de cliquet qui permet de serrer les boulons même dans des endroits restreints ou difficiles d'accès. De plus, ils offrent une rotation continue dans une seule direction, ce qui simplifie le serrage et réduit sa durée.

Unification des buses

La buse, située à l'extrémité du canon d'injection, est un composant crucial par lequel le plastique fondu est injecté dans le moule. Dans l'atelier d'injection, il existe plusieurs types de buses, et leur remplacement peut prendre beaucoup de temps. Pour éviter cette opération, il est recommandé d'unifier le type de buse utilisé dans tout l'atelier, éliminant ainsi la nécessité de changer de buse. Cette unification peut être réalisée par usinage.



Figure 4. 18: La buse de moule.

Chapitre 4 : Cas pratique

Réduction du temps de réglage

La cause du long temps de réglage réside dans le fait qu'après une observation continue des opérations de réglage effectuées par les monteurs/régleurs, il est apparu que cette activité nécessite beaucoup de temps pour obtenir la première pièce conforme. Le monteur/régleur ajustait à plusieurs reprises divers paramètres, sans se concentrer sur un paramètre spécifique susceptible de causer les critères de non-conformité. Cela nous a amenés à constater que le monteur/régleur manque quelque peu d'expérience dans ce domaine de réglage particulier. Pour améliorer la situation, des sessions de partage d'expérience pourraient être organisées, où les monteurs/régleurs plus expérimentés pourraient transmettre leurs connaissances et les bonnes pratiques de réglage au monteur/régleur moins expérimenté.

Le changement de moule après l'amélioration

Tableau 4. 9: Les durées des opérations par catégories de changement de moule phase 3.

Les opérations par catégories	Durée
Arrêt de production	00:00:54
Démontage de moule	00:05:19
Montage de moule	00:15:37
Démarrage	00:05:47
Contrôle et réglage	01:03:41
Total	01:31:18

Le schéma ci-dessous illustre les bénéfices obtenus suite à la phase de rationalisation : la durée de changement de moule a été réduite à 1 heure, 31 minutes et 18 secondes, ce qui correspond à une diminution de 30,31 % par rapport au temps initial.

Chapitre 4 : Cas pratique

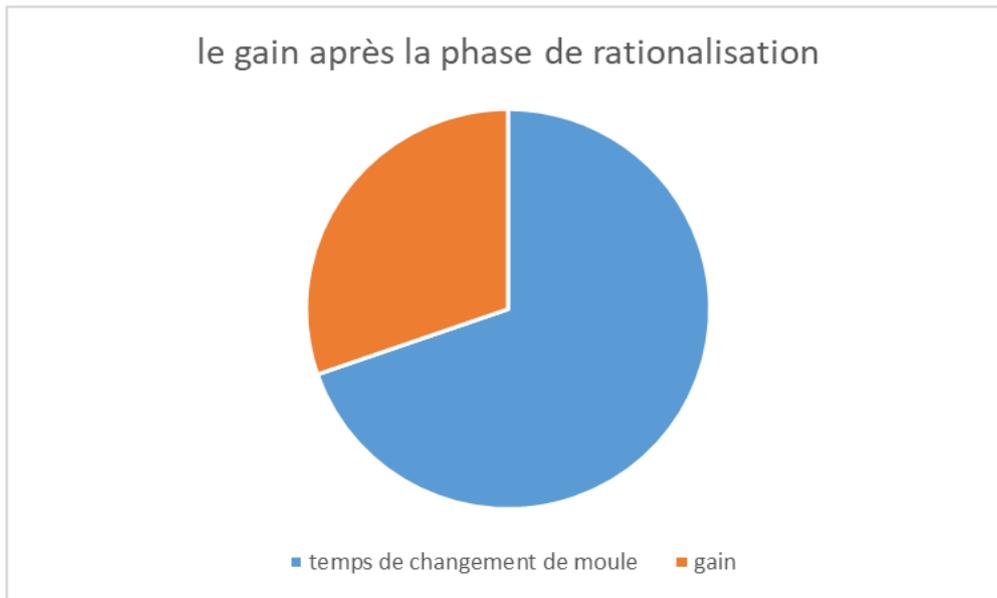


Figure 4. 19 : Le gain après la phase de rationalisation des tâches internes.

La figure ci-dessous illustre le diagramme de Gantt des opérations de changement de moule classées par catégories.

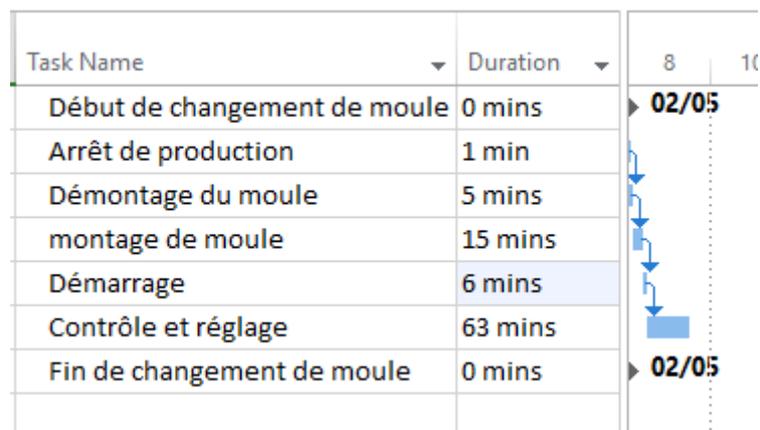


Figure 4. 20: Diagramme de Gantt des opérations par catégories phase 4.

La mise en parallèle des opérations de changement de moule

Dans cette section, nous essayons de paralléliser les opérations de changement de moule en intégrant un opérateur afin de réduire la charge du monteur/régleur. Il est important de considérer que l'opérateur n'a pas d'expérience en changement de moule. De plus, il faut tenir compte des risques potentiels qui peuvent survenir lors du changement de moule.

Chapitre 4 : Cas pratique

Tableau 4. 10 : Les opérations de changement de moule avec leur durée en secondes.

code	opérations	durée (sec)	prédécesseur
A	arrêt de la production.	54	-
B	démonter la circulation hydraulique.	80	A
C	placer les crochets.	68	A
D	placer les anneaux.	45	C
E	démonter les vis.	60	B, D
F	démonter le moule.	53	E
I	retirer les vis.	60	F
J	placer le moule.	209	F
K	positionnement de moule.	86	I, J
L	serrage de vis.	155	K
M	emplacement circulation hydraulique.	45	K
N	enlèvement de levage.	34	L, M
O	retirer les crochet.	55	N
P	plaquage de moule.	57	O
Q	Ajustement du moule.	236	P
R	allumer le régulateur.	347	Q
S	contrôle et réglage.	3821	R

La figure ci-dessous présente le diagramme de PERT des opérations de changement de moule. Chaque case représente une opération, avec les indications suivantes : le début de l'opération au plus tôt, le début de l'opération au plus tard, la fin de l'opération au plus tôt et la fin de l'opération au plus tard. Les flèches indiquent la direction du flux de travail, tandis que le chemin en rouge désigne le chemin critique, représentant la durée la plus longue nécessaire pour achever le projet. Ce chemin critique représente le temps minimum requis pour compléter le changement de moule, soit 5280 secondes, équivalant à 1 heure et 28 minutes.

Chapitre 4 : Cas pratique

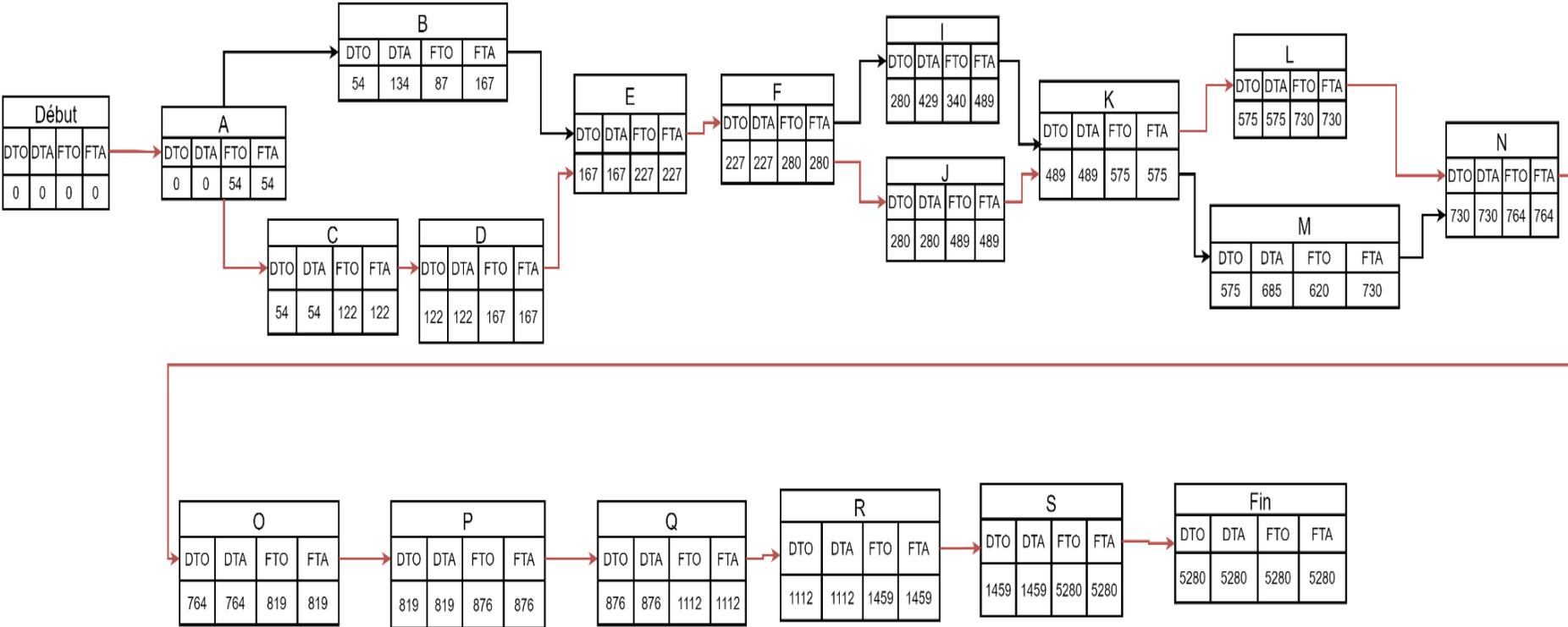


Figure 4. 21: Diagramme de PERT des opérations de changement de moule après la mise en parallèle.

