

RAPPORT DE PROJET DE FIN D'ETUDES

Pour l'Obtention du

Diplôme de Master Sciences et Techniques
Spécialité : Génie Mécanique et Productique

Thème :

**Amélioration du Processus Production par les Méthodes
du Lean Manufacturing**

Présenté par :

SQUALLI HOUSSAINI Rokaya

Encadré par :

- Pr. JABRI Abdelouahhab (FST Fès) ; Département Génie Mécanique, FST Fès
- Mr. GMIH Abdessamad ; Encadrant de la société SOFAFER

Effectué à : SOFAFER Fès

Soutenu le : 16/07/2021

Devant le jury :

• Pr. JABRI Abdelouahhab	Faculté des Sciences et Techniques de Fès
• Pr. ABOUCHITA Jalil	Faculté des Sciences et Techniques de Fès
• Pr. BELATIK Mourad	Faculté des Sciences et Techniques de Fès
• Mr. GMIH Abdessamad	SOFAFER Fès

Année Universitaire : 2020-2021

Dédicaces

Je dédie ce travail :

À mes très chers parents,

Aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de vos sacrifices, de l'amour et de l'affection dont vous jamais cessé de m'entourer. J'espère que vous trouvez dans ce travail un vrai témoignage de mon profond amour et éternelle reconnaissance.

À ma sœur et mes frères,

Que ce travail soit pour vous un témoignage de mon attachement et de ma profonde affection.

À mon fiancé,

Pour ton soutien et tes encouragements mieux que personne d'autre.

À toutes mes amies

Pour les moments forts agréables que nous avons passés ensemble.

À mes professeurs et à tous ceux que j'aime et qui m'ont soutenu tout au long de mon cursus.

Remerciements

Je tiens en premier à exprimer mes profondes gratitude, mes fidèles reconnaissances, mes respects et mes remerciements les plus sincères à Monsieur **Abdessamad GMIH**, Responsable Production dans l'entreprise SOFAFER Fès, qui n'a pas cessé de me prodiguer ses conseils et ses recommandations ainsi que pour sa générosité en matière d'encadrement.

Je remercie tout particulièrement mon encadrant Professeur **Abdelouahhab JABRI** pour l'aide qu'il m'a fournie pendant la préparation de ce projet, pour ses avis toujours éclairés ainsi que son dynamisme et son ouverture d'esprit.

Je tiens également à remercier le Professeur **J. Abouchita** et le Professeur **M. Belatik**, qui ont accepté de juger mon travail.

Par la même occasion je tiens à exprimer ma gratitude à tout le corps professoral et administratif de la faculté des sciences et techniques de Fès en particulier le département Génie mécanique.

J'adresse également mes remerciements à tout le personnel du service production et du service maintenance de l'entreprise, pour leur disponibilité et leur coordination, pour m'avoir aidé et m'avoir consacré une très grande partie de leur temps afin de répondre à toutes mes questions tout au long de ma période de stage.

Résumé

Le présent travail s'inscrit dans la cadre d'un projet de fin d'études proposé par l'entreprise SOFAFER Fès et sous le parrainage du département Génie Mécanique de la Faculté des Sciences et Techniques de Fès. Le but de ce projet consiste à améliorer le processus production par les outils du Lean Manufacturing.

En effet pour atteindre nos objectifs, nous avons suivi une démarche Lean d'amélioration continue qui est la DMAIC. La démarche a débuté par une étude sur les machines à partir de leur taux de rendement synthétique, puis nous avons identifié les causes de la baisse de cet indicateur. Par la suite nous avons créé une cartographie VSM pour visualiser le flux de production dans le chantier pilote et identifier les gaspillages, et évalué le niveau des 5S pour l'organisation du milieu de travail.

Enfin pour achever notre travail nous avons proposé des solutions pour augmenter le TRS en proposant une fiche de maintenance préventive, aussi nous avons créé une VSM de l'état futur pour faciliter les flux de production.

Abstract

The present work is part of a graduation project proposed by the Company SOFAFER and under the patronage of the Department of Mechanical Engineering of the Faculty of Science and Technology of Fez; The purpose of this project is to improve the production process using Lean Manufacturing tools.

In fact, to achieve our objectives, we have followed a Lean approach for continuous improvement which is the DMAIC. The process began with a study of the machines based on their synthetic rate of return, then we identified the causes of the drop of this indicator. Then we created a VSM map to visualize the production flow in the pilot site to identify the wastes, and also assessed the level of the 5S for the organization of the workplace.

Finally, to complete our work, we proposed solutions to increase the TRS by suggesting a preventive maintenance sheet. Also, we created a future state VSM to facilitate the workflow.

Table des matières

Introduction générale :	10
CHAPITRE 1 : Contexte Général Du Projet	11
1. Présentation de l'organisme d'accueil :	12
1.1. Présentation générale de SOFAFER :	12
1.2. Fiche signalétique :	12
1.3. Organigramme de l'entreprise :	13
1.4. Départements et services :	15
2. La production :	16
2.1. Matière première :	16
2.2. Les machines de SOFAFER :	17
3. Flux d'information :	20
3.1. Logiciel informatique : 'SAGE'	21
3.2. Rôle du logiciel SAGE dans chaque service :	21
3.3. Planification et ordonnancement de la production :	22
CHAPITRE 2 : Définition et Cadre du Projet	23
1. Cadre du projet :	24
1.1. Maître d'ouvrage :	24
1.2. Maître d'œuvre :	24
1.3. Planning de travail :	24
1.4. Logigramme de travail :	25
2. Démarche employée : DMAIC :	25
3. Mise en place du Lean dans le processus production :	26
3.1. Historique du Lean Manufacturing :	26
3.2. Le Lean Manufacturing :	27
3.3. Kaizen :	27
4. Brainstorming :	27
5. Méthode QQQQCP :	28
6. Etude bibliographique :	29
CHAPITRE 3 : Mesure du TRS et Analyse	32
1. Diagramme spaghetti :	33
2. Taux de rendement synthétique :	35
2.1. Objectifs du TRS :	35
2.2. Calcul du TRS :	35
2.3. Classification des machines :	36
2.4. Analyse basée sur le critère de Disponibilité pour chaque machine :	37

Amélioration du Processus Production par les Méthodes du Lean Manufacturing

2.5.	Analyse basée sur le critère de Qualité pour chaque machine :	38
2.6.	Analyse basée sur le critère de Performance pour chaque machine :	39
2.7.	Résultat du TRS :	39
3.	Choix du chantier pilote : Machine profilé 5	40
4.	Analyse de la faiblesse du niveau du TRS remarquée sur la machine profilée 5 :	41
4.1.	Loi Pareto :	41
4.2.	Diagramme d'Ishikawa : 5M	42
4.3.	Les 7 gaspillages 'Muda' :	46
5.	VSM de l'état actuel :	48
5.1.	VSM : Value Stream Mapping :	48
5.2.	Symboles VSM utilisés :	49
5.3.	Cartographie actuelle :	50
CHAPITRE 4 : Amélioration et Contrôle		51
1.	Application de la méthode 5S au sein de la société :	52
1.1.	Evaluation du niveau des 5S dans la zone des machines « Profilé » :	52
1.2.	Liste des actions pour les 5S :	57
2.	Etude AMDEC :	58
2.1.	Analyse fonctionnelle : Diagramme Pieuvre	58
2.2.	Décomposition structurelle de la machine « profilé » :	60
2.3.	Etude Amdec des machines « Profilé » :	61
3.	Mise en place d'un plan de maintenance préventive :	65
4.	Cartographie VSM de l'état futur :	67
4.1.	Mise en place d'un système Kanban :	67
4.2.	Circulation des Kanbans :	67
4.3.	Elaboration d'une étiquette Kanban :	67
4.4.	VSM de l'état futur :	68
Conclusion et Perspectives :		69
Bibliographie		70
Annexes		71
Annexe 1 : Historique de l'indisponibilité des machines		71
Annexe 2 : Historique du Scrap des machines		71
Annexe 3 : Historique des types d'arrêt de la machine profilé 5		71
Annexe 4 : Processus de fabrication Sofafer		72

Liste des figures :

Figure 1: Fiche signalétique de l'entreprise	12
Figure 2: SOFAFER Fès.....	13
Figure 3: Organigramme Sofafer	14
Figure 4: Service logistique	15
Figure 5: Espace de production	16
Figure 6 : Matière première	16
Figure 7: Parc machine	17
Figure 8: Feuillard	17
Figure 9: Processus de refendage	18
Figure 10: Produits fabriqués par les machines tube	19
Figure 11: Produits fabriqués par les machines profilé	19
Figure 12: Machine presse.....	19
Figure 13: Flux d'information	20
Figure 14: Procédure Sage au sein de l'entreprise	21
Figure 15: Processus de planification et ordonnancement	22
Figure 16: Planning de travail sur le logiciel Microsoft office Project	24
Figure 17: Logigramme de travail	25
Figure 18: Démarche kaizen à petits pas	27
Figure 19: Brainstorming.....	28
Figure 20: Diagramme spaghetti du parc machine.....	34
Figure 21: Schéma de décomposition du temps d'ouverture	35
Figure 22: Graphe Pareto des machines et leurs temps d'arrêts.....	37
Figure 23: : Graphe Pareto des machines et leurs produits de non qualité.....	38
Figure 24: L'évolution du TRS durant la période d'octobre 2020 jusqu'à février 2021	39
Figure 25: Historique du TRS des machines (oct20-fév21)	40
Figure 26: Machine Profilé 5.....	40
Figure 28: Types d'arrêts de la machine profilé 5	41
Figure 29: Diagramme d'Ishikawa d'indisponibilité	43
Figure 30: Diagramme d'Ishikawa de la dégradation de performance	44
Figure 31: Diagramme d'Ishikawa des Scrap	45
Figure 32: Les 7 gaspillages de production	46
Figure 27: VSM de l'état actuel	50
Figure 33: Diagramme pieuvre	58
Figure 34: Décomposition de la machine profilé	58
Figure 35: Décomposition structurelle de la machine « profilé »	60
Figure 36: Etiquette kanban.....	68
Figure 37: VSM de l'état futur	68

Liste des tableaux :

Tableau 1: Démarche DMAIC.....	26
Tableau 2: QQQQCP.....	28
Tableau 3: Etude bibliographique.....	31
Tableau 4: Temps d'arrêt des machines.....	37
Tableau 5: Produits non conformes.....	38
Tableau 7: Types d'arrêts de la machine profilé 5.....	41
Tableau 8: Les gaspillages Muda.....	48
Tableau 6: Symboles du Kanban.....	50
Tableau 9: Notes des 5S.....	52
Tableau 10: Actions pour les 5S.....	57
Tableau 11: Fiche Amdec de la machine profilé 1/4.....	61
Tableau 12: Fiche Amdec de la machine profilé 2/4.....	62
Tableau 13: Fiche Amdec de la machine profilé 3/4.....	63
Tableau 14: Fiche Amdec de la machine profilé 4/4.....	64
Tableau 15: Fiche de maintenance préventive des machines « profilé ».....	66

Liste des acronymes :

GAL : galvanisé.

LAF : laminé à froid.

LAC : laminé à chaud.

PPO : prélaqué.

DMAIC : définir- mesurer- analyser- innover-c contrôler.

QQQQCP : Qui, Quoi, Où, Quand, Comment, Pourquoi.

TRS : taux de rendement synthétique.

VSM : value stream mapping.

AMDEC : Analyse des modes de défaillances leurs effets et leur criticité.

5S : Supprimer, Ordonner, Ranger, Standardiser, Suivre.

Introduction générale :

Le présent document est le fruit du travail qui s'inscrit dans le cadre du projet de fin d'études effectué au sein de l'entreprise SOFAFER Fès, en vue d'obtenir le master de la Faculté des Sciences et Techniques Fès.

Notre formation à la faculté des sciences et techniques nous offre l'opportunité d'effectuer un stage technique, d'une durée de quatre mois. Une occasion de nous immerger dans le monde de l'entreprise. J'ai donc choisi de réaliser cette expérience à SOFAFER, dans le service production. Cette entreprise qui poursuit son développement dans le secteur métallurgique qui produit et commercialise des produits métallurgiques. L'entreprise dispose d'un service technique très développé, dont dépend le bon fonctionnement de l'établissement.

Ce projet de fin d'études s'insère dans une politique d'amélioration du processus production. En effet, la production dans l'entreprise ne respecte pas les délais de livraison, et cela est dû à plusieurs facteurs qui seront détaillés par des outils et méthodes du Lean Manufacturing, en suivant une démarche DMAIC d'amélioration continue.

Le premier outil Lean que nous allons utiliser est le diagramme Spaghetti pour visualiser les flux de l'entreprise, ensuite nous allons déployer un autre outil qui est la VSM qui permet d'analyser les flux de production sur le poste goulot. Le diagramme Ishikawa est aussi un outil Lean exploité pour déterminer les causes du choix du chantier pilote, et pour une organisation dans cette zone nous appliquerons l'outil Lean 5S.

Nous présentons le travail que nous avons accompli en 4 chapitres :

Le premier chapitre présente une description générale de l'entreprise au sein de laquelle le projet de fin d'études s'est déroulé, le contexte général du projet, ainsi que les étapes du processus de production.

Le second chapitre sera consacré à la présentation du cadre du projet, et à la première étape du DMAIC qui est la définition du problème, où seront détaillées les données nécessaires pour le lancement du projet.