Chapitre 4 : Cas pratique

Après avoir réalisé quelques opérations de changement de moule en parallèle, nous avons enregistré une amélioration de 32,82%. La durée totale de changement de moule s'est ainsi réduite à 1 heure et 28 minutes.

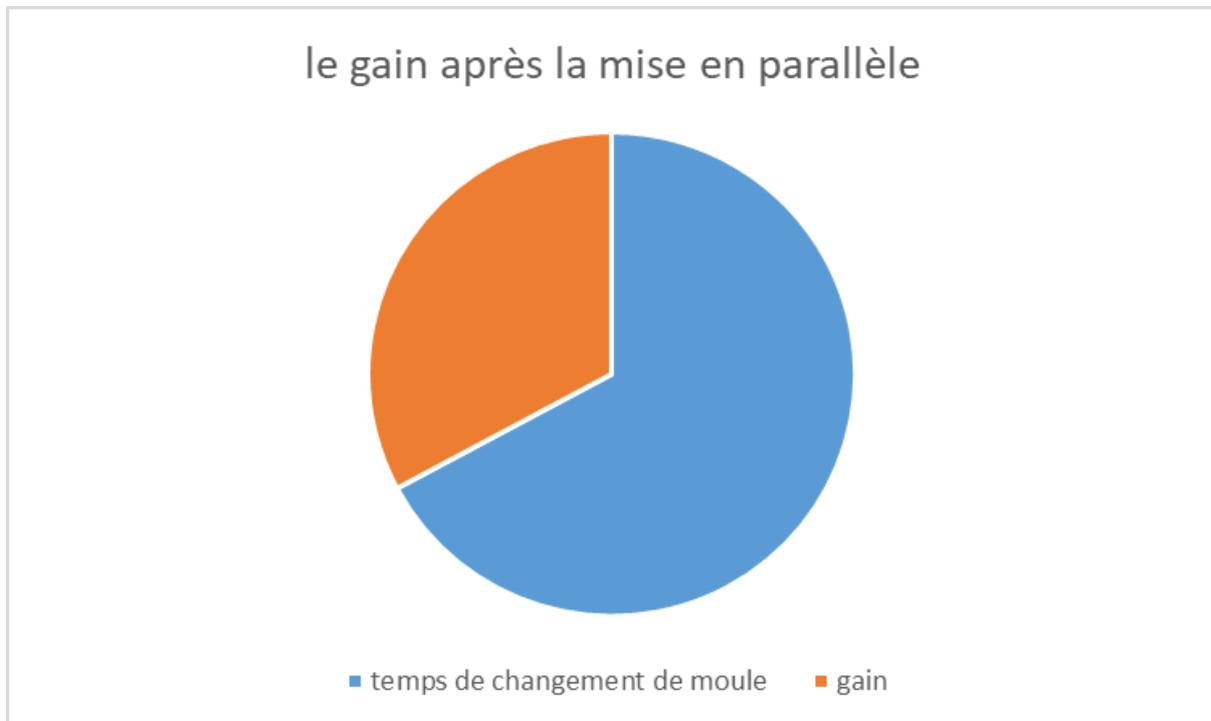


Figure 4. 22: Le gain après la mise en parallèle des opérations de changement de moules.

Les opérations du monteur réglleur et de l'opérateur

Tableau 4. 11: La répartition des tâches pour l'opérateur et le monteur/régleur.

Monteur/Regleur	Opérateur
Placer les crochets	Arrêt de production
Placer les anneaux	Démonter la circulation hydraulique
Démonter les vis	Retirer les vis de la machine
Démonter le moule	Emplacement de la circulation hydraulique
Levage de moule	
Positionner le moule sur la machine	
Serrage de vis	
Enlèvement de levage	
Retirer les crochet	

Chapitre 4 : Cas pratique

Plaquage de moule	
Ajustement de moule automatique	
Allumer le régulateur	
Control et réglage	

Le résultat de la méthode SMED

Grâce à l'implémentation de la méthode SMED, nous avons réussi à réduire la durée de changement de moule de 32,82% par rapport à la durée totale initiale de 2 heures 11 minutes et 47 secondes. Cela équivaut à un gain de 43 minutes et 47 secondes. Le moule 367, destiné à la production de cristal 36, possède un cycle de 58,3 secondes par pièce. En calculant le gain en pièces produites en fonction de ce cycle, nous avons constaté un gain de durée de changement de moule de 2627 secondes.

$$\text{le gain en pièces} = \frac{2627}{58,3} = 45 \text{ pièces.}$$

4.5.3 Non-conformité

Phase définir

1. Définir le gaspillage

Nous avons remarqué une discordance en termes de qualité des produits. Dans chaque section de notre atelier de moulage par injection 2, il existe un emplacement dédié où les produits non conformes sont visuellement détectables pour chaque machine. Cette situation engendre du gaspillage en termes de non-conformité des produits. Les articles présentant des problèmes de qualité ou des défauts requièrent une intervention pour être rectifiés. Afin de mieux comprendre et traiter ce gaspillage, nous avons initié la collecte de données.

2. La méthode QQQCCP

Tableau 4. 12: Le déploiement de la méthode QQQCCP pour la non-conformité.

Quoi	Des pièces non conformes : des pièces incomplètes, des tâches, des bavures, qui finissent par être réparées ou jetées.
Qui	le responsable de contrôle qualité, le contrôleur, l'opérateur.
Où	La non-conformité peut être détectée dans l'atelier d'injection ou dans les ateliers des clients. Les pièces non conformes seront stockées dans la zone de déchets avant d'être envoyées à l'atelier de recyclage.
Quand	Les pièces non conformes sont détectées pendant la production dans

Chapitre 4 : Cas pratique

	l'atelier 2. Lorsque l'opérateur détecte une non-conformité, il retire la pièce et la place dans le sac de déchets.
Comment	Les pièces non conformes sont détectées par contrôle visuel. Certaines pièces peuvent être envoyées à l'atelier de recyclage, tandis que d'autres peuvent être réparées sur place par l'opérateur, soit à l'aide d'outils, soit manuellement.
Combien	Environ 2 % des pièces produites sont non conformes.
Pourquoi	Aucune mesure n'est prise pour prévenir les non-conformités dans l'atelier.

Phase mesurer

Dans cette phase, une série de systèmes d'information a été examinée. Initialement, un entretien a été mené avec le contrôleur qualité de l'atelier de moulage par injection 02 afin d'obtenir la documentation pertinente, notamment la fiche de validation fournissant des indications sur les critères de non-conformité des pièces. Toutefois, bien que cette documentation soit instructive, elle présentait des lacunes en termes d'informations exhaustives. Par conséquent, une consultation ultérieure a été entreprise auprès du responsable qualité, permettant un accès à la base de données des pièces non conformes. Cette approche a facilité la compréhension des causes profondes des problèmes de conformité identifiés.

1. Analyse de Pareto

Le tableau ci-dessous présente les types de non-conformités observés au cours des trois derniers mois (janvier, février, mars). On y dénombre 12 types de non-conformités.

Tableau 4. 13: Les types de non conformités et leur fréquence durant 3 mois (de janvier à mars)

code	type de non conformité	fréquence	fréquence %	cumulée %
NCI-F-03	Pièce manquante (selon l'échantillon ou le dessin d'assemblage).	134	43,65%	43,65%
NCI-F-02	Présence de bavure (affectant le fonctionnement et l'apparence, étant trop épaisse pour être cassée à la main).	48	15,64%	59,28%
NCI-F-08	Présence des marques de brûlures dans les pièces (à des endroits visibles lors de l'assemblage).	44	14,33%	73,62%

Chapitre 4 : Cas pratique

NCI-F-04	Présence de points noirs, tachés (à des endroits visibles lors de l'assemblage des pièces).	38	12,38%	85,99%
NCI-F-06	Dépression, marquage d'évier, fossettes (a des endroits visibles lors de l'assemblage).	13	4,23%	90,23%
NCI-F-05	Présence de rayures (dans les parties visibles des pièces.	9	2,93%	93,16%
NCI-F-09	Nuance de couleur.	8	2,61%	95,77%
NCI-F-13	Traces brillantes (givrage).	8	2,61%	98,37%
NCI-F-01	Écart dimensionnel (les dimensions de la pièce sont différentes.	2	0,65%	99,02%
NCI-F-07	Rétrécissement dans la pièce en plastique.	1	0,33%	99,35%
NCI-F-11	Rétrécissement dans la pièce en plastique.	1	0,33%	99,67%
NCI-F-15	Défaut de flexion, de fracture, de fissuration et de déformation.	1	0,33%	100,00%

2. Représentation du diagramme Pareto

Le diagramme de Pareto des apparences de non-conformité révèle que les types dominants sont la présence de bavures, les pièces manquantes et les brûlures. Représenter dans la figure ci-dessous.

Chapitre 4 : Cas pratique

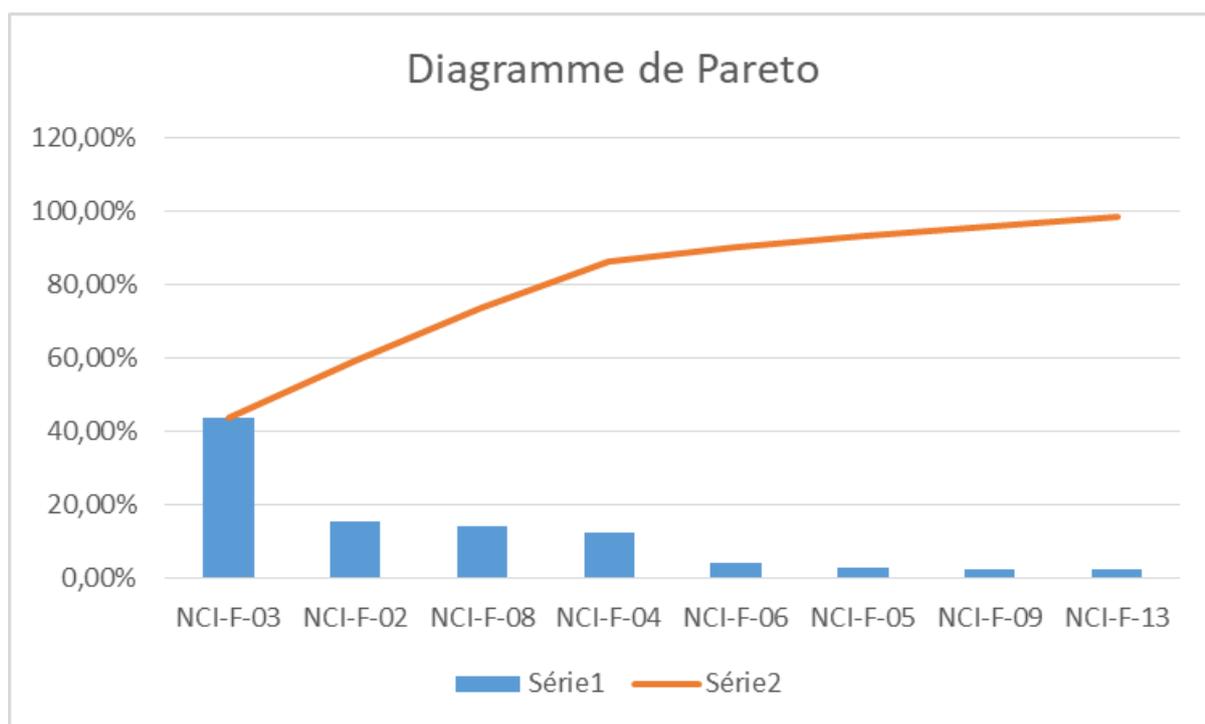


Figure 4. 23: Diagramme de Pareto pour les types de non-conformité.

3. Analyse des types de non-conformité par moule

Pour repérer les origines des non-conformités, nous avons déterminé la quantité de pièces non conformes pour chaque moule, afin d'identifier ceux qui causent le plus de problèmes de non-conformité par rapport aux autres.

4. Analyse Pareto

Le tableau ci-dessous présente les moules responsables des non-conformités au sein de l'atelier d'injection 2. Ces non-conformités ont été détectées soit dans l'atelier d'injection, soit dans les ateliers clients. Les données couvrent les mois de janvier, février et mars.

Tableau 4. 14: Le nombre de non-conformité par moules.

moule	NC	Fréquence	Fréquence cumulée
282	23887	60,72%	60,72%
113	7750	19,70%	80,42%
155	1300	3,30%	83,72%
112	1047	2,66%	86,38%
183	886	2,25%	88,63%
219	880	2,24%	90,87%
4	615	1,56%	92,43%
/	421	1,07%	93,50%

Chapitre 4 : Cas pratique

201	372	0,95%	94,45%
298	367	0,93%	95,38%
185	320	0,81%	96,19%
154	280	0,71%	96,91%
361	253	0,64%	97,55%
262	225	0,57%	98,12%
216	210	0,53%	98,66%
265	195	0,50%	99,15%
157	114	0,29%	99,44%
g36	65	0,17%	99,61%
199	60	0,15%	99,76%
273	45	0,11%	99,87%
111	35	0,09%	99,96%
274	15	0,04%	100,00%

5. Représentation du diagramme Pareto

La figure ci-dessous présente un diagramme de Pareto qui met en évidence que 20% des moules sont responsables de 80% des produits non conformes. Parmi eux, les moules 282 et 113 se démarquent particulièrement. Nous avons ensuite sélectionné les moules générant les trois types de non-conformité, dont les résultats sont présentés dans le diagramme de Pareto par type de non-conformité.

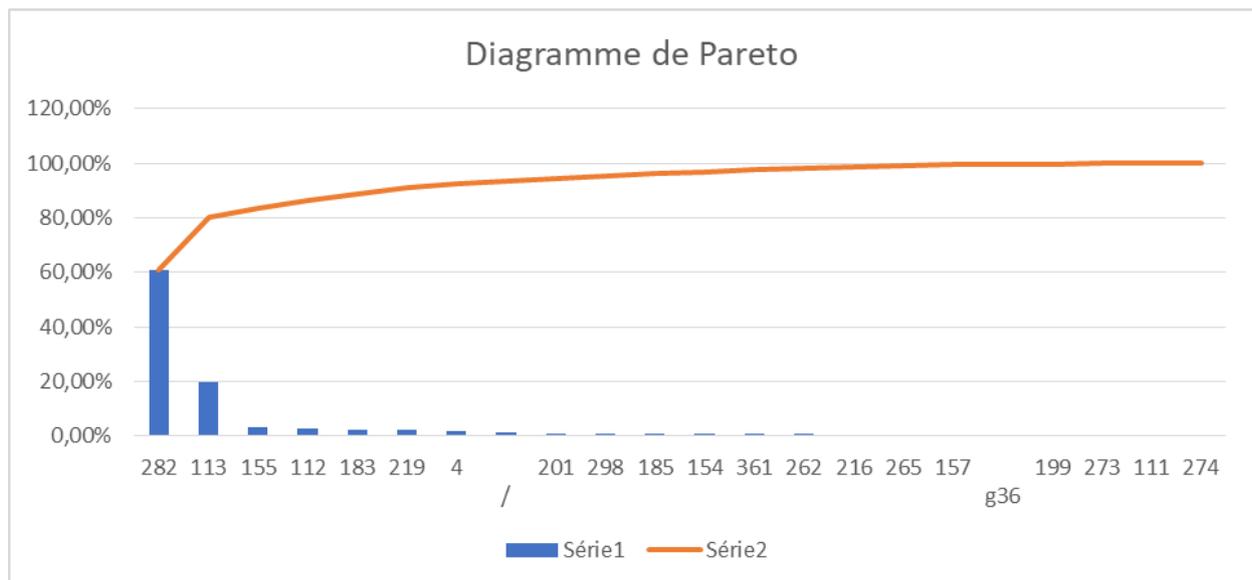


Figure 4. 24: Diagramme de Pareto pour le nombre de non-conformité par moule.

Chapitre 4 : Cas pratique

Le tableau ci-dessous présente la fréquence des types de non-conformités selon les résultats de la première analyse Pareto, en identifiant les moules responsables de 80% des non-conformités dans l'atelier.

Tableau 4. 15 : La fréquence des 3 majeure type de non-conformité pour les moules 113 et 282

Type de non conformité	moule 113	moule 282
Pièce manquante.	25	18
Présence de bavure.	27	4
Présence des marques de brûlures dans les pièces.	1	0

La production des pièces fabriquées avec le moule 113 génère trois types principaux de non-conformités, comme le montrent les résultats de l'analyse de Pareto.

La figure ci-dessous représente les pièces de moule 113 corps E27 douille à bague, à gauche représente les différents types de non-conformité pièce incomplète, des bavures, et des taches de brûlures, la figure à droite représente une pièce conforme. Les quantités de non-conformité sont indiqués en *annexe F*.



Figure 4. 25: Pièces non conforme de moule 113.



Figure 4. 26 : Pièce conforme de moule 113.

Phase analyse

1. Identification des causes

Le diagramme d'Ishikawa est un outil qui permet de réfléchir sur les effets de la non-conformité des pièces produites par le moule 113 et d'en identifier les causes potentielles. La question centrale qui guide l'élaboration de ce diagramme est : pourquoi le moule 113 génère-t-il une quantité considérable de pièces non conformes ?

Chapitre 4 : Cas pratique

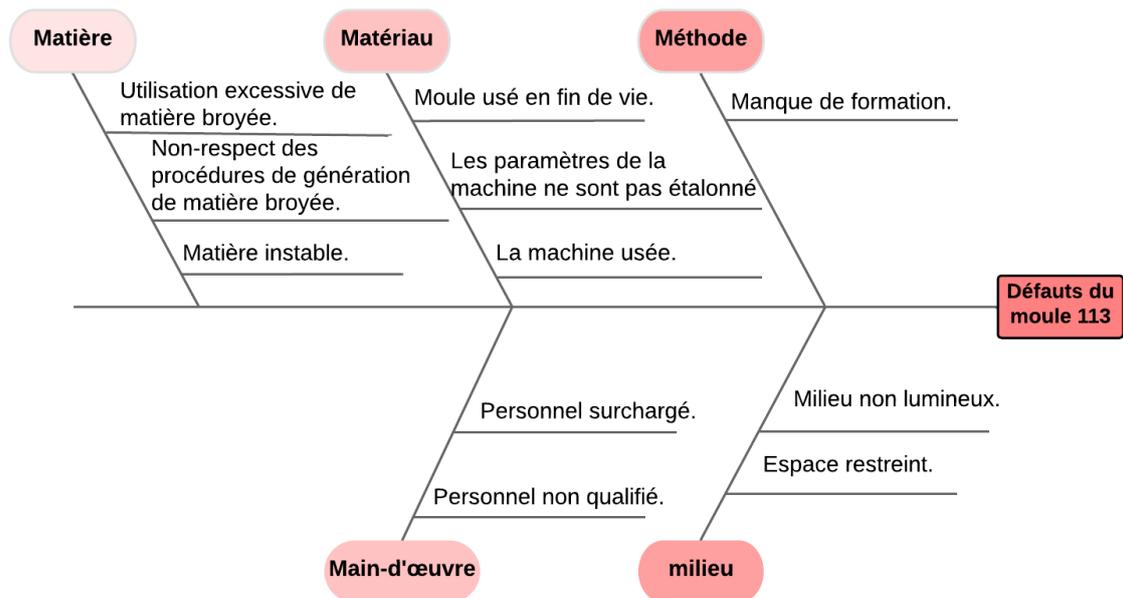


Figure 4. 27: Diagramme d'Ishikawa pour les causes des défauts de moule 113.

2. Analyse des causes

Méthode

Dans l'atelier 2, il a été constaté l'absence de mode opératoire pour le réglage de la machine en cas de sortie non conforme. Les réglages sont effectués en se basant sur le savoir-faire et l'expertise du chef d'équipe, sans consulter les fiches de réglages.

Matériel

Le moule 113 est l'un des plus anciens moules de l'atelier, et il approche de la fin de sa durée de vie utile. Une machine n'est pas étalonnée, ce qui signifie que les paramètres de la machine ne sont pas réglés ou ajustés conformément aux normes ou spécifications requises pour assurer des mesures précises et fiables, la machine tombe en panne fréquemment et nécessite des réparations plus souvent, les produits finis présentent des variations de qualité.