Le troisième chapitre aura pour objet la mesure du problème, par le taux de rendement synthétique des machines et la cartographie des flux de production, et son analyse pour la détection causes profondes du problème et gaspillages.

Le dernier chapitre regroupe les deux dernières phases du DMAIC, l'amélioration et le contrôle, ce chapitre sera dédié à la mise en place des actions 5S pour l'organisation, une fiche de maintenance préventive basée sur une étude AMDEC, et une VSM de l'état futur dans le but d'améliorer le TRS.

Enfin, la conclusion présente un récapitulatif des résultats et des perspectives du projet.

CHAPITRE 1 : Contexte Général Du Projet

1. Présentation de l'organisme d'accueil :

1.1. Présentation générale de SOFAFER :

SOFAFER (Société Fassie De Fer) créé en 1996 par M. SLAOUI Abderrazzak en tant qu'entreprise commerciale d'importation et distribution de dérivés d'aciers plats, avant de s'orienter ensuite vers la production des profilés, de la tôle et des tubes en acier. La matière première (bobine) provient de plusieurs fournisseurs nationaux et internationaux (Turquie, Egypte, Espagne...), elle est stockée avant de procéder à la fabrication.

1.2. Fiche signalétique :

Société Fassi de Fer : SOFAFER S.A.R.L.

Nom de l'entreprise : SOFAFER
Date de création : 1996
Production : 40.000 Tonnes/an
Produits : Produits à base d'acier :
- Bobines
- Feuillards
- Panneaux Sandwich
- Profilés en acier
- Tôles
- Tubes minces
- Panne Z, C et Σ
- Plancher collaborant : « TOLADALA »
- lames de rideaux
Effectif : 124+
Président Directeur Général : Monsieur Slaoui Abderrazak
Surface : 10.000 m^2 à Fès
Capital social : 45 millions de dirhams
Chiffre d'affaires : 382 millions de dirhams
Adresse : Q.I. Sidi Brahim, Avenue Ibn Haitam, rue Ibn Baja, B.P 5789 - Fès
Tél : +212 5 35 96 00 91
Fax : +212 5 35 96 00 71
E-mail : contact@sofafer.ma
Site web: www.sofafer.ma

Figure 1: Fiche signalétique de l'entreprise



Figure 2: SOFAFER Fès

1.3. Organigramme de l'entreprise :

Cet organigramme représente les liens hiérarchiques, organisationnels et fonctionnels entre les différents métiers de l'entreprise, ainsi que la répartition des tâches.

Amélioration du Processus Production par les Méthodes du Lean Manufacturing

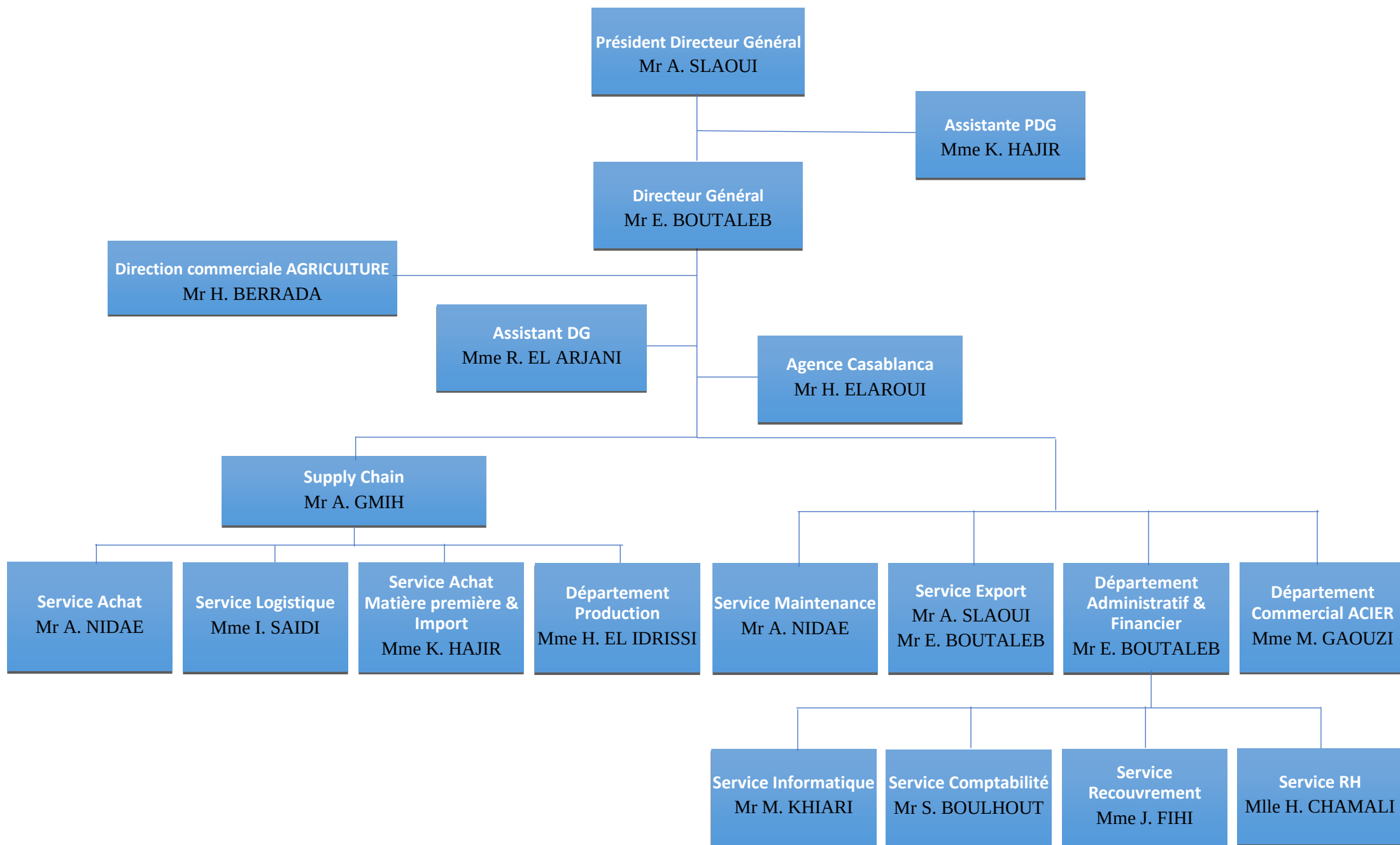


Figure 3: Organigramme Sofafer

1.4. Départements et services :

La société SOFAFER se compose de plusieurs services et départements assurant une conjonction des efforts en vue d'un objectif commun :

- Service commercial : Pour une meilleure relation avec les clients, Sofafer emploie une équipe capable qui présente les produits aux clients, facilite les achats, établit les devis, les prospections commerciales et les suivis des commandes, elle est responsable des produits classiques, ainsi celles de l'agriculture qui sont les plus rentables de l'entreprise.
- Service RH : Le service ressources humaines a pour tâche principale le recrutement du personnel de l'entreprise, il est aussi responsable de la formation en entreprise et de l'évolution des membres du personnel.
- Service comptabilité : Ce service s'occupe des gestions des flux financiers, bilans, banques, ainsi que la saisie des factures des clients. Il se compose de quatre postes : Chef comptable, responsable client, responsable fournisseur, et responsable trésorerie.
- Service logistique : Responsable de la gestion des stocks, et transport vers les distributeurs et vers les clients grâce à son parc de camions.



Figure 4: Service logistique

- Service maintenance : Il est responsable du bon fonctionnement des équipements de la production dans les domaines de la mécanique, de l'électricité, et des automatismes.
- Département production : Ce département s'occupe de l'ensemble des activités qui participent à la conception, la planification des ressources matérielles et

humaines, leurs ordonnancement, l'enregistrement, la traçabilité et le contrôle des activités de production au sein de l'entreprise.

2. La production :



Figure 5: Espace de production

2.1. Matière première :

La matière première de l'entreprise sont les bobines :

- Types des bobines : LAC - LAF - GAL - PPO.
- Epaisseur : de 0.2 à 3 mm.
- Largeur : 1000 mm - 1250 mm – 1500 mm.

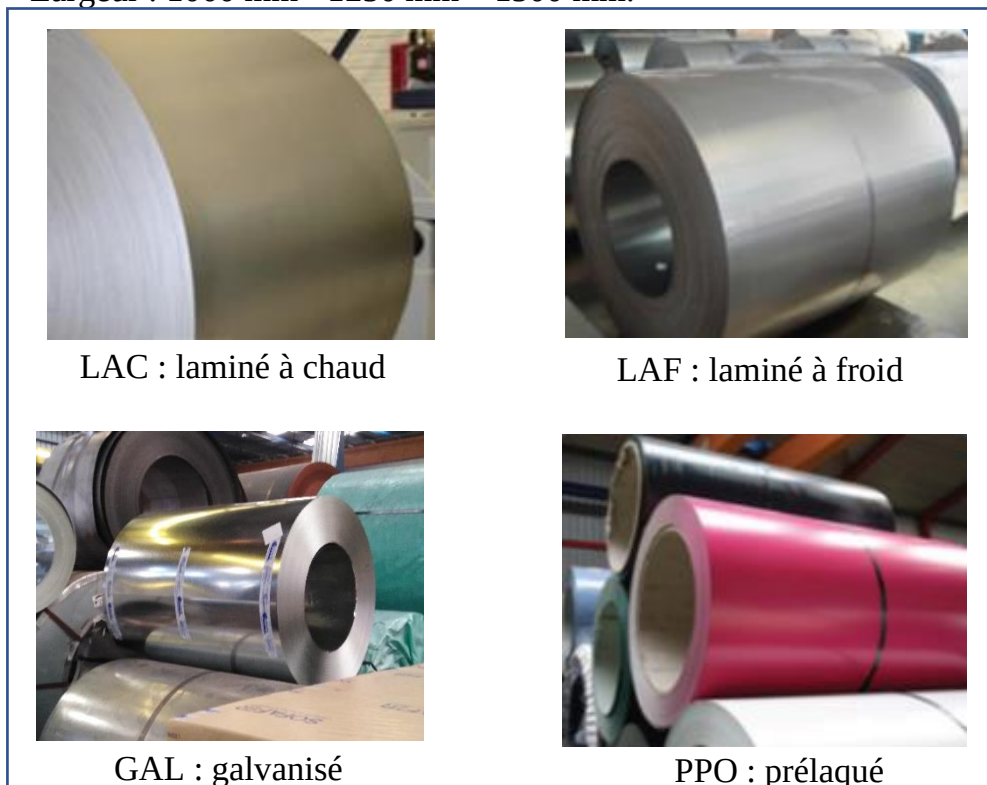


Figure 6 : Matière première

2.2. Les machines de SOFAFER :

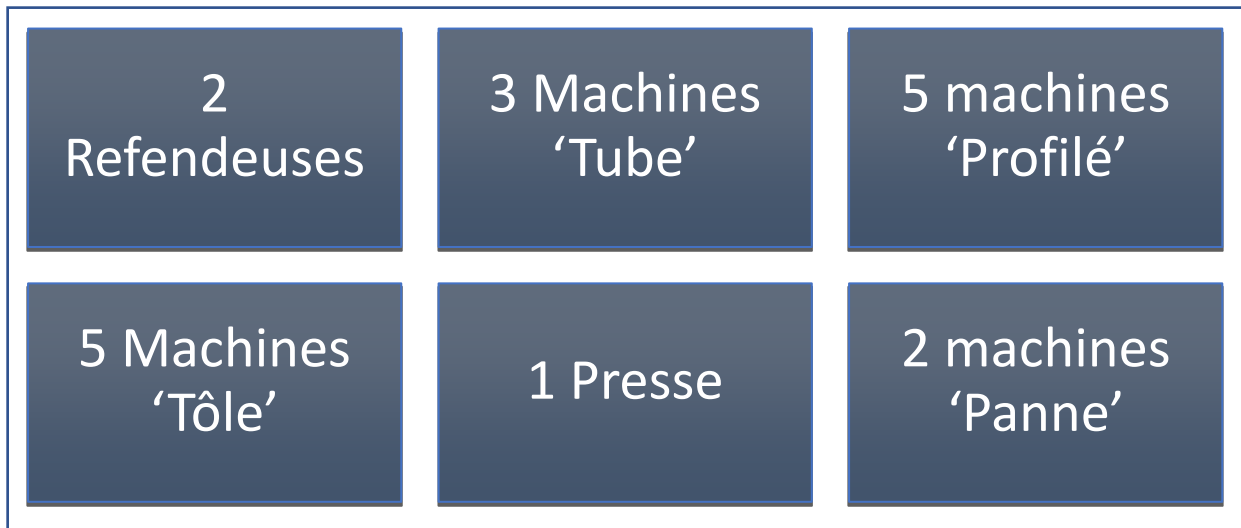


Figure 7: Parc machine

Refendeuse :

La refendeuse permet de couper les bobines originales en des bobines plus petites de largeur appelées 'feuillards'.



Figure 8: Feuillard

Le processus de fabrication passe par trois opérations :

- Déroulement de la bobine à refendre.
- Refendage de la bobine par coupe dans le sens de la longueur.
- Enroulement des feuillards produits.