Matière

La matière broyée recycler peut avoir des propriétés mécanique, thermique, et chimiques inférieure par rapport la matière vierge, l'utilisation excessives de la matière broyée peut augmenter l'usure des composants de la machine, la matière broyée peut se dégrade à chaque cycle de recyclage, le mélange de la matière broyée avec la matière vierge ne pas être homogène, entraînant des variations de qualité.

Nous avons également constaté l'absence de contrôle qualité à la réception de la matière première. Celle-ci n'est soumise à aucun test de propriétés mécaniques, thermiques ou chimiques. Selon l'atelier La qualité de la matière première n'apparaît qu'après quelques injections.

Chapitre 4 : Cas pratique

Milieu

L'atelier d'injection a une faible luminosité, ce qui peut conduire l'opérateur à mal contrôler ou à visualiser la non-conformité des pièces.

Main d'œuvre

Dans l'atelier d'injection, il y a seulement un contrôleur de qualité pour chaque shift, et les opérateurs n'ont pas l'autorisation ou la qualification pour régler une non-conformité car ils ne sont pas formés pour manipuler ou ajuster les machines.

Phase innover et contrôler

Pour maintenir la qualité des pièces produites, le moule 113 doit être réparé et nettoyé avant chaque utilisation. Avant d'être utilisé, il doit être envoyé à l'usinage pour effectuer ces réparations et ce nettoyage. La figure ci-dessous illustre le processus et les opérations à considérer avant le montage des moules. Il est essentiel de vérifier s'il s'agit d'un ancien moule, afin de le transmettre à l'usinage si nécessaire.

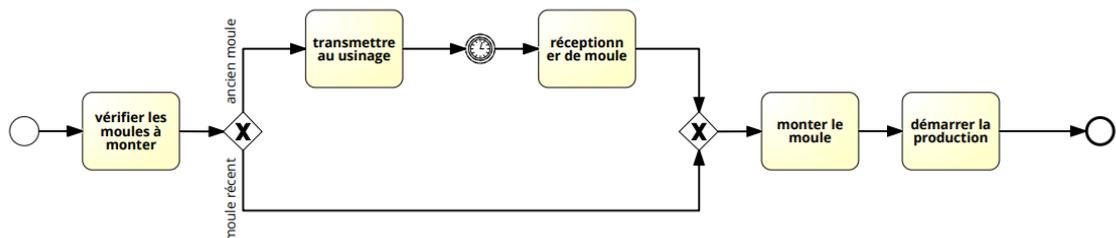


Figure 4. 28 : Processus avant le montage du moule 113.

- Limiter l'utilisation de matière recyclée dans le processus de production afin d'éviter l'usure excessive des machines et de maintenir la qualité des pièces fabriquées. Pour le moule 113, la matière recyclée ne doit pas être utilisée.
- Installer des éclairages au niveau de la machine où le moule 113 est monté afin de mieux visualiser les non-conformités et éviter que celles-ci ne soient transmises aux ateliers clients. L'image ci-dessous montre une amélioration de l'éclairage.

Chapitre 4 : Cas pratique



Figure 4. 29: Amélioration de la visualisation des défauts pour le module 113.

- Fournir une formation supplémentaire aux opérateurs sur la maintenance de base des machines et sur la détection des non-conformités, afin de renforcer leurs compétences et leur autonomie dans le processus de production.
- Augmenter le nombre de contrôleurs qualité par shift pour permettre une surveillance plus étroite de la production et une détection plus rapide des non-conformités

Mettre en place des procédures de contrôle strictes pour évaluer la qualité de la matière broyée recyclée et la matière première à sa réception avant son utilisation, afin de garantir des propriétés mécaniques, thermiques et chimiques acceptables.

Le contrôle qualité de la matière première doit commencer à la réception en prenant des échantillons de chaque lot, qui seront ensuite transmis au laboratoire pour des tests physiques, thermiques et chimiques.

L'objectif de ces tests est de s'assurer que la matière utilisée dans le processus de production respecte les spécifications et les normes de qualité requises, garantissant ainsi la qualité des produits finis.

- Contrôle physique et visuel : Vérifier l'aspect physique et visuel des granulés, notamment la taille, la couleur et l'uniformité.
- Tests de Densité : Effectuer des tests pour mesurer la densité de la matière.
- Tests thermiques : Réaliser des tests sur les propriétés thermiques, tels que le point de fusion.
- Mesures Chimiques : Mesurer l'humidité de la matière.

Après chaque contrôle, un rapport de contrôle qualité doit être élaboré. Si la matière est conforme, une fiche de validation doit être établie et transmise aux ateliers d'injection. En cas de non-conformité, le lot concerné doit être vérifié.

Chapitre 4 : Cas pratique

4.6 Situation actuelle dans l'industrie 4.0

4.6.1 Vision stratégique de BMS

BMS a entrepris sa transformation numérique avec une vision déterminée de digitaliser complètement ses processus. Consciente de l'importance capitale de cette transition, l'entreprise est prête à investir considérablement dans les technologies de pointe et les infrastructures nécessaires. Grâce à son personnel hautement qualifié, composé d'ingénieurs et d'autres experts techniques, BMS est bien positionnée pour mener cette évolution. Sa vision est de :

- Créer un écosystème digital intégré qui améliore l'efficacité opérationnelle, stimule l'innovation et offre une expérience client exceptionnelle.
- Adopter des technologies avancées telles que l'Internet des objets (IoT), le Cloud Computing et apprentissage automatique (Machine Learning)
- Renforcer la capacité à prendre des décisions en temps réel grâce à des systèmes intelligents permettant une analyse instantanée des données.

4.6.2 Formation de personnel

La définition de la stratégie de l'entreprise et la formation sur la transformation digitale sont les deux premières étapes essentielles. Il est important de comprendre que la transformation digitale est une stratégie continue, et non un projet limité dans le temps. Cette stratégie peut évoluer et se développer au fil du temps. Investir dans la formation du personnel est crucial, car les technologies avancées ne peuvent être pleinement exploitées que par des employés dotés des compétences nécessaires. La formation du personnel est un élément clé pour réussir la transformation digitale d'une entreprise. En investissant dans le développement des compétences techniques, en gestion de projet, en communication, en innovation et en expérience client, les entreprises peuvent non seulement tirer parti des nouvelles technologies, mais aussi créer une culture d'innovation et de résilience.

4.6.3 Évaluation de l'état actuel par rapport à l'industrie 4.0 dans l'atelier d'injection 02

Pour évaluer l'état actuel de l'industrie 4.0 dans l'atelier d'injection 02, nous avons calculé le niveau de maturité global en commençant par la mise en place d'un système d'évaluation basé sur 6 critères selon Le modèle Industrie 4.0 d'acatech. Chaque critère est évalué selon différents niveaux, classés de 1 à 6 comme suit :

- Niveau 1 : Aucune ou minimum mise en œuvre.
- Niveau 2 : Mise en œuvre de base.
- Niveau 3 : Mise en œuvre et intégration intermédiaires.
- Niveau 4 : Intégration avancée avec données et analyses en temps réel.
- Niveau 5 : Systèmes prédictifs et proactifs.
- Niveau 6 : Systèmes entièrement autonomes et adaptatifs.

Chapitre 4 : Cas pratique

Tableau 4. 16: Evaluation de niveau de maturité de l'industrie 4.0 au sein de l'atelier 2.

critère	niveau
informatisation	3
connectivité	1
visibilité	2
transparence	1
Capacité prédictive	1
Adaptabilité	1

Pour mieux comprendre notre position actuelle par rapport à l'industrie 4.0 et cerner les principaux axes d'amélioration, nous avons représenté les données sous forme de radar charte.

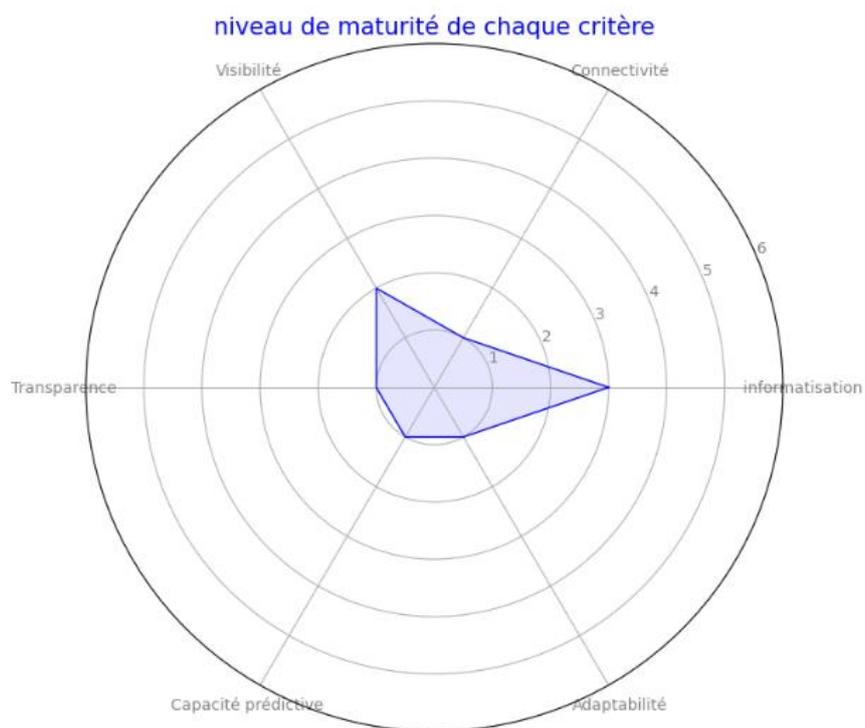


Figure 4. 30 : Représentation du niveau de maturité de chaque critère à l'aide d'un diagramme radar.

Chapitre 4 : Cas pratique

Analyse d'évaluation de l'état actuel par rapport à l'industrie 4.0

Tableau 4. 17: Analyse d'évaluation de l'état actuel par rapport à l'industrie 4.0

informatisation	Définition: outils numériques de base et Technologies de l'Information infrastructure.
	Évaluation de l'état actuel: - Infrastructure numérique de base telle que la GMAO pour la maintenance et l'ERP , ainsi que Excel pour suivre la production dans l'atelier. - Les IHM sont intégrées aux machines.
Connectivité	Définition: Les systèmes et les machines sont connectés via un réseau.
	Évaluation de l'état actuel: - Les machines ne sont pas connectées à un seul réseau, chacune fonctionne de manière indépendante. -Les systèmes TI et TO fonctionnent de manière indépendante. -Absence d'intégration entre l'ERP et la GMAO, ainsi qu'avec Excel.
Visibilité	Définition: surveillance en temps réel et visualisation possible.
	Évaluation de l'état actuel: -Les données de production sont collectées manuellement dans Excel, - l'atelier n'est pas encore équipé de systèmes de surveillance en temps réel tels que SCADA. - Les KPI sont calculés manuellement par les superviseurs.
Transparence	Définition: Utilisation d'analyses avancées pour comprendre le processus et identifier les opportunités d'optimisation.
	Évaluation de l'état actuel: Aucune indication d'analyses de données avancées ou d'intégration des données dans le système.
Capacité prédictive	Définition: utilisation d'analyses prédictives et de prévisions pour anticiper les problèmes.
	Évaluation de l'état actuel: Aucune indication de maintenance prédictive ou de prévisions de capacité. -La maintenance est principalement corrective.
Adaptabilité	Définition: utilisation d'analyses prédictives et de prévisions pour anticiper les problèmes.

Chapitre 4 : Cas pratique

	Évaluation de l'état actuel: Aucune prise de décision autonome ni d'optimisation automatique.
--	--

Niveau de maturité total

Pour obtenir le niveau de maturité total, nous faisons la moyenne des niveaux des six critères.

niveau de maturité total

$$= \frac{\textit{informatisation} + \textit{connectivité} + \textit{visibilité} + \textit{transparence} + \textit{capacité} + \textit{adaptabilité}}{6}$$

En remplaçant les valeurs :

$$\textit{niveau de maturité total} = \frac{3+1+2+1+1+1}{6} = 1,5$$

Pour exprimer le niveau de maturité de l'industrie 4.0 en pourcentage, nous devons d'abord comprendre que chaque critère peut atteindre un maximum de 6 points. Le niveau de maturité total possible est donc :

$$\textit{niveau de maturité total maximum} = 6$$

Nous avons déjà calculé la moyenne des niveaux pour chaque critère :

$$\textit{niveau de maturité totale} = 1,5$$

Pour convertir ce niveau de maturité en pourcentage, nous utilisons la formule suivante :

$$\textit{niveau de maturité en pourcentage} = \frac{\textit{niveau de maturité total}}{\textit{niveau de maturité total maximum}} \times 100$$

En remplaçant les valeurs :

$$\textit{niveau de maturité en pourcentage} = \frac{1,5}{6} \times 100 = 25\%$$

Conclusion :

Le niveau de maturité de l'industrie 4.0 dans l'atelier est de 25 %. Cela signifie que l'atelier a encore beaucoup de progrès à faire pour atteindre un niveau élevé d'intégration et d'automatisation selon les critères définis.

4.6.4 Recommandation

Dans le cadre de la mise en œuvre de l'industrie 4.0, l'objectif de notre étude est de relier toutes les couches de la pyramide CIM à un seul serveur afin d'éliminer toute opération de collecte de données manuelle. Pour l'entreprise BMS. Des améliorations sont nécessaires au niveau des couches telles que PLC/IHM, SCADA et MES. Cette démarche est considérée comme un prérequis à la mise en œuvre de l'industrie 4.0, car elle implique la numérisation des données de l'atelier. Au premier lieu, il est recommandé de :

Chapitre 4 : Cas pratique

Amélioration au niveau des couches

Implémentation du système SCADA

- Installation et configuration du logiciel SCADA pour la collecte et la supervision des données.

Développement de la couche MES

Le système MES dans l'atelier est basé sur Excel, où toutes les données relatives à la production sont présentes. Les indicateurs de performance (KPI) sont également calculés manuellement par le superviseur. Il est donc nécessaire de développer ce système dans un logiciel pour automatiser la couche MES. Nous recommandons de construire un système MES efficace par l'entreprise, avec des capacités fonctionnelles qui répondent à ses propres besoins internes, comme le calcul de TRS, le suivi des temps d'arrêt des machines, la planification ainsi que les calculs de cartes de contrôles. Il est préférable d'éviter l'achat d'un autre système MES auprès d'une autre entreprise, car il existe un risque que le système acheté ne corresponde pas aux besoins de l'entreprise.

Interconnexion des couches avec IIoT

Dans l'industrie 3.0, la connexion entre les couches est une connexion linéaire impliquant le lien entre la couche PLC/IHM et la couche système SCADA, puis la connexion du système SCADA au système MES, et enfin du système MES à l'ERP. Cela a entraîné de multiples connexions entre les systèmes, ce qui nous a coûté du temps et de l'argent.

Pour connecter nos systèmes existants de manière optimale, au lieu de connecter chaque couche l'une à l'autre, nous recommandons de travailler avec le concept d'espace de noms unifié (UNS), qui sera notre fondation architecturale de l'industrie 4.0 en utilisant le protocole IIoT.

La sélection du protocole IIoT

Il est essentiel de choisir le bon protocole pour faciliter l'échange de données au sein d'UNS. En effet, le protocole aura un impact fort sur l'efficacité, l'évolutivité et le succès éventuel de la mise en œuvre du UNS. C'est pourquoi nous avons choisi le protocole MQTT, car il est :

- Nature légère.
- Système de messagerie par publish /subscribe (pub-sub).
- Capacité à gérer efficacement les transferts de données entre les nœuds.
- Scalabilité, faible latence et support pour des déploiements étendus.

La connexion de ces couches se fait par l'implémentation d'un serveur MQTT. Il est essentiel que chaque couche ou application soit connectée au serveur MQTT. Ces applications connectées sont appelées des nœuds. Chaque nœud peut publier ses données sur le serveur et utiliser les données d'un autre nœud. Ce modèle est accessible partout, permettant d'accéder aux données souhaitées à tout moment et en tout lieu. Les données provenant des dispositifs hérités doivent être intégrées via une passerelle (gateway) qui convertit le protocole et standardise les données.

Chapitre 4 : Cas pratique

Représentation de l'interconnexion entre les couches

Dans notre cas, les applications qui seront considérées comme des nœuds sont : ERP, MES, PLC, SCADA, qui sont les éléments de la pile d'automatisation connue sous le nom d'intégration verticale.

Les PLC publieront leurs données dans cet espace de noms unifié via une passerelle. Les systèmes IHM et SCADA récupéreront leurs informations à partir de l'espace de noms unifié, les traiteront, puis publieront les informations traitées en retour. Le système MES recueille ses informations à partir de l'espace de noms unifié, les traitera et les publiera en retour, et il en sera de même pour l'ERP. L'espace de noms unifié représente la structure de toutes les données commerciales liées à l'atelier en un seul endroit, permettant à toutes les applications de publier et de consommer à partir de cette source unique de vérité.

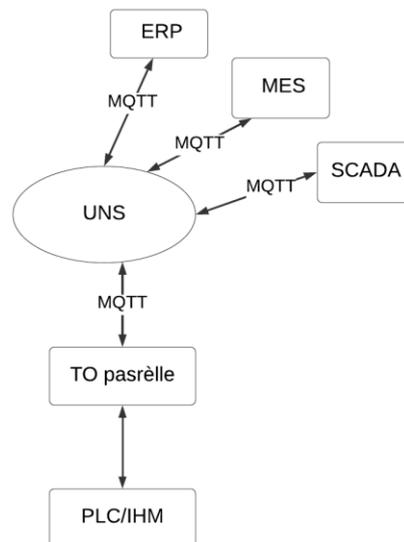


Figure 4. 31 : Représentation de l'interconnexion entre les couches.

La numérisation des données

La numérisation est une étape cruciale dans la transition vers l'industrie 4.0. Elle consiste à convertir tous les documents papier et autres types d'informations en format numérique. Actuellement, BMS a initié ce processus en numérisant les dossiers des machines et des moules. À ce stade, l'entreprise augmentera le volume des données conservées et stockées.

Chapitre 4 : Cas pratique

La mise en œuvre du Cloud

L'augmentation du volume de données en raison de la numérisation et de la collecte via l'IIoT entraînera également une demande accrue pour les systèmes et services Cloud. BMS doit choisir le type de Cloud et les services fournis par le fournisseur. Nous recommandons de mettre en œuvre un Cloud hybride, car il semble être la meilleure option pour l'atelier en raison de sa flexibilité et de son équilibre entre sécurité, coût et évolutivité. On peut l'implémenter pour le stockage de données sensibles, comme les paramètres des machines dans l'atelier d'injection, les données sur la production et la performance de l'atelier, ainsi que les données de qualité et de sécurité. Ces données doivent être stockées dans un Cloud privé. Le déploiement d'applications non sensibles, comme des outils d'analyse de données en temps réel, peut être réalisé sur un Cloud public afin de profiter de la flexibilité et des coûts réduits.

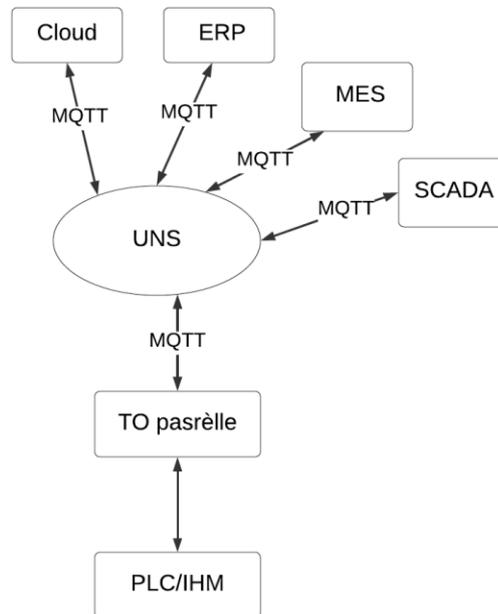


Figure 4. 32 : Représentation de l'interconnexion entre les couches en intégrant le Cloud.

Analyse de Big Data et apprentissage automatique

Ces technologies sont des opérations cruciales au cœur de notre stratégie, qui vise à analyser les données en temps réel et à prévoir les tendances futures. Le processus implique la consommation de données à partir du UNS (Unified Namespace) via le Cloud, où elles sont traitées et analysées. Les algorithmes d'apprentissage automatique apprennent ensuite à partir

Chapitre 4 : Cas pratique

de ces données, leur permettant de fournir des prédictions et des informations précises pour le UNS. Cette approche améliore non seulement notre capacité à prendre des décisions basées sur les données, mais elle garantit également que nous pouvons anticiper et répondre efficacement aux futurs défis et opportunités.