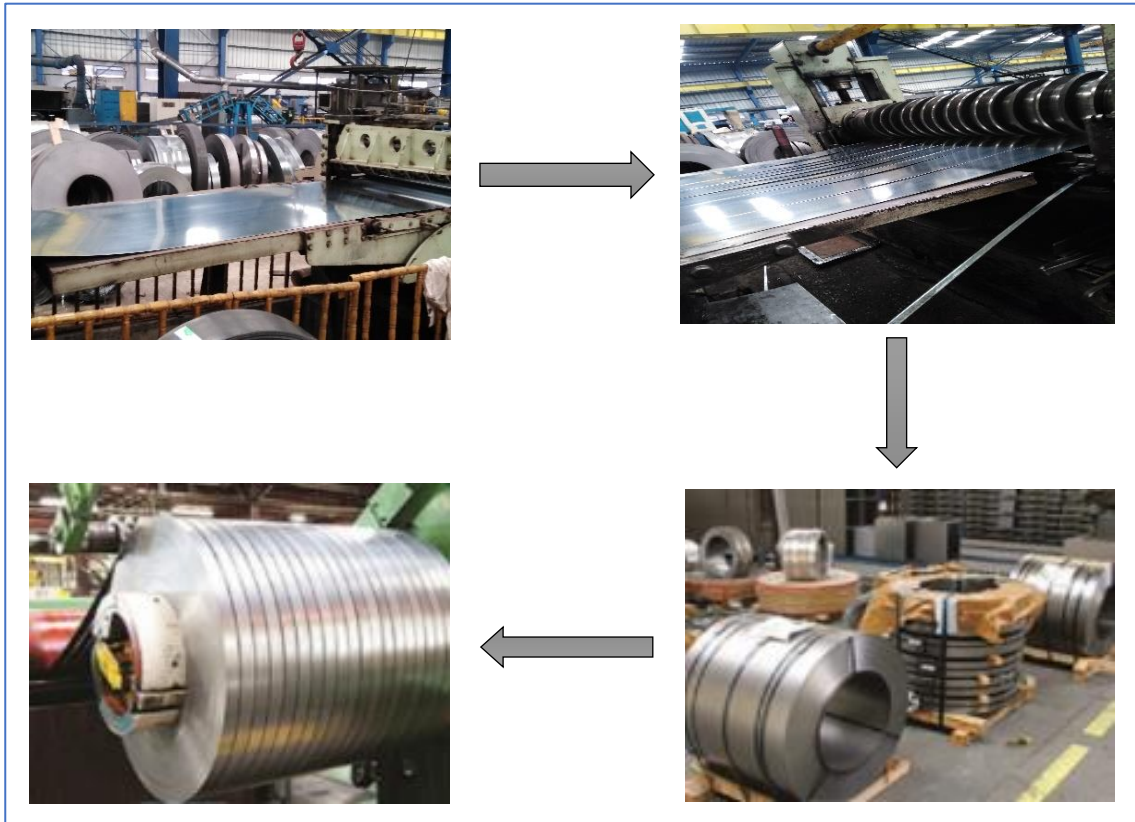


Figure 9: Processus de refendage

Machine Tôle :

La tôle est une feuille de métal obtenue par laminage. On distingue les tôles fines (< 3mm) et les tôles fortes (> 3mm) suivant leur épaisseur.

Il existe quatre types de machines de tôles :

- Machines pour tôle ondulée.
- Machine pour tôle ridelle.
- Machine pour tôle plane.
- Machine pour tôle NERVESCO.

Machine Tube :

Un tube en acier est le résultat d'un procédé industriel, permettant l'obtention d'un objet creux toujours plus long que plus large, sous différentes formes, selon des caractéristiques définies à la base.

Un tube est distingué par :

- Sa forme : Il peut être rond, carré, rectangulaire, méplat, décoré.
- Sa nuance : Galvanisée ou noire.

- Ses dimensions et son épaisseur.

Les produits fabriqués par cette machine sont :



Figure 10: Produits fabriqués par les machines tube

Machines des profilés :

Ces machines servent à profiler les feuillards à froid afin de réaliser plusieurs types de profilés. La forme du profilé à réaliser est obtenue par le pliage d'un feuillard qui passe par une ligne de profilage. Les plis sont obtenus d'une manière progressive et régulière. Et ceci avec un angle de déformation de la tôle à chaque opération de la ligne de profilage.



Figure 11: Produits fabriqués par les machines profilé

Presse :

Le parc machine dispose d'une unique presse réalisant des trous par perçage, permettant la fabrication des lames et de feuillards perforés.



Figure 12: Machine presse

3. Flux d'information :

Le processus de production fait intervenir plusieurs composants, il s'agit de transformer des ressources humaines, matérielles et financières en des produits finis.

Cela comporte alors plusieurs étapes :

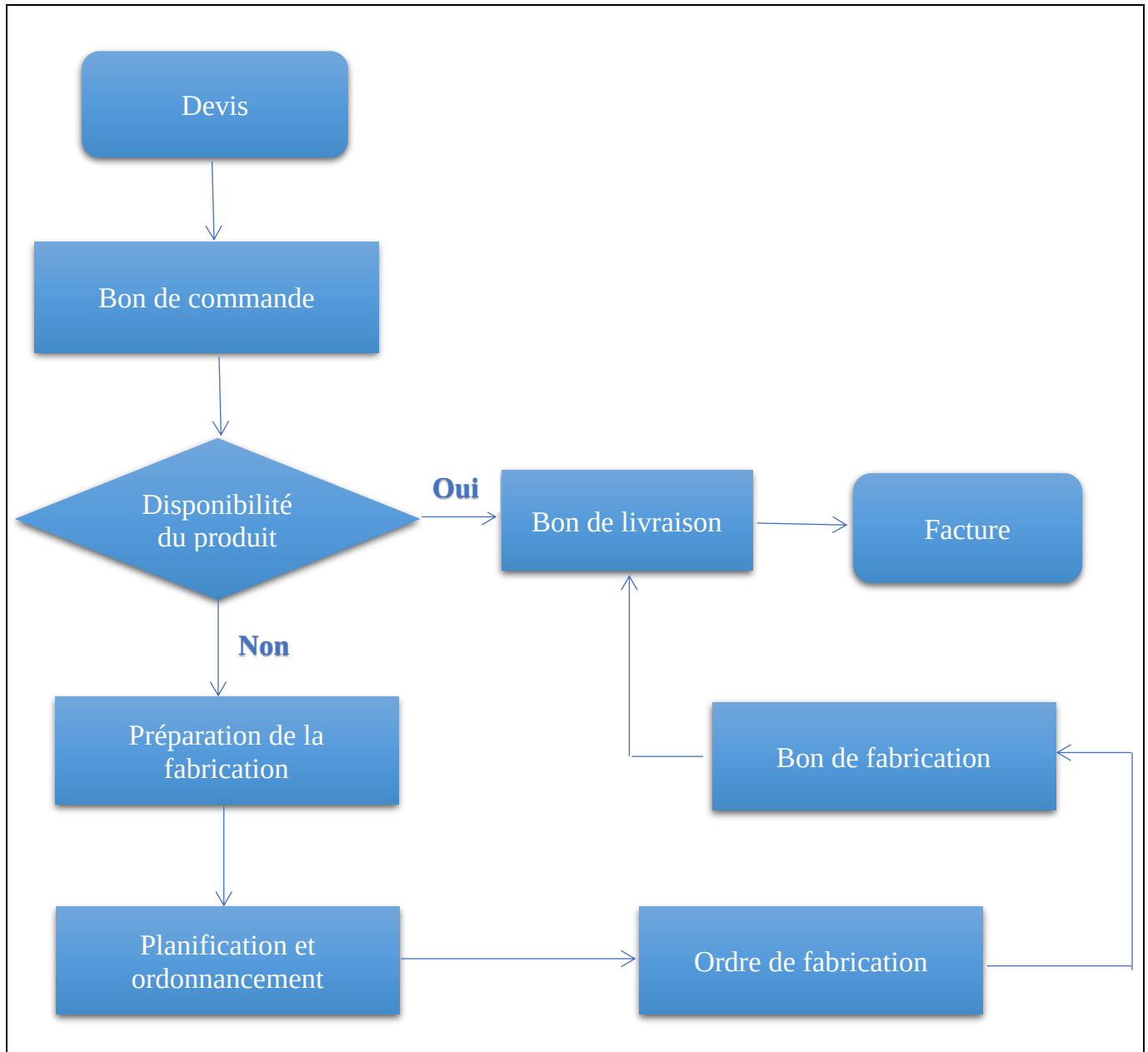


Figure 13: Flux d'information

3.1. Logiciel informatique : 'SAGE'



L'entreprise SOFAFER dispose d'un logiciel de gestion de production assistée par ordinateur, il apporte plusieurs solutions et il permet efficacement d'élaborer un tableau de bord offrant de nombreuses fonctionnalités. De plus, SAGE 100 C facilite la communication entre les services, chaque service a un accès limité au logiciel en fonction de ses tâches à effectuer.

3.2. Rôle du logiciel SAGE dans chaque service :

Tous les services de l'entreprise SOFAFER utilisent le logiciel SAGE selon leurs fonctions. La figure ci-dessous représente la procédure du logiciel pour chaque service après une demande client.

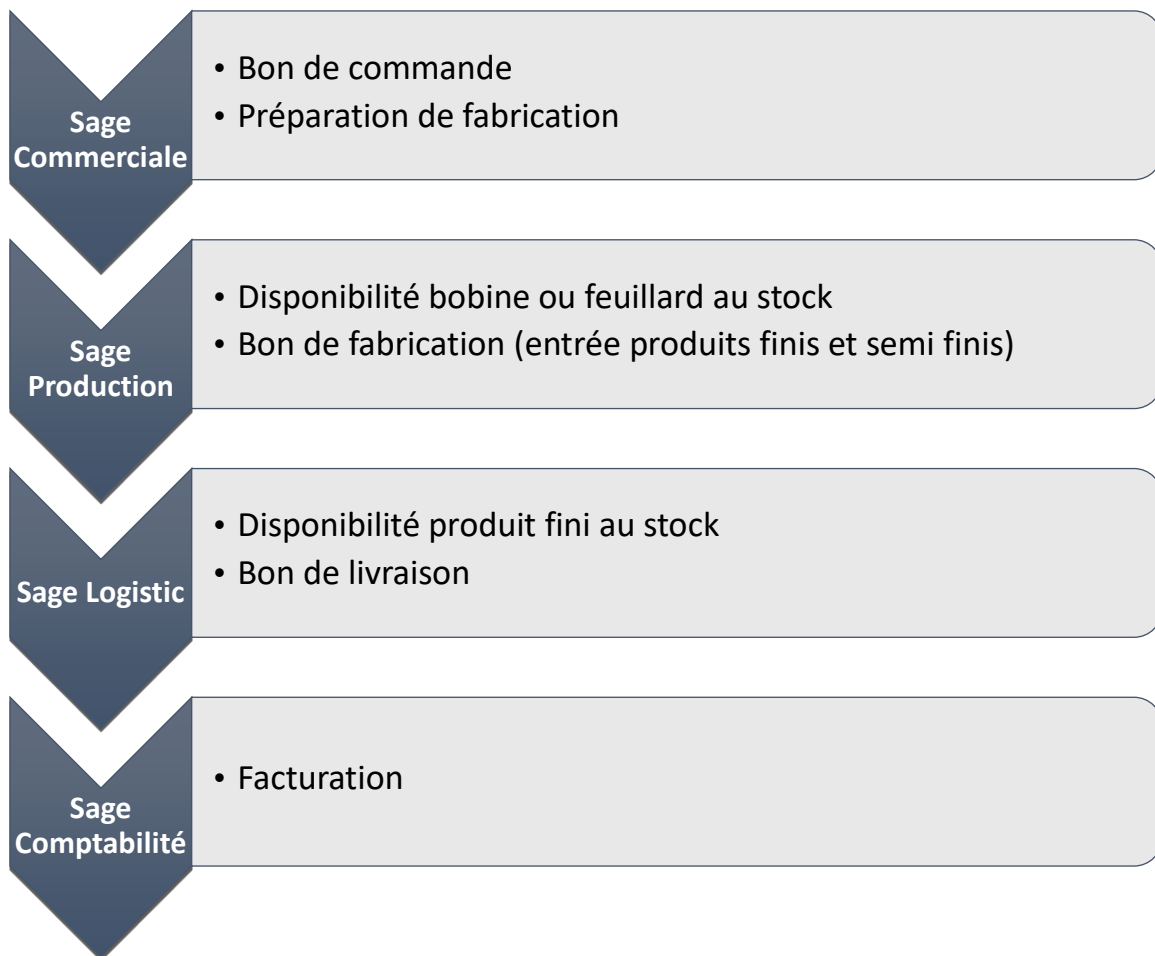


Figure 14: Procédure Sage au sein de l'entreprise

3.3. Planification et ordonnancement de la production :

La figure ci-dessous représente les étapes que suit l'entreprise pour la planification et l'organisation de ses activités de production permettant la réalisation d'un produit conforme.