Dans la section précédente, nous avons identifié trois types de gaspillages au sein de l'atelier d'injection et proposé des solutions pour améliorer et standardiser les processus dans l'atelier 2. Nous devons utiliser le concept de l'Espace de Noms Unifié (UNS) pour nous aider à résoudre ces problèmes. Concernant les temps d'attente, nous savons que le changement de moule prend plus de temps, et le réglage est l'une des causes cruciales qui allongent ce délai. L'utilisation de l'UNS nous permettra de résoudre ce problème.

1. Solution pour l'optimisation de la production

- Connecter : se connecter à la source, comme le SCADA et le PLC, pour obtenir des données sur la production.
- Collecter : collecter les données de ces sources dans un UNS.
- Stocker : stocker ces données dans le cloud pour en faciliter la récupération.
- Analyser : utiliser l'apprentissage automatique pour analyser les données de production et faire des recommandations sur l'arrêt automatique de la machine une fois l'objectif de production atteint. La machine reçoit ces recommandations via l'UNS.
- Visualiser : mettre en place des notifications et des alertes pour informer les opérateurs lorsque l'objectif de production est atteint. Activer les alertes accessibles sur mobile.

2. Solution pour le réglage pendant le changement de moule

- Connecter : Se connecter aux machines PLC pour obtenir des données détaillées sur les paramètres et les conditions de fonctionnement.
- Collecter : collecter les données de ces sources dans UNS.
- Stocker : stocker ces données dans le Cloud.
- Analyser : développer des algorithmes d'apprentissage automatique pour analyser les données de l'UNS. Ces algorithmes peuvent identifier les réglages optimaux en se basant sur les données historiques et les conditions en temps réel.
- Automatiser les ajustements : Le modèle d'apprentissage automatique publie ses recommandations dans l'UNS. La machine s'abonne à ces recommandations et ajuste automatiquement ses paramètres.

3. Solution pour les non-conformités

- Connecter : se connecter au MES pour obtenir les cartes de contrôle et les bases de données du service de contrôle qualité.
- Collecter : collecter ces données dans UNS.
- Stocker : stocker ces données dans le Cloud.

Chapitre 4 : Cas pratique

- Analyser : utiliser l'apprentissage automatique pour analyser les données, classifier les moules compatibles avec la machine et identifier les matières premières qui peuvent ne pas convenir à certains moules. Publier ces informations dans l'UNS.
- Visualiser : utiliser des notifications pour informer le responsable de l'atelier des informations de compatibilité.

Les personnels requis

Tableau 4. 18: Les personnels requis pour la transition vers l'industrie 4.0.

Personnel requis	compétence
Équipe production	Connaissance des techniques de gestion de la chaîne logistique et de l'optimisation des flux de production. analyser et interpréter les données de production pour optimiser les performances.
Équipe TI	Gestion et maintenance des infrastructures informatiques, réseaux et serveurs. Compréhension des plateformes cloud. Compétences en conception, gestion et optimisation des bases de données.
Équipe maintenance	Compétences en maintenance des équipements et infrastructures pour éviter les pannes et réparer rapidement en cas de défaillance. Capacité à diagnostiquer les pannes à l'aide d'outils de diagnostic.
Équipe de cybersécurité	Compétences en sécurité des réseaux, pare-feu, détection et prévention des intrusions. Connaissance des principes et techniques de cryptographie pour protéger les données sensibles. Capacité à détecter, analyser et répondre aux incidents de sécurité.
Équipe software engineering	Compétences en langages de programmation (Java, Python, C++, etc.), frameworks et environnements de développement. Capacité à concevoir des architectures logicielles évolutives et robustes. Compétences en intégration d'API et en interopérabilité des systèmes.

4.6 Conclusion

Ce chapitre était consacré à l'identification des gaspillages existants au sein de l'atelier à l'aide de l'approche DMAIC. Il a débuté par une définition précise du problème, suivie d'une analyse approfondie des facteurs contribuant à son occurrence. Sur la base de ces résultats, nous avons proposé des actions correctives visant à réduire les gaspillages et à améliorer l'efficacité opérationnelle. Cette amélioration prépare l'atelier à une transition fluide vers l'Industrie 4.0 en

Chapitre 4 : Cas pratique

suivant des étapes spécifiques et en exploitant UNS, reconnus comme un pilier des transformations digitales réussies.

Conclusion Générale

Ce travail a porté sur la transformation digitale au sein de l'entreprise BMS Electric, plus précisément dans l'atelier d'injection 02. Notre objectif était de préparer cet atelier à l'implémentation et à la transformation digitale.

Nous avons commencé le projet en explorant la littérature sur les principes de l'industrie 4.0, les diverses technologies associées, et les méthodes d'implémentation. Ensuite, nous avons étudié l'industrie en Algérie ainsi que l'entreprise BMS. Nous avons adopté la matrice SWOT pour définir la position des entreprises algériennes par rapport à l'adoption de l'industrie 4.0. Nous avons conclu qu'il est crucial d'implémenter le Lean Manufacturing avant l'industrie 4.0 pour optimiser et rationaliser les processus au sein de l'atelier. Nous avons donc étudié la littérature sur le Lean Manufacturing, ses principes et les sept gaspillages.

Pour notre étude de cas, nous avons commencé par optimiser les processus de l'atelier en tentant de réduire les gaspillages du Lean Manufacturing. Nous avons d'abord traité le gaspillage de surproduction, considéré comme la principale cause des autres gaspillages. Nous avons collecté des données à partir des fiches de suivi journalier et identifié un gaspillage de surproduction où la différence entre l'objectif et la quantité produite dépassait 50% pour certains articles. Nous avons déterminé les causes principales de cette surproduction et trouvé des solutions pour réduire ce gaspillage.

Ensuite, nous avons observé le gaspillage lié au temps d'attente dans l'atelier. La plupart de ces temps d'attente étaient dus aux changements de moule. Nous avons identifié les causes principales de ce problème et mis en œuvre la méthode SMED pour augmenter la productivité et réduire le temps de réglage. En conséquence, nous avons réussi à réduire le temps de réglage de 32,82%.

Enfin, nous avons identifié les gaspillages liés aux défauts dans l'atelier. Nous avons trouvé trois types de défauts majeurs causant la plupart des problèmes. Nous avons traité les pièces présentant le plus de défauts, identifié les causes profondes et proposé des solutions et recommandations.

L'implémentation du Lean Manufacturing dans les autres départements est cruciale. Comme l'a fait Taiichi Ohno en enseignant et en mettant en œuvre le Lean Manufacturing chez ses fournisseurs pour éviter qu'ils ne deviennent des goulets d'étranglement, il en va de même pour l'atelier d'injection de BMS.

Le Lean Manufacturing est une condition préalable à l'implémentation de l'industrie 4.0 dans l'atelier d'injection de BMS. La stratégie de transformation digitale doit expliquer pourquoi l'atelier a besoin de cette transformation. Une évaluation du niveau de maturité a été réalisée, et nous avons constaté que le niveau de maturité de l'industrie 4.0 était d'environ 25%. Cela signifie qu'il y a des améliorations à apporter pour atteindre la pleine maturité dans le

contexte de l'industrie 4.0. Il est également important que BMS implémente une culture de transformation digitale en formant ses employés pour qu'ils comprennent ce qu'est l'industrie 4.0, pourquoi l'implémenter et comment cela servira l'atelier.

Dans ce projet, nous avons mis l'accent sur l'élimination de la collecte manuelle de données pour éviter les erreurs humaines en introduisant un espace de noms unifié, connectant toutes les applications de l'atelier à un seul serveur. Ainsi, les données seront centralisées et accessibles par toutes les applications.

Références bibliographiques

Ouvrage:

1. Azizi, A., & Barenji, R. (n.d.). *Industry 4.0*. Springer. Retrieved June 12, 2024, from <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-981-19-2012-7.pdf>
2. Cevikcan, Emre. *Industry 4.0: Managing The Digital...* - Google Scholar. (n.d.). Retrieved June 12, 2024, from https://scholar.google.com/scholar?hl=en&as_sdt=0%2C5&q=Cevikcan%2C+Emre.+Industry+4.0%3A+Managing+The+Digital+Transformation.+Edited+by+Alp+Ustundag%2C+Switzerland%2C+Springer%2C+2018.&btnG=
3. Conner, Gary. *Lean Manufacturing ean Manufacturing...* - Google Scholar. (n.d.). Retrieved June 12, 2024, from https://scholar.google.com/scholar?hl=en&as_sdt=0%2C5&q=Conner%2C+Gary.+Lean+Manufacturing+ean+Manufacturing+for+the+Small+Shop.+Society+of+Manufaturing+Engineers%2C+2001.&btnG=
4. Dailey, Kenneth W. *The Lean Manufacturing Pocket...* - Google Scholar. (n.d.). Retrieved June 12, 2024, from https://scholar.google.com/scholar?hl=en&as_sdt=0%2C5&q=Dailey%2C+Kenneth+W.+The+Lean+Manufacturing+Pocket+Handbook.+DW+Publishing+Co.+de+Cheffontaines%2C+Charles%2C+et+al.+Pratique+du+lean%3A+R%3%A9duire+les+pertes+en+conception%2C+production+et+industrialisation.+Dunod%2C+2010.&btnG=
5. de Cheffontaines, Charles, et al. *Pratique du lean:...* - Google Scholar. (n.d.). Retrieved June 12, 2024, from https://scholar.google.com/scholar?q=de+Cheffontaines,+Charles,+et+al.+Pratique+du+lean:+R%3%A9duire+les+pertes+en+conception,+production+et+industrialisation.+Dunod,+2010.&hl=en&as_sdt=0,5
6. Dennis, Pascal, and John Shoock. *Lean Production...* - Google Scholar. (n.d.). Retrieved June 12, 2024, from https://scholar.google.com/scholar?hl=en&as_sdt=0%2C5&q=Dennis%2C+Pascal%2C+and+John+Shoock.+Lean+Production+Simplified%3A+A+Plain-Language+Guide+To+The+World%27s+Most+Powerful+Production+System.+CRC+Press%2C+2015.&btnG=
7. Gilchrist, A. (2016). *Industry 4.0: the industrial internet of things*. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-1-4842-2047-4.pdf>
8. Kant, R., & Gurung, H. (2023). *Industry 4.0: Concepts, Processes and Systems*. <https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=4BDXEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Kant,+Ravi,+and+Hema+Gurung.+Industry+4.0+Concepts,+Processes+and+Systems.+first+ed.,+CRC+Press,+2024.&ots=ndRqKOJyii&sig=7QnwJFyocZ4Nk6f89MjqVVLHXSg>
9. Krijnen, A. (2007). The Toyota way: 14 management principles from the world's greatest manufacturer. *Action Learning: Research and Practice*, 4(1), 109–111. <https://doi.org/10.1080/14767330701234002>
10. Kumar, K., Zindani, D., & Davim, J. (2019). *Industry 4.0: developments towards the fourth industrial revolution*. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-981-13-8165-2.pdf>
11. Misra, S., Roy, C., & Mukherjee, A. (2021). Introduction to Industrial Internet of Things and Industry 4.0. *Introduction to Industrial Internet of Things and Industry 4.0*. <https://doi.org/10.1201/9781003020905/INTRODUCTION-INDUSTRIAL-INTERNET-THINGS-INDUSTRY-4-0-SUDIP-MISRA-CHANDANA-ROY-ANANDARUP-MUKHERJEE>

12. Nayar, A., & Kumar, A. (2020). *A roadmap to industry 4.0: Smart production, sharp business and sustainable development*. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-030-14544-6.pdf>
13. Ortiz, C. (2006). *Kaizen assembly: designing, constructing, and managing a lean assembly line*. <https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.1201/9781420006605/kaizen-assembly-chris-ortiz>
14. Rother, M., Shook, J., Womack, J., & Jones, D. (2003). *Learning to see: value stream mapping to add value and eliminate muda*. https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=mrNIH6Oo87wC&oi=fnd&pg=PP2&dq=Rother,+M.,+and+J.+Shook.+%E2%80%9Clearning+to+see:+Value+stream+mapping+to+create+value+and+eliminate+muda.%E2%80%9D+2009.&ots=25dB759DLB&sig=vqtEUPDL3WrF_MO8KQS41WVpMQA
15. Sartal, Antonio, and Diego Carou. *Enabling Technologies...* - Google Scholar. (n.d.). Retrieved June 12, 2024, from https://scholar.google.com/scholar?hl=en&as_sdt=0%2C5&q=Sartal%2C+Antonio%2C+and+Diego+Carou.+Enabling+Technologies+for+the+Successful+Deployment+of+Industry+4.0.+Edited+by+J.+Paulo+Davim%2C+CRC+Press%2C+2020.&btnG=
16. Title, L. W.-(No, & 2010, undefined. (n.d.). How to implement lean manufacturing. *Cir.Nii.Ac.Jp*. Retrieved June 12, 2024, from <https://cir.nii.ac.jp/crid/1130282270093599616>
17. Vinodh, S. (2022). Lean manufacturing: fundamentals, tools, approaches, and industry 4.0 integration. *Lean Manufacturing: Fundamentals, Tools, Approaches, and Industry 4.0 Integration*, 1–132. <https://doi.org/10.1201/9781003190332/LEAN-MANUFACTURING-VINODH>

Article:

1. Abdulnour, S., Baril, C., Abdulnour, G., Sustainability, S. G.-, & 2022, undefined. (n.d.). Implementation of industry 4.0 principles and tools: simulation and case study in a manufacturing SME. *Mdpi.ComS Abdulnour, C Baril, G Abdulnour, S GamacheSustainability, 2022•mdpi.Com*. Retrieved June 12, 2024, from <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/10/6336>
2. Naciri, L., Mouhib, Z., Gallab, M., Nali, M., Abbou, R., & Kebe, A. (2022). Lean and industry 4.0: A leading harmony. *Procedia Computer Science*, 200, 394-406.
3. Research, M. S.-E. J. for E., & 2017, undefined. (n.d.). A comprehensive review of manufacturing wastes: Toyota production system lean principles. *Papers.Ssrn.ComM SolimanEmirates Journal for Engineering Research, 2017•papers.Ssrn.Com*. Retrieved June 12, 2024, from https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2960974
4. Schumacher, S., Bildstein, A., CIRP, T. B.-P., & 2020, undefined. (n.d.). The impact of the digital transformation on lean production systems. *ElsevierS Schumacher, A Bildstein, T BauernhanslProcedia CIRP, 2020•Elsevier*. Retrieved June 12, 2024, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827120306764>
5. Womack, J. P., & Jones, D. T. (1997). Lean thinking—banish waste and create wealth in your corporation. *Journal of the Operational Research Society*, 48(11), 1148. <https://doi.org/10.1057/PALGRAVE.JORS.2600967>

Site web:

1. *Algeria's adoption of e-business under the fourth industrial revolution* - Google Search. (n.d.). Retrieved March 12, 2024, from

Liste des Annexes

<i>Annexe A Les données de surproduction</i>	<i>87</i>
<i>Annexe B Fiche de suivi.</i>	<i>91</i>
<i>Annexe C Les temps d'arrêts des machines avec leurs causes.</i>	<i>92</i>
<i>Annexe D Les opérations de changement de moule.</i>	<i>93</i>
<i>Annexe E Check List.....</i>	<i>95</i>
<i>Annexe F Le suivi de non-conformité de moule 113.</i>	<i>96</i>
<i>Annexe G Glossaire.....</i>	<i>99</i>

Annexe A Les données de surproduction

Num Moule	Désignation	Date Début	Date Fin	Objectif	Quantité Réelle	Ecart	Pourcentage
185	pastille BMS avec écrou	14/02/2024	26/02/2024	1000000	1524813	524813	52,48%
332		10/03/2024	11/03/2024	30000	40004	10004	33,35%
219	cordon optima noir	06/03/2024	18/03/2024	700000	877830	177830	25,40%
113	corps E27 douille a bague blanc	03/03/2024	05/03/2024	15000	18200	3200	21,33%
23	attache multi prise et fiche	05/03/2024	09/03/2024	500000	580698	80698	16,14%
112	culot E27 douille mono	27/02/2024	04/03/2024	150000	166200	16200	10,80%
334		07/03/2024	08/03/2024	60000	66368	6368	10,61%
115	multiprise A06 a fusible avec interrupteur (ouvert+bouche)	17/03/2024	21/03/2024	5000	5528	528	10,56%

39	front tableau apparent n 06	18/03/2024	18/03/2024	1000	1104	104	10,40%
219	cordon optima blanc	19/02/2024	27/02/2024	450000	490124	40124	8,92%
4,1	Front prise terre ECO N02	29/02/2024	02/03/2024	25000	27220	2220	8,88%
260	fond tableau 16 encastré mono	19/03/2024	21/03/2024	3100	3360	260	8,39%
325	p mec int	03/03/2024	06/03/2024	60000	64808	4808	8,01%
386	supp d'adaptation soukoy	16/02/2024	24/02/2024	30000	32226	2226	7,42%
151	cage eco	11/02/2024	14/02/2024	110000	117399	7399	6,73%
180	h double oberon	03/03/2024	07/03/2024	22000	23374	1374	6,25%
368	couvercle tableau 3 mono	25/02/2024	29/02/2024	1150	1214	64	5,57%
4.1	Front prise terre ECO N02	12/03/2024	16/03/2024	40000	42162	2162	5,41%
205	mult 4p int n 02	09/03/2024	13/03/2024	16000	16826	826	5,16%
152	COUV.39	17/03/2024	17/03/2024	140	147	7	5,00%

239	couv tab 12 mono	13/03/2024	16/03/2024	4500	4683	183	4,07%
282	bouchon oberon	20/02/2024	28/02/2024	300000	311122	11122	3,71%
308	tab enc 06 mono	11/03/2024	14/03/2024	3000	3110	110	3,67%
368		10/03/2024	10/03/2024	780	807	27	3,46%
377	houssing 9w 12w	12/02/2024	26/02/2024	40000	41344	1344	3,36%
315	habillage optima n 04	07/03/2024	14/03/2024	100000	103208	3208	3,21%
250	F.double prise S EVO	17/03/2024	19/03/2024	15000	15420	420	2,80%
274	multiprise A03 ECO BMS nouveau	19/02/2024	26/02/2024	50000	51208	1208	2,42%
111	noir	05/03/2024	07/03/2024	30000	30700	700	2,33%
113	corps E27 douille a bague blanc	25/02/2024	01/03/2024	50000	50800	800	1,60%
356		10/03/2024	16/03/2024	200000	202856	2856	1,43%
154	F saeur	20/03/2024	23/03/2024	60000	60454	454	0,76%

386	support d'adaptation pour.F. double octants	12/03/2024	20/03/2024	40000	40247	247	0,62%
105	front tableau apparent 10	18/03/2024	18/03/2024	500	503	3	0,60%
333	front prise terre larissa despina	10/03/2024	16/03/2024	70000	70307	307	0,44%
259	couvercle tableau 16 mono	21/03/2024	22/03/2024	1100	1103	3	0,27%

Annexe B Fiche de suivi.

	<h1>Fiche de Suivi</h1>	
---	-------------------------	--

Atelier		Date	
Machine		Heure de début	
Moule		La quantité restante de MP	
Objectif		Nom d'opérateur	
Groupe			

Heure	Quantité	NC	Arrêt	La cause d'arrêt
07:00				
08:00				
09:00				
10:00				
11:00				
12:00				
13:00				
14:00				
15:00				
Total				

Annexe C Les temps d'arrêts des machines avec leurs causes.