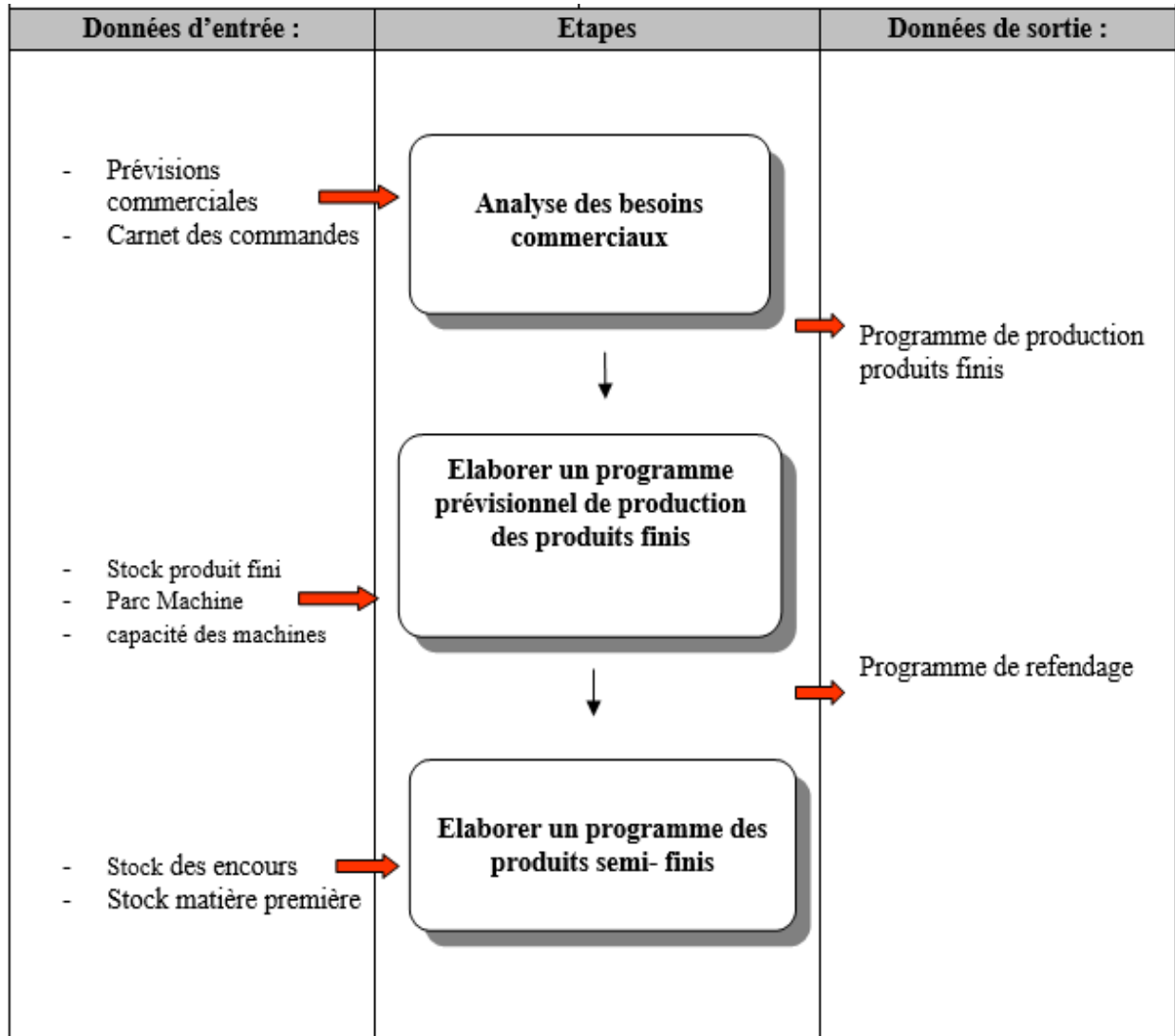


Figure 15: Processus de planification et ordonnancement

CHAPITRE 2 : Définition et Cadre du Projet

1. Cadre du projet :

1.1. Maître d'ouvrage :

Le maître d'ouvrage est la société SOFAFER qui est une société spécialisée depuis plus de 25 ans dans la production et commercialisation des produits métallurgiques, représenté par :

- Mr. GMIH Abdessamad ; Responsable production et encadrant professionnel.

1.2. Maître d'œuvre :

La faculté des sciences et techniques de Fès, filière génie mécanique et productique, représenté par :

- Mlle. SQUALLI HOUSSAINI Rokaya, Étudiante en master sciences et techniques, avec le suivi et l'encadrement de :
- Mr. JABRI Abdelouahhab ; Professeur et encadrant pédagogique.

1.3. Planning de travail :

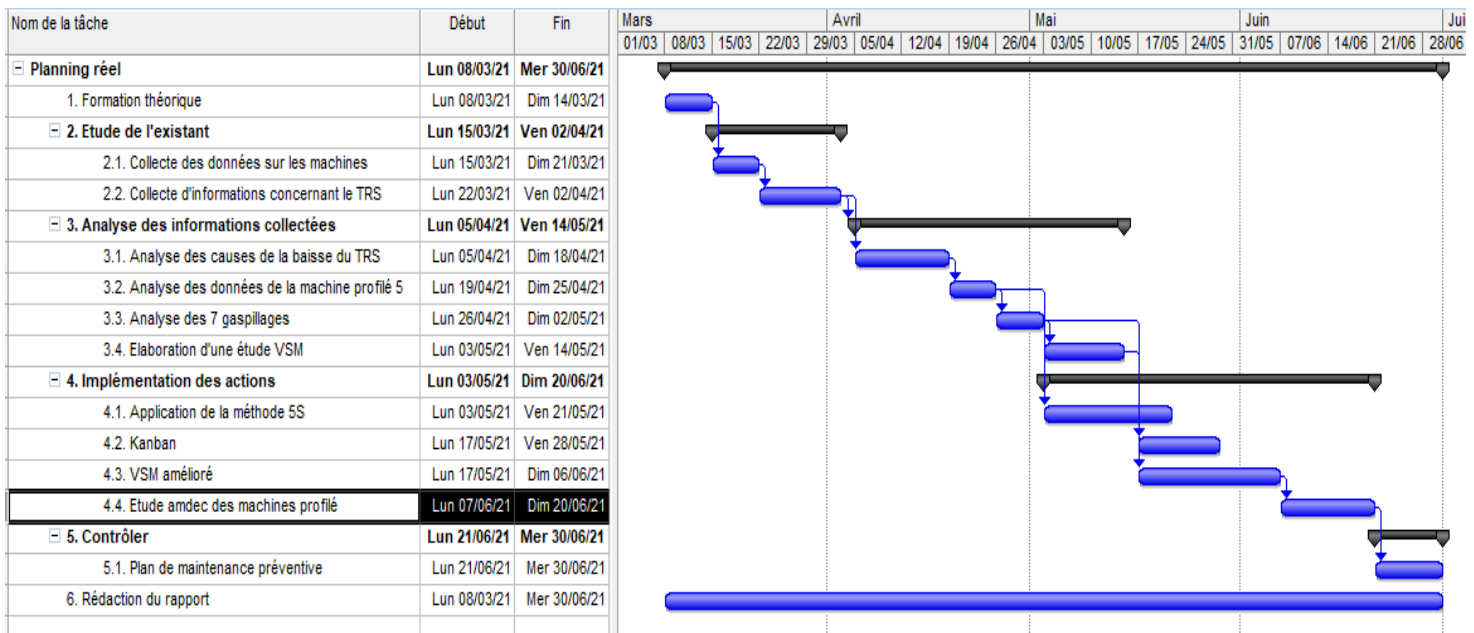


Figure 16: Planning de travail sur le logiciel Microsoft office Project

1.4. Logigramme de travail :

Ce logigramme représente les outils du Lean manufacturing utilisés pour la résolution du problème.

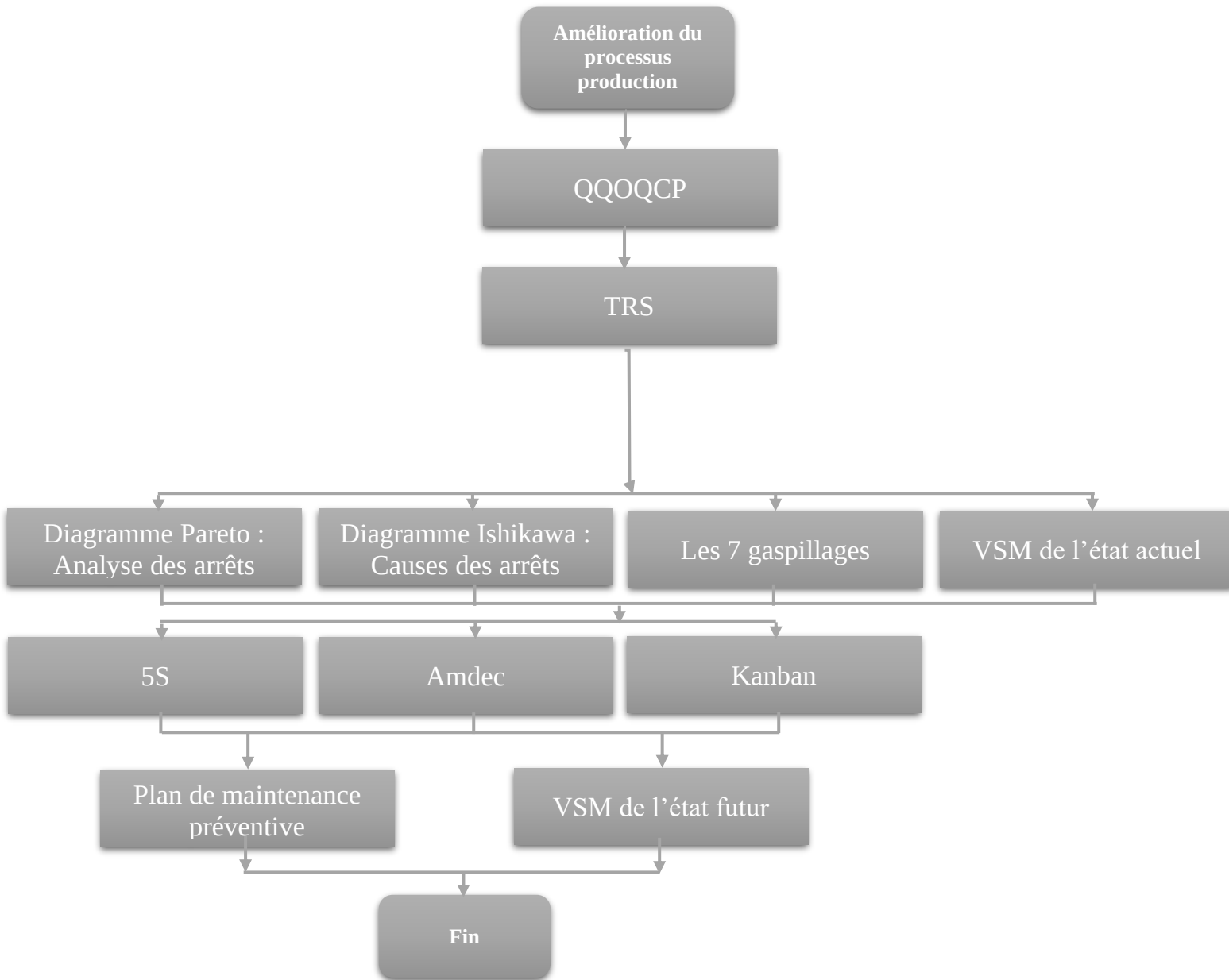


Figure 17: Logigramme de travail

2. Démarche employée : DMAIC :

Le DMAIC est un outil efficace qui permet de réaliser les objectifs du Lean Six Sigma. Il s'agit d'une méthode de résolution de problème à cinq phases -Définir, mesurer, analyser, innover/améliorer, contrôler- qui vise à améliorer les processus,

Améliorer les conditions de travail, protéger l'environnement et accroître la satisfaction des clients.

Etapes	Actions principales	Outils
<u>Définir</u>	Définir le problème	QOQOQCP
<u>Mesurer</u>	Evaluer les performances	TRS VSM Spaghetti
<u>Analyser</u>	Utiliser les données pour détecter les causes profondes du problème	Diagramme Pareto, Diagramme d'Ishikawa Les 7 gaspillages.
<u>Innover/améliorer</u>	Agir en apportant des améliorations	AMDEC Kanban 5S
<u>Contrôler</u>	Etablir une mesure pour le contrôle	Plan de maintenance préventive VSM futur

Tableau 1: Démarche DMAIC

3. Mise en place du Lean dans le processus production :

La méthodologie Lean adopte le concept de gestion de la production du système Toyota, dont les trois principes sont <le Juste à temps, le Jidoka et le Kaizen>.

Le Lean dans notre projet apparaît à travers l'ensemble d'outils qui aide à l'identification et à l'élimination des gaspillages 'muda', à la réduction des temps d'attentes et à l'amélioration des flux de production.

3.1. *Historique du Lean Manufacturing :*

Après la deuxième guerre mondiale, les industriels japonais ont été confrontés à de vastes pénuries matérielles, financières et humaines. Ces conditions ont mené les leaders industriels japonais à l'époque tels que Toyoda, Shigeo, Shingo et Taiichi Ohno, d'aboutir à la naissance d'un nouveau concept, connu aujourd'hui sous le nom de « Toyota Production System » ou « Lean Manufacturing ». Le système se concentre

à l'optimisation de tous les processus de l'entreprise, au repérage des principaux sources de gaspillages, et la mise en place d'une organisation souple et efficace.

3.2. *Le Lean Manufacturing :*

Le terme Lean manufacturing fait référence à l'application de pratiques et outils Lean au développement et à la fabrication de produits physiques. On utilise les principes de fabrication Lean pour éliminer les déchets, optimiser les processus et réduire les coûts et les délais de mise sur le marché.

3.3. *Kaizen :*

Kaizen est un concept d'amélioration d'un processus par une série de petites étapes continues. Souvent, ces améliorations sont petites, mais leur effet cumulé aide à la résolution des problèmes et est très important. Le kaizen a évolué pour signifier 'amélioration'. Dans ce projet, le kaizen a été utilisé pour les raisons suivantes :

- Petits pas
- Faibles investissements
- Aucun risque
- Implication des personnes
- Court terme.

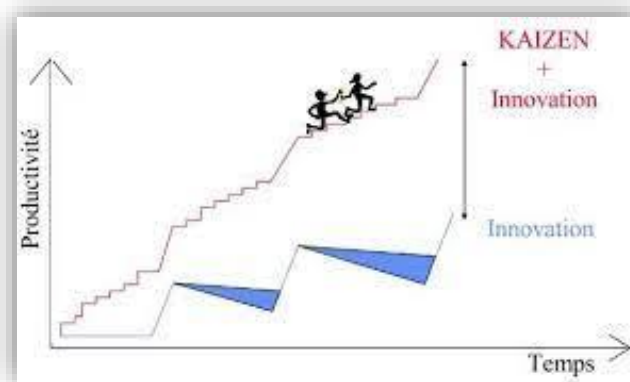


Figure 18: Démarche kaizen à petits pas

4. **Brainstorming :**

Cette première étape de travail effectuée en coopération avec le professeur encadrant et l'encadrant de la société, pour trier et rassembler toutes les idées concernant le projet sélectionné et ses objectifs.



Figure 19: Brainstorming

5. Méthode QQQQCP :

La méthode QQQQCP (quoi ? qui ? où ? quand ? combien ? pourquoi ?) permet d'analyser la situation en sa globalité. De plus il s'agit d'une approche constructive basée sur un questionnement systématique afin de décomposer le problème sous tous ses aspects et ouvrir les possibilités de solutions.

Qui ? Qui est concerné par le problème ?	Direct : Service production au sein de l'entreprise SOFAFER. Indirect : Les clients.
Quoi ? C'est quoi le problème ?	Amélioration du processus de production.
Où ? Où apparaît le problème ?	Service production.
Quand ? Quand apparaît le problème ?	Lors de la production.
Comment ? Comment apparaît le problème ?	- Arrêts. - Pertes de qualité. - Désordre. - Détérioration du matériel. - Date de livraison non respectée.
Pourquoi ? Pourquoi résoudre le problème ?	- Faciliter le flux de production. - Prendre des décisions et mettre en place des plans d'actions. - Augmentation des profits. - Satisfaire les besoins des clients.

Tableau 2: QQQQCP

6. Etude bibliographique :

Cette étude est une présentation résumée de plusieurs projets de fin d'études effectué dans l'entreprise Sofafer, afin de rassembler le maximum d'informations et acquérir de nouvelles connaissances concernant les améliorations déjà réalisées.

	Sujet : Application de la méthode SMED sur la machine tube.	Année : 2015	Filière : CAM FST
Chapitre 1	Présentation de l'entreprise SOFAFER		
Chapitre 2	Analyse des machines		
Chapitre 3	Définition et application de la méthode SMED		
	Sujet : Réorganisation du service maintenance de SOFAFER.	Année : 2015	Filière : GMPr FST
Chapitre 1	Contexte général du projet		
Chapitre 2	Audit maintenance et plan d'amélioration		
Chapitre 3	Organisation et gestion des pièces de rechange		
Chapitre 4	Etude de l'historique		
Chapitre 5	Initiation à la mise en œuvre de la TPM		
	Sujet : Méthodes d'amélioration de la productivité de la machine de fabrication des tubes d'aciers.	Année : 2017	Filière : CAM FST
Chapitre 1	Présentation de la société		
Chapitre 2	Présentation du procédé de fabrication des tubes		
Chapitre 3	Etat des lieux et étude historique		
Chapitre 4	Plan d'amélioration de la productivité de la ligne du profilage des tubes		
	Sujet : Diminution de temps de changement de série par l'application de la méthode SMED.	Année : 2017	Filière : CAM FST
Chapitre 1	Présentation de la société SOFAFER		
Chapitre 2	Analyse des machines		
Chapitre 3	Application de la méthode SMED		
Chapitre 4	Mise en place des 5S		

Amélioration du Processus Production par les Méthodes du Lean Manufacturing

	Sujet : Mise en conformité du processus maintenance par rapport à la norme ISO 9001 version 2015.	Année : 2018	Filière : GI FST
Chapitre 1	Présentation de l'entreprise et cadrage du projet		
Chapitre 2	Analyse du processus maintenance en relation avec la norme ISO 9001 version 2015		
Chapitre 3	Assurer la conformité du processus maintenance		
	Sujet : Elaboration d'un plan de maintenance préventive de la machine tube.	Année : 2019	Filière : génie mécanique ENSA Agadir
Chapitre 1	Présentation de l'organisme d'accueil		
Chapitre 2	Diagnostic de l'état actuel		
Chapitre 3	Elaboration d'un plan de maintenance préventive		
	Sujet : Amélioration de la performance du service maintenance de SOFAFER.	Année : 2019	Filière : Génie industrielle et maintenance EST Fès
Chapitre 1	Contexte général du projet		
Chapitre 2	Présentation du service maintenance		
Chapitre 3	Organisation et gestion du magasin et pièces de rechanges		
Chapitre 4	Etude de l'historique		
	Sujet : Etude du temps d'arrêt des machines et application de la méthode SMED sur la machine tube.	Année : 2019	Filière : Automatique et informatique industrielle ENSEM
Chapitre 1	Présentation de SOFAFER		
Chapitre 2	Etude des temps d'arrêt des machines et application de la méthode SMED		
	Sujet : Application de la méthode SMED sur la machine tube.	Année : --	Filière : ENSAM Casablanca
Chapitre 1	Contexte général du projet		
Chapitre 2	Analyse des machines		
Chapitre 3	Mise en place de la méthode SMED		

Amélioration du Processus Production par les Méthodes du Lean Manufacturing

	Sujet : Mise en œuvre de la méthode SMED en changement de séries.	Année : --	Filière : ENSA Fès
Chapitre 1	Présentation générale de l'entreprise		
Chapitre 2	Au sein de l'atelier production		
Chapitre 3	Mise en place de la méthode SMED		

Tableau 3: Etude bibliographique

CHAPITRE 3 : Mesure du TRS et Analyse

1. Diagramme spaghetti :

Le diagramme spaghetti est un outil Lean puissant pour l'évaluation et l'amélioration des processus, il permet de visualiser les flux possibles à travers un système afin d'évaluer le gaspillage de transport de la matière première, des produits semi-finis et des produits finis et des mouvements inutiles des opérateurs, et son effet sur la disponibilité des machines.

Le diagramme réalisé montre la complexité des flux causé par :

- La mauvaise organisation du stock.
- La mauvaise implantation de la machine presse.

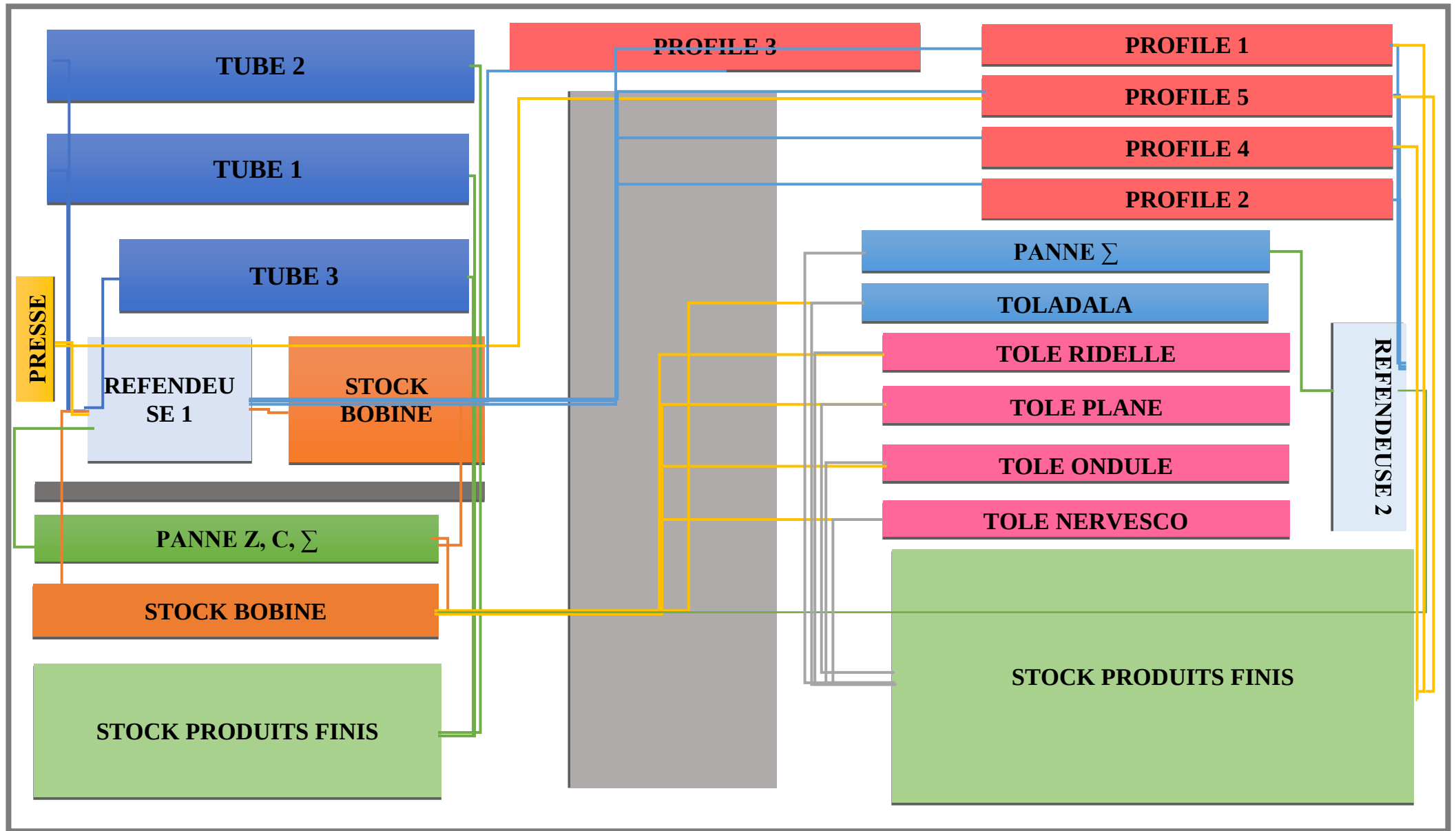


Figure 20: Diagramme spaghetti du parc machine

2. Taux de rendement synthétique :

« Taux de rendement synthétique ou OEE (Overall Equipment Effectiveness) : Indicateur de performance et de productivité des moyens correspondant au rapport entre le temps utile et le temps requis » **NF E 60 - 182**.

Le TRS est le principal indicateur pour mesurer l'efficacité de la production, il peut être utilisé pour l'évaluation d'une chaîne de valeur ou des performances d'une machine. Un bon TRS est l'un des précurseurs clés de la mise en œuvre du Lean, et est le produit de trois paramètres opérationnels importants, qui sont :

- Disponibilité de l'équipement
- Rendement de qualité
- Performances en temps de cycle.

2.1. Objectifs du TRS :

Les objectifs du calcul du TRS sont multiples :

- Mesurer une performance pour faciliter le pilotage de l'entreprise.
- Suivre la performance de la production, et analyser les causes de sous performance.
- Prendre des décisions et mettre en place des plans d'actions.

Réduction des temps d'arrêts, pertes, rebuts et non conformités qui peuvent coûter très cher.

2.2. Calcul du TRS :

Le taux de rendement synthétique est le produit du taux de disponibilité, taux de performance et le taux de qualité.

$$\text{TRS} = T_D * T_P * T_Q \quad (1)$$

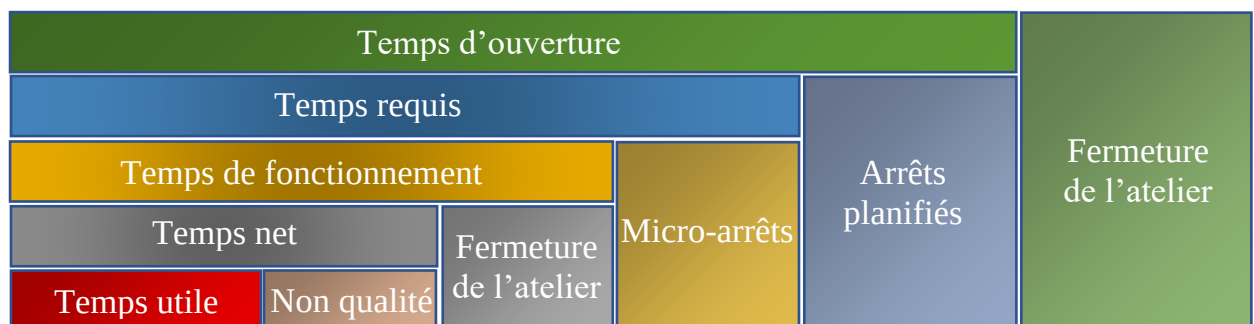


Figure 21: Schéma de décomposition du temps d'ouverture

Le taux de disponibilité : C'est le taux de marche calendaire, il caractérise le temps de bon fonctionnement des machines, en prenant en compte les taux de panne, et le temps de changement d'outil.

$$T_D = \frac{\text{Temps brut de fonctionnement}}{\text{Temps requis}} \quad (2)$$

Le taux de performance : C'est le taux de marche performante, il exprime le rendement des machines pendant leurs fonctionnements, avec l'impact des ralentissements et des micros arrêts.

$$T_P = \frac{\text{Temps net de fonctionnement}}{\text{Temps brut de fonctionnement}} \quad (3)$$

Le taux de qualité : C'est le taux de produits valables, il exprime la qualité obtenue tout au long de la chaîne de production en considérant les pertes de démarrage et les Rebuts.

$$T_Q = \frac{\text{Temps utile}}{\text{Temps net de fonctionnement}} \quad (4)$$

2.3. Classification des machines :

L'étude commence ici par un classement des machines de l'entreprise Sofafer, permettant ainsi de prioriser celles qui ont besoin de soins particuliers.