Machine	Changement de moule	Problème de moule	Test moule	Problème de machine	Manque opérateur	Nettoyage moule	Total
14415	5						5
14116	6			12			18
14117	7,5	8		6			21,5
14118	15,5			0,75			16,25
14119							0
14120	1					1	2
14121	6,5	6					12,5
14122	2,25	8					10,25
14123	6,5					2	8,5
14124	14	5,5			2,5	1	23
14125	2			9	2,5		13,5
14126		4,5					4,5
14127	6,25						6,25
14128	10		6		1,5		17,5
14129	7,5		3,5	1			12
14130		2					2
14131	7	2					9
14548	4						4
Total	101	36	9,5	28,75	6,5	4	185,75

Annexe D Les opérations de changement de moule.

	tâche	description	durée	durée après	Solution proposée
arrêt de production	1	arrêt de la production	00:00:54	00:00:54	
	2	préparer la machine	00:00:48	00:00:00	Tâche externe: 5S
démontage de moule	3	démonter la circulation hydraulique	00:00:33	00:00:33	
	4	placer crochet moule	00:01:08	00:01:08	
	5	placer les anneau de levage de moule	00:00:45	00:00:45	
	6	démonter les vis qui attache le moule avec la machine	00:02:00	00:01:00	Le serrage avec clé à cliquet.
	7	démonter le moule	00:00:53	00:00:53	
	8	retirer les vis de la machine	00:01:55	00:01:00	Le serrage avec clé à cliquet.
montage de moule	9	déplacement chercher le moule a monte	00:01:00	00:00:00	Tâche externe
	10	levage de moule a monte	00:03:29	00:03:29	
	11	emplacement de moule et ajustement	00:02:26	00:02:26	
	12	serrage des vis de moule	00:05:20	00:02:35	Le serrage avec clé à cliquet.
	13	emplacement des circulation hydraulique	00:00:45	00:00:45	
	14	enlèvement de levage	00:00:34	00:00:34	
	15	déplacement chercher les clés	00:02:07	00:00:00	Tâche externe: chariot d'outils
	16	retirer les crochet de moule	00:00:55	00:00:55	
	17	plaquage de moule	00:00:57	00:00:57	
18	ajustement de moule automatiquement	00:03:56	00:03:56		

	19	nettoyage de moule	00:20:05	00:00:00	Nettoyage à l'usinage
	20	allumer le régulateur température	00:03:15	00:03:15	
	21	déplacement prendre les outils	00:05:55	00:00:00	Tâche externe: chariot des outils
	22	changement de la buse	00:00:50	00:00:00	Unification de la buse
	23	déplacement chercher le chalumeau	00:04:31	00:00:00	Tâche externe
	24	brûler la buse	00:00:33	00:00:00	Unification de la buse
démarrage	25	première injection	00:02:32	00:02:32	
Contrôle et Réglage	26	injection et réglage	00:37:41	00:37:41	
	27	Contrôle qualité	00:26:00	00:26:00	

Vert : Les opérations améliorées.

Rouge : Les opérations externaliser.

Jaune : Les opérations éliminer.

Annexe E Check List

	check-list	
---	------------	--

Atelier		Date	
Groupe		Heure de début	
Machine		Heure de fin	
Moule		Le nom d'opérateur	

	Outils à préparer	Validation
Montage/ Démontage	Anneaux de levage adapté au moule	
	Les clés allen	
	Les clés à fourche	
	La barrette de securite	
	La bague des centrages	
	La manille	
Consommable	La buse	
	Tuyau de circulation hydraulique	

Annexe F Le suivi de non-conformité de moule 113.

date	type NC	machine	groupe	quantité NC	quantité produite par shift	taux
01/02/2024	NCI-F-02	14130	D	90	3210	2,80%
09/02/2024	NCI-F-03	14130	B	800	2000	40,00%
09/02/2024	NCI-F-02	14130	B	800	2000	40,00%
09/02/2024	NCI-F-03	14130	A	140	4640	3,02%
09/02/2024	NCI-F-02	14130	A	140	4640	3,02%
10/02/2024	NCI-F-03	14130	B	85	5085	1,67%
10/02/2024	NCI-F-02	14130	B	85	5085	1,67%
10/02/2024	NCI-F-03	14130	C	90	4590	1,96%
10/02/2024	NCI-F-02	14130	C	90	4590	1,96%
10/02/2024	NCI-F-03	14130	A	90	5390	1,67%
10/02/2024	NCI-F-02	14130	A	90	5390	1,67%
11/02/2024	NCI-F-02	14130	A	188	14330	1,31%
11/02/2024	NCI-F-02	14130	B	188	14331	1,31%
20/02/2024	NCI-F-02	14117	A	875	14000	6,25%

20/02/2024	NCI-F-02	14117	B	875	14000	6,25%
20/02/2024	NCI-F-02	14117	C	875	14000	6,25%
20/02/2024	NCI-F-02	14117	D	875	14000	6,25%
26/02/2024	NCI-F-03	14130	D	50	2050	2,44%
27/02/2024	NCI-F-03	14130	D	80	2080	3,85%
27/02/2024	NCI-F-02	14130	A	120	2420	4,96%
28/02/2024	NCI-F-03	14130	D	50	2050	2,44%
28/02/2024	NCI-F-02	14130	A	60	4060	1,48%
28/02/2024	NCI-F-02	14130	A	60	4060	1,48%
01/03/2024	NCI-F-03	14130	D	30	230	13,04%
03/03/2024	NCI-F-02	14130	A	140	8440	1,66%
03/03/2024	NCI-F-03	14130	C	250	1280	19,53%
04/03/2024	NCI-F-03	14130	C	190	3190	5,96%
04/03/2024	NCI-F-03	14130	B	155	3155	4,91%
07/03/2024	NCI-F-02	14130	A	65	2065	3,15%
07/03/2024	NCI-F-02	14130	C	700	6700	10,45%
07/03/2024	NCI-F-02	14130	A	65	2065	3,15%
07/03/2024	NCI-F-02	14130	C	700	6700	10,45%
13/03/2024	NCI-F-03	14233	B	150	1150	13,04%

13/03/2024	NCI-F-03	14130	C	100	1600	6,25%
14/03/2024	NCI-F-03	14130	C	150	1650	9,09%
14/03/2024	NCI-F-02	14130	B	190	3690	5,15%
15/03/2024	NCI-F-03	14130	C	250	1750	14,29%
15/03/2024	NCI-F-03	14130	B	220	2220	9,91%
16/03/2024	NCI-F-03	14130	D	100	1100	9,09%
16/03/2024	NCI-F-03	14130	B	300	1600	18,75%
16/03/2024	NCI-F-03	14130	C	200	1200	16,67%
17/03/2024	NCI-F-03	14130	B	200	1050	19,05%
18/03/2024	NCI-F-03	14130	B	190	2190	8,68%
20/03/2024	NCI-F-08	14130	B	300	2300	13,04%
21/03/2024	NCI-F-03	14130	B	220	1220	18,03%
21/03/2024	NCI-F-03	14130	D	100	1100	9,09%
21/03/2024	NCI-F-02	14130	A	180	1180	15,25%
22/03/2024	NCI-F-02	14130	B	195	1695	11,50%
22/03/2024	NCI-F-02	14130	A	45	1045	4,31%
23/03/2024	NCI-F-03	14130	B	125	1625	7,69%
23/03/2024	NCI-F-02	14130	D	60	1060	5,66%
23/03/2024	NCI-F-03	14130	A	85	1085	7,83%

Annexe G Glossaire

Analyse Pareto: L'analyse de Pareto est un outil utilisé pour identifier les facteurs les plus significatifs dans un ensemble de données, distinguant les éléments vitaux des éléments triviaux. Elle fonctionne selon le principe qu'un petit nombre de causes contribuent souvent à une grande partie de l'effet, communément connu sous le nom de règle des 80/20.

Diagramme Ishikawa (diagramme cause-effet): Cet outil simple est utilisé pour rechercher les causes d'un problème. Il identifie différentes sources de causes, les plus importantes étant classées selon les 5M: Machine, Méthode, Main-d'œuvre, Matière et Milieu.

DMAIC: Prononcée "də-MAY-ick," cette méthodologie axée sur les données pour l'amélioration globale des entreprises représente cinq étapes distinctes : Définir, Mesurer, Analyser, Améliorer et Contrôler.

ERP : Enterprise Resource Planning, C'est un type de logiciel que les entreprises utilisent pour gérer leurs opérations commerciales. Les systèmes ERP peuvent intégrer des fonctions telles que la planification, les achats de stocks, les ventes, le marketing, la finance et les ressources humaines.

Espace de nom unifié (unified namespace) : Un espace de noms unifié (UNS) englobe toutes les données essentielles pour comprendre et gérer vos opérations de business. Il est organisé avec une hiérarchie sémantique qui décrit les relations entre vos processus et fonctions métier. Un UNS intègre diverses technologies et sources de données, fournissant une vue complète et en temps réel de vos opérations commerciales (Marcy #).

La digitalisation : La digitalisation améliore les processus métiers en exploitant les données numérisées et les technologies numériques. Un exemple de digitalisation est le téléchargement de fichiers numériques dans le cloud, ce qui permet d'utiliser des données provenant de plusieurs endroits et d'utiliser des analyses pour prendre des décisions commerciales éclairées. La numérisation est une étape fondamentale vers la digitalisation.

La méthode QQQCCP : La méthode QQQCCP est un outil d'analyse et de résolution de problèmes utilisé pour comprendre une situation. Elle permet de structurer l'investigation. Les lettres de l'acronyme signifient : Quoi, Qui, Où, Quand, Comment, Combien, Pourquoi.

La numérisation : La numérisation consiste à transformer des éléments analogiques en objets numériques en changeant leurs attributs physiques. Un exemple de numérisation est le scan de documents papier pour les enregistrer sur un ordinateur ou la saisie de données sur un ordinateur pour les enregistrer sous forme de fichiers numériques, auparavant effectuée sur papier. La numérisation est l'un des aspects de la transformation numérique de base (Chakravorti #).

Le modèle Industrie 4.0 d'acatech : est un cadre conceptuel développé par l'Académie nationale des sciences et de l'ingénierie d'Allemagne (acatech) pour guider la transformation numérique de l'industrie manufacturière.

MES : Manufacturing Execution System. C'est un système technologique utilisé dans les secteurs manufacturiers pour superviser et enregistrer le processus depuis les matières premières jusqu'aux produits finis. MES offre des insights immédiats sur les opérations de production, incluant la gestion des ordres de travail, la planification de la production, le contrôle qualité, la gestion des stocks, et l'allocation efficace des ressources.

Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) : est un protocole de communication conçu pour permettre aux appareils et aux plateformes logicielles d'interagir entre eux.

PLC/HMI : Un PLC est un ordinateur numérique utilisé pour automatiser les processus industriels, comme le contrôle des machines sur les chaînes de montage en usine. Il est conçu pour gérer plusieurs configurations d'entrées et de sorties. HMI, abréviation de Interface Homme-Machine, désigne un dispositif ou un logiciel permettant l'interaction humaine avec des machines ou des systèmes.

SCADA : ou Supervisory Control and Data Acquisition, est une combinaison de matériel et de logiciel utilisée par les organisations industrielles pour gérer les processus à la fois sur site et à distance, ainsi que pour surveiller, collecter et analyser des données en temps réel.