Pour y arriver plusieurs critères ont été adopté, la disponibilité, la performance et la qualité.

2.4. Analyse basée sur le critère de Disponibilité pour chaque machine :

Etiquette de ligne	Oct-20	Nov-20	Déc-20	Janv-21	Févr-21	Total	Cumul	Cumul%
Profilé 5	5115	4776	6101	5560	5809	27361	27361	19,51%
Profilé 2	3667	2076	4859	4323	3082	18007	45368	32,35%
Tube 3	3242	3689	3780	3529	2645	16885	62253	44,39%
Refendeuse	4061	3137	2354	3434	3472	16458	78711	56,13%
Profilé 1	1617	2056	4236	3573	3587	15069	93780	66,87%
Profilé 3	2489	2678	3293	1468	4798	14726	108506	77,37%
Tube 1	1784	2070	3985	2466	1838	12143	120649	86,03%
Profilé 4	2930	2102	1821	1192	2257	10302	130951	93,38%
Tube 2	2351	2043	1533	1043	2319	9289	140240	100,00%

Tableau 4: Temps d'arrêt des machines

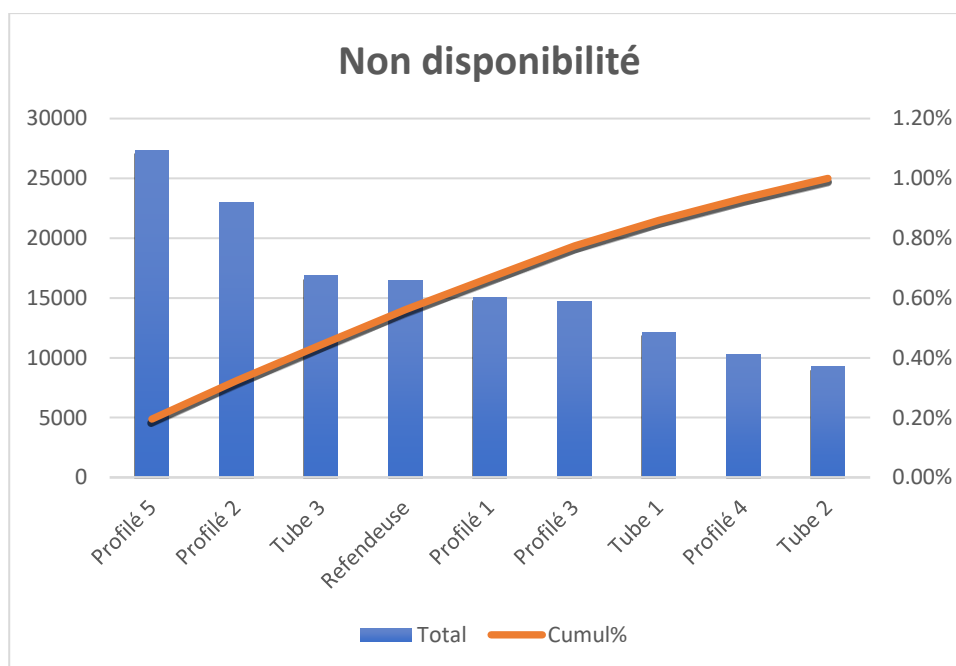


Figure 22: Graphe Pareto des machines et leurs temps d'arrêts

Le graphe de la **Figure 22** oriente vers l'amélioration de la disponibilité : ici on constate que la machine Profilé 5 et la machine Profilé 2 sont ceux sur lesquelles il faudra agir prioritairement.

2.5. Analyse basée sur le critère de Qualité pour chaque machine :

Étiquettes de lignes	Oct-20	Nov-20	Déc-20	Janv-21	Févr-21	Total	Cumul	Cumul %
Profilé 5	38598	39504	50000	27908	23154	179164	179164	41,84%
Profilé 4	15714	13006	15404	21015	19499	84638	263802	61,61%
Refendeuse	7664	6070	9494	5985	20764	49977	313779	73,28%
Tube 3	6154	7858	8654	8519	7928	39113	352892	82,41%
Profilé 1	5106	6345	4896	3546	7030	26923	379815	88,70%
Tube 2	1196	1302	3888	3548	3306	13240	393055	91,79%
Profilé 2	1065	1273	3596	3302	3183	12419	405474	94,69%
Profilé 3	985	1230	3309	3194	2934	11652	417126	97,42%
Tube 1	972	1193	3103	3066	2732	11066	428192	100,00%

Tableau 5: Produits non conformes

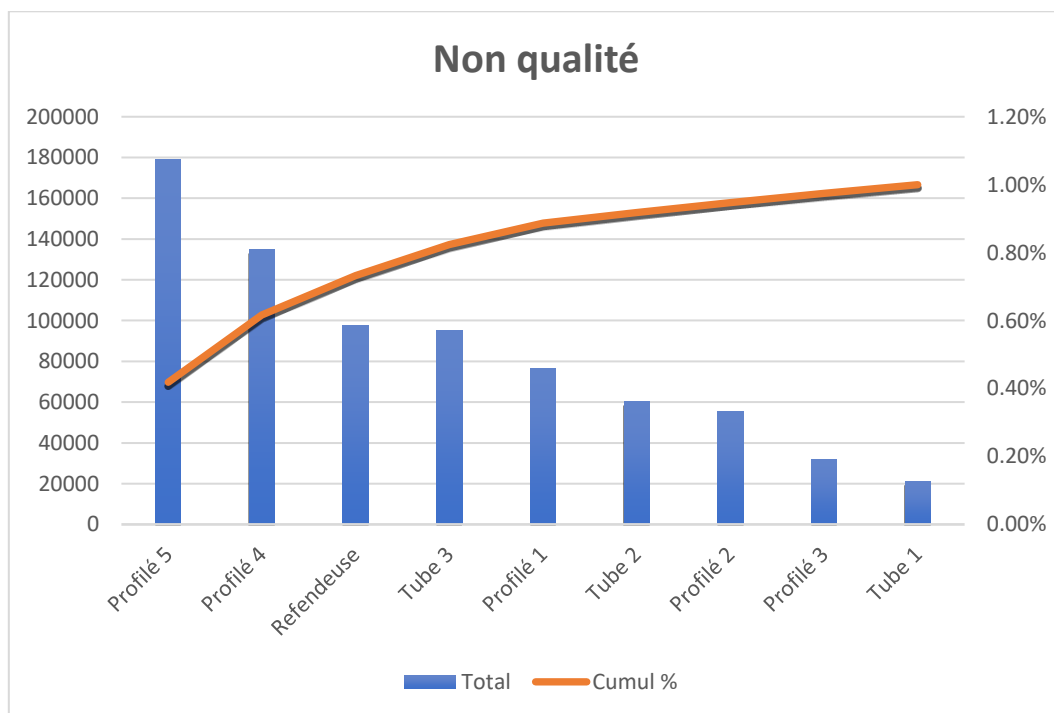


Figure 23: : Graphe Pareto des machines et leurs produits de non qualité

On constate d'après le graphe de la **Figure 23** que la machine Profilé 5 et la machine Profilé 4 sont ceux sur lesquelles il faudra agir prioritairement.

2.6. Analyse basée sur le critère de Performance pour chaque machine :

Le service production de l'entreprise ne dispose pas d'un historique du taux de performance de chaque machine, pour cela, une estimation du ce taux a été effectué pour les cinq mois étudiés.

2.7. Résultat du TRS :

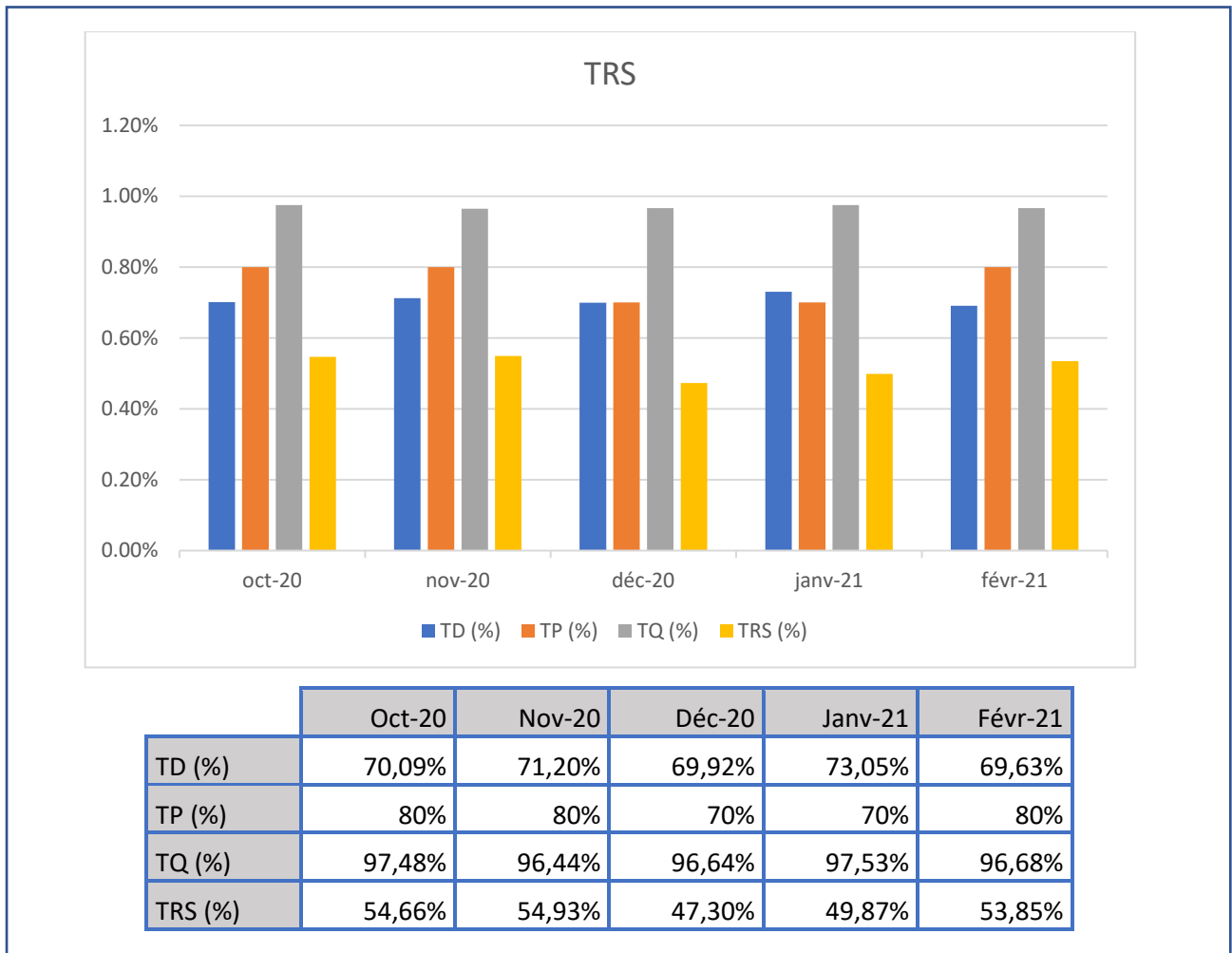


Figure 24: L'évolution du TRS durant la période d'octobre 2020 jusqu'à février 2021

D'après le graphique ci-dessus, le TRS ne semble pas dépasser 55% sur la période étudiée. Cette baisse est due à la détérioration de la disponibilité des machines, leurs performances et leur qualité.

3. Choix du chantier pilote : Machine profilé 5

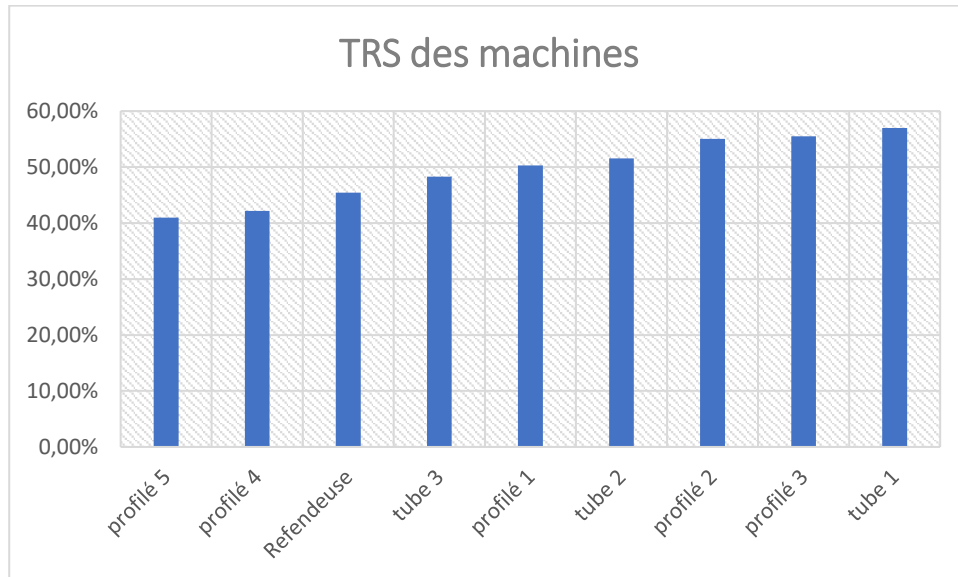


Figure 25: Historique du TRS des machines (oct20-fév21)

Après avoir calculé le taux de rendement synthétique des machines, nous constatons qu'il existe une faiblesse relative au niveau des taux considérés, ce qui veut dire qu'il existe des problèmes à résoudre à travers une intervention rapide qui pourra remédier à la situation.

En se basant sur un historique machine qui s'étend d'octobre 2020 au février 2021, on remarque que la machine profilé 5, représente un faible taux de rendement synthétique.

Le choix de cette machine qui est un poste goulot nous permettra d'analyser la machine en particulier et le processus de production en général.



Figure 26: Machine Profilé 5

4. Analyse de la faiblesse du niveau du TRS remarquée sur la machine profilée 5 :

4.1. Loi Pareto :

Aussi appelé loi des 80-20 ou méthode ABC, c'est un outil graphique classant les phénomènes par ordre décroissant afin de déterminer les priorités d'actions à mener.

Cette loi affirme qu'un faible nombre de facteurs permet d'expliquer la majeure partie des phénomènes.

- Analyse basée sur le critère des types d'arrêts de la machine profilé 5 :

Types d'arrêts	Oct-20	Nov-20	Déc-20	Janv-21	Févr-21	Total des arrêts	Cumul	Cumul%
Pannes	856	1239	1050	604	793	4542	4542	26,01%
Nettoyage	719	735	1126	1086	774	4440	8982	51,43%
Changement de série	895	754	527	716	802	3694	12676	72,59%
Réglage	378	397	546	426	457	2204	14880	85,21%
Autres	195	548	457	115	381	1696	16576	94,92%
Entrée feuillard	96	112	174	106	117	605	17181	98,39%
Manque feuillard	62	51	84	57	28	282	17463	100,00%

Tableau 6: Types d'arrêts de la machine profilé 5

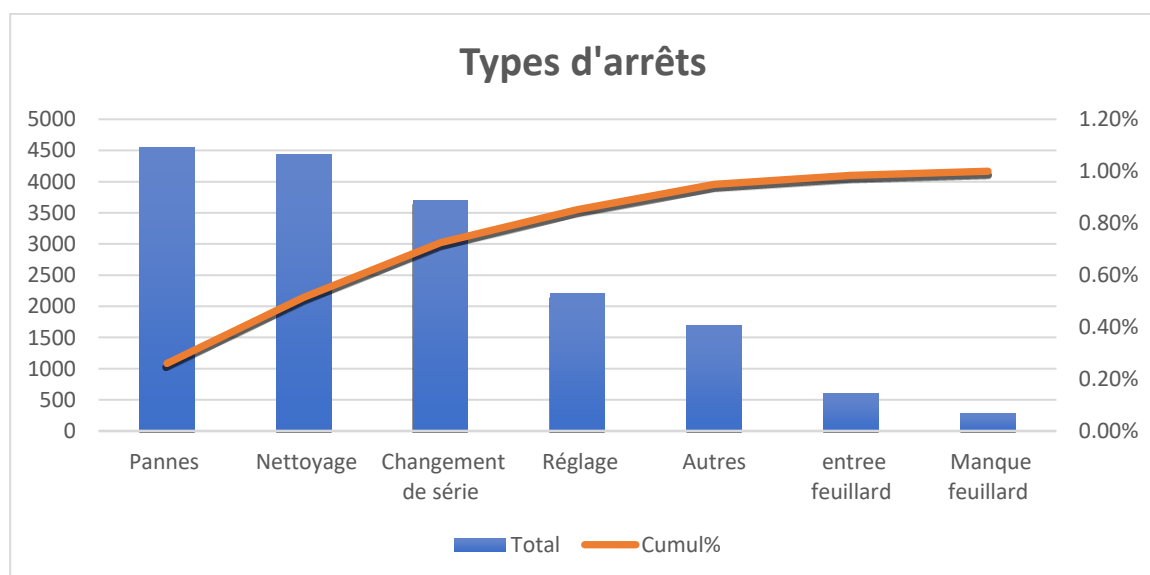


Figure 27: Types d'arrêts de la machine profilé 5

On constate d'après le graphe de la **figure 28** que les pannes et le nettoyage sont les causes principales des arrêts de la machine profilé 5, et sont ceux sur lesquelles il faudra agir prioritairement afin de réduire les temps d'arrêts pour améliorer la disponibilité de la machine.

4.2. Diagramme d'Ishikawa : 5M

Le diagramme d'Ishikawa est aussi un outil Lean qui est un diagramme de causes et effets, cet outil graphique d'analyse liste les causes en détail d'un problème dans le but d'identifier des solutions appropriées. Les causes du problème sont regroupées en cinq catégories à savoir les '5M' :

- 1- Machine : Equipements, machines, matériels.
- 2- Matière : Tout ce qui est consommable.
- 3- Méthode : Correspond à la façon de faire.
- 4- Main d'œuvre : Le personnel de toute catégorie.
- 5- Milieu : Environnement physique et humain, conditions de travail.

Dans notre cas, nous nous sommes basés dans l'élaboration des diagrammes, sur le choix du chantier pilote (machine Profilé 5), afin de déterminer les causes majeures qui ont un impact négatif sur le processus production, dans le but de suggérer des solutions afin d'améliorer la production.

- Disponibilité de la machine Profilé 5 :

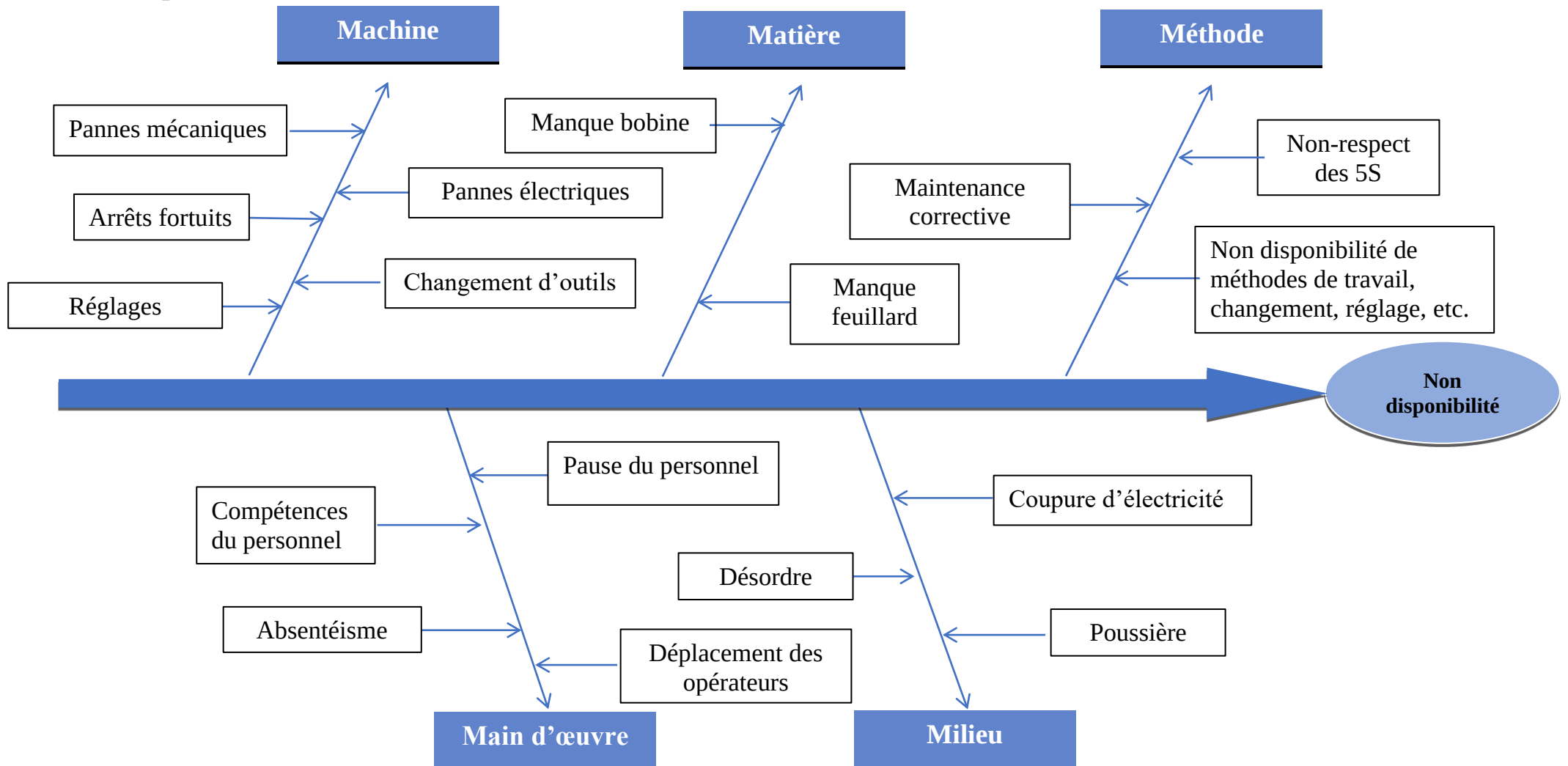


Figure 28: Diagramme d'Ishikawa d'indisponibilité

- Performance de la machine Profilé 5 :

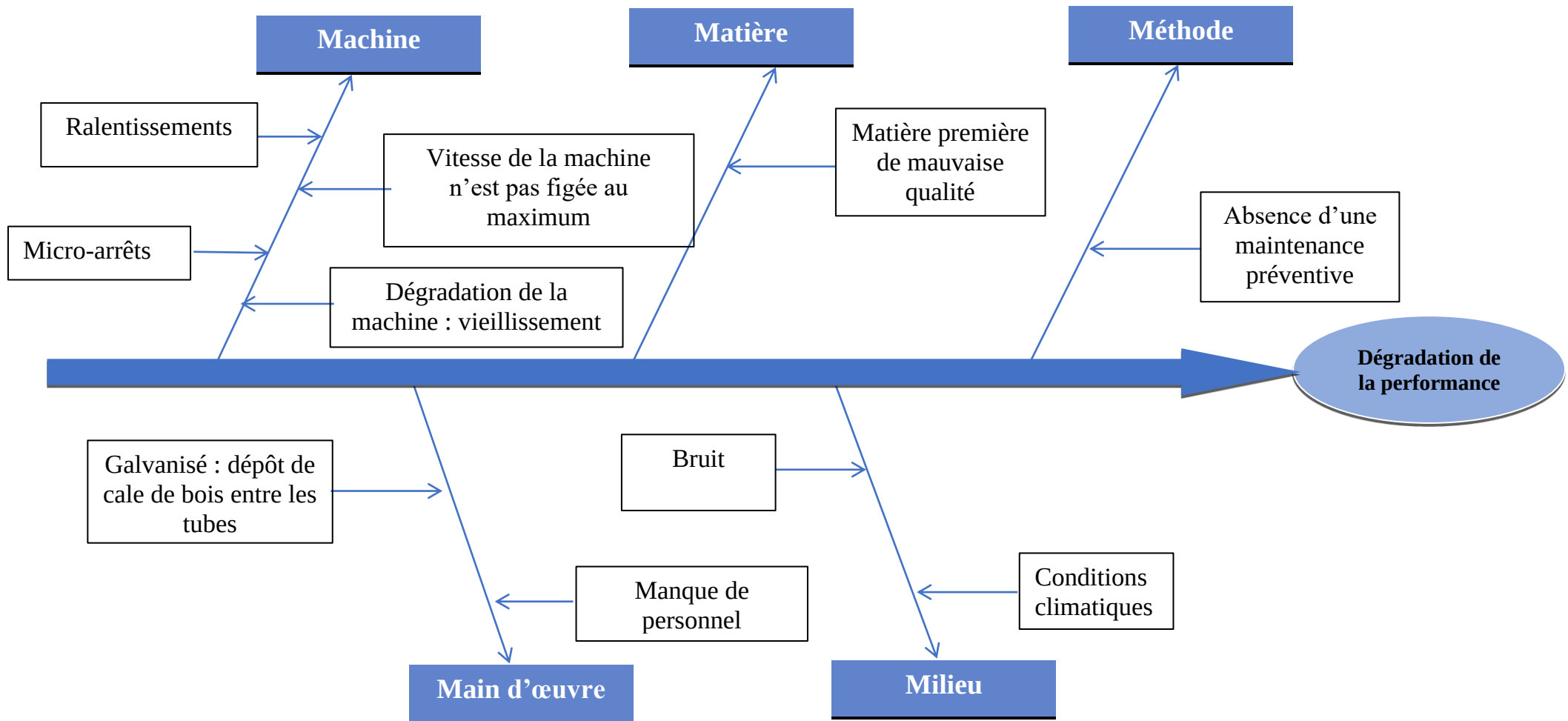


Figure 29: Diagramme d'Ishikawa de la dégradation de performance

- Qualité de la machine Profilé 5:

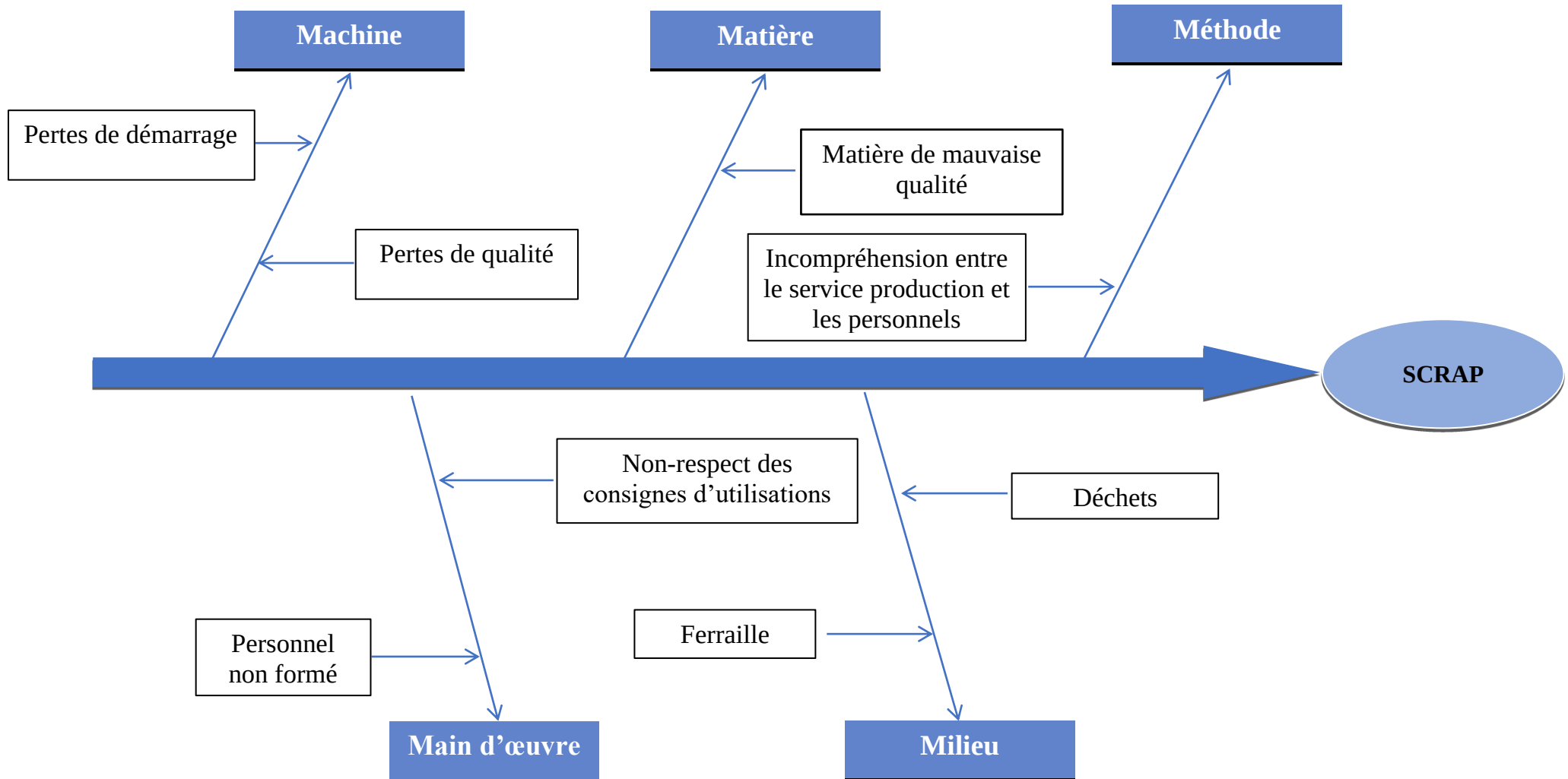


Figure 30: Diagramme d'Ishikawa des Scrap

4.3. Les 7 gaspillages 'Muda' :

Les sept gaspillages (Muda) ont été développés par Taiichi Ohno, l'ingénieur en chef de Toyota. Les sept gaspillages sont regroupés dans la figure suivante :

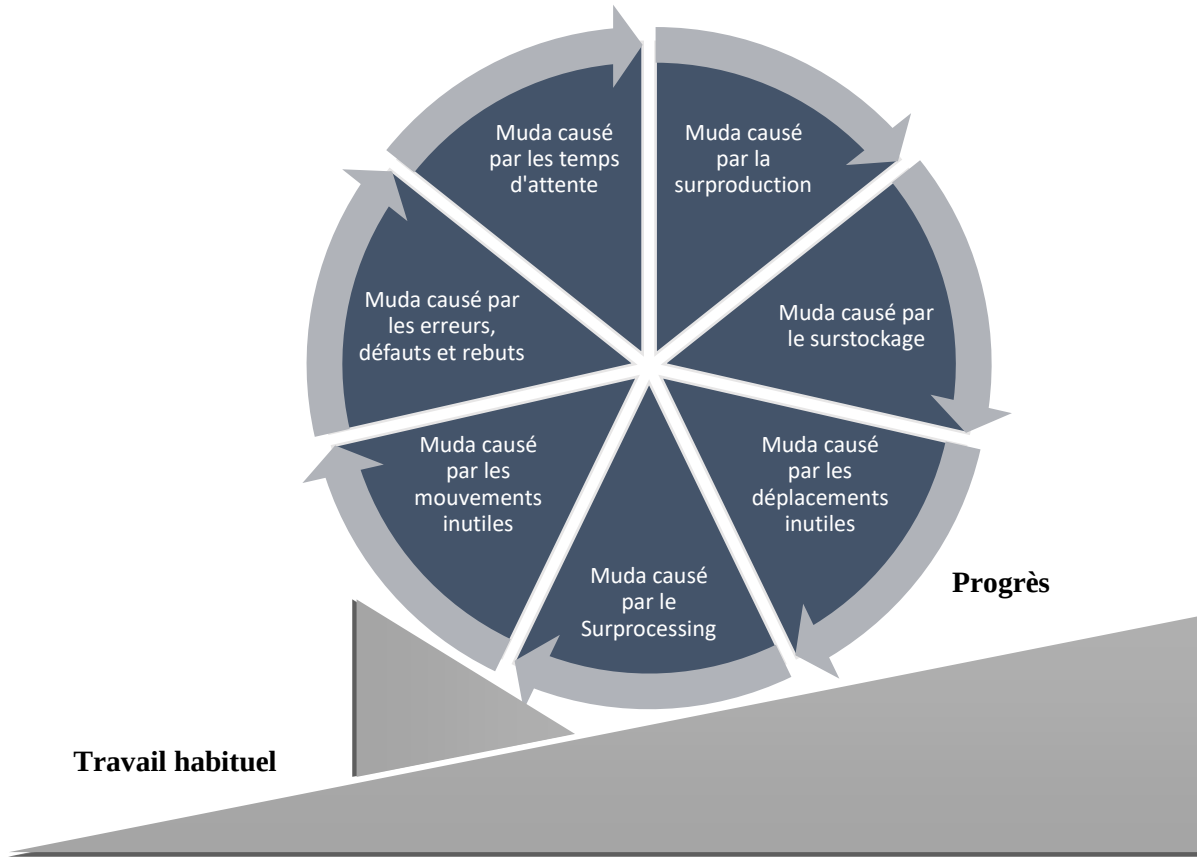


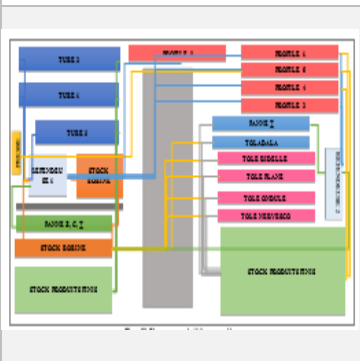
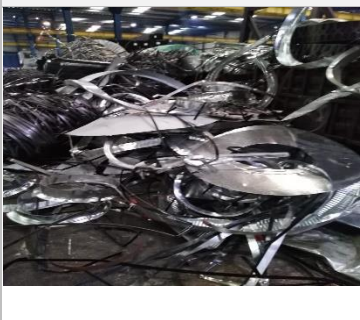
Figure 31: Les 7 gaspillages de production

- Types de gaspillages :

Dans cette partie, nous examinerons chacun de ces gaspillages en détail.

	1- Surproduction	Le fait de produire plus ce dont le client a besoin, des produits qui finiront en stock, qui peuvent entraîner des ralentissements ou même l'arrêt du flux.
---	------------------	---

Amélioration du Processus Production par les Méthodes du Lean Manufacturing

	2- Surstockage ou stock inutile	Causé par la surproduction et la mauvaise planification, ceci on le voit à travers le stock mort du aux mauvaises prévisions de ventes.
	3- Transport et déplacements inutiles	Déplacements inutiles des produits ou d'informations qui ne sont pas du tout nécessaire. Un mouvement non raisonnable peut causer des dommages ou des accidents.
	4- Surprocessing ou traitements inutiles	Tout traitement qui n'ajoute pas de valeur au produit, cela peut apparaître au niveau des tâches réalisées pour rien : les réunions inutiles, le programme informatique compliqué à utiliser.
	5- Mouvements inutiles	Tout mouvement d'un membre de personnel qui n'est pas nécessaire pour faire le travail est un gaspillage majeur, ceci peut être causé par le désordre et la désorganisation.
	6- Erreurs, défauts et rebuts	L'un des problèmes les plus coûteux pour l'entreprise. Les défauts qualité peuvent causer une insatisfaction du client, et puis le retour du produit et la perte de crédibilité.

	7- Temps d'attente :	Ce gaspillage est dû au temps de changement de série trop long, aux étapes mal synchronisés, vitesse machine ralentie, les opérateurs qui doivent attendre, entre deux tâches, ou pendant une interruption de la machine.
---	-----------------------------	--

Tableau 7: Les gaspillages Muda

5. VSM de l'état actuel :

5.1. VSM : Value Stream Mapping :

En français, cartographie des flux de valeur, c'est un outil Lean qui fait référence à toutes les étapes de production d'un produit, jusqu'à sa livraison au client, elle décrit les flux physiques et les flux d'informations d'un processus. Il permet de visualiser les obstacles, retards et surcharges du stock en un coup d'œil.

- 1- Documenter la carte de l'état actuel.
- 2- Analyse du flux de production.
- 3- Création d'une carte de l'état futur.
- 4- Elaboration d'un plan d'amélioration.

Temps de cycle : C'est le temps qu'une équipe consacre réellement à la production d'un article, jusqu'à ce que le produit soit prêt à être expédié.

La formule pour calculer le temps de cycle :

$$TC = \frac{\text{Temps de production disponible}}{\text{Demande moyenne des clients}} \quad (5)$$

Temps d'exécution : Temps entre la commande et la livraison du produit.

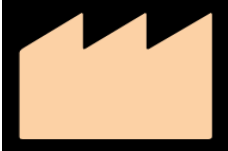
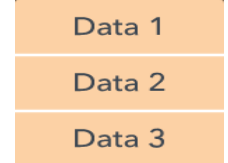
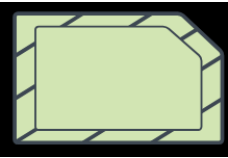
La formule pour calculer le temps d'exécution :

$$\text{Délai d'exécution} = \text{Date de livraison} - \text{Date de commande} \quad (6)$$

Takt time : Un terme d'origine allemande qui signifie 'rythme', c'est la durée idéale de la production d'un bien pour satisfaire les demandes du client.

$$Takt\ Time = \frac{\text{Temps d'ouverture (sur une période)}}{\text{Demande client (sur une période)}} \quad (7)$$

5.2. Symboles VSM utilisés :

Symbole	Nom	Description
	Client / Fournisseur	Représente le client en haut à droite ou le fournisseur en haut à gauche.
	Flux de processus dédié	Flux d'activité fixe au sein d'un service.
	Boîte de données	Données sur l'étape du processus, comme la durée d'un cycle, une évolution dans le temps et la disponibilité.
	Inventaire	Stock entre deux processus.
	Livraisons	Mouvement des matières premières des fournisseurs vers l'usine, puis vers les clients.
	Flux poussé	Faire passer des marchandises d'un processus à un autre.
	Contrôle de production	Opération, service ou personne contrôlant ou planifiant de façon centralisée la production.
	Informations numériques	Echange de données informatisées.
	Production Kanban	Déclenche la production d'un nombre prédéterminé de pièces. Ceci signale un processus de fourniture des pièces à un autre processus en aval.
	Retrait Kanban	Appareil ou carte qui indique à un manutentionnaire de transférer des pièces d'un supermarché vers le processus de réception.

	Opérateur	Nombre d'opérateurs requis pour gérer une famille VSM sur un poste de travail donné.
	Chronologie	Indique les durées de cycle et les temps d'attente/d'arrêt. Permet de calculer les délais de réapprovisionnement et la durée totale du cycle.

Tableau 8: Symboles du Kanban

5.3. Cartographie actuelle :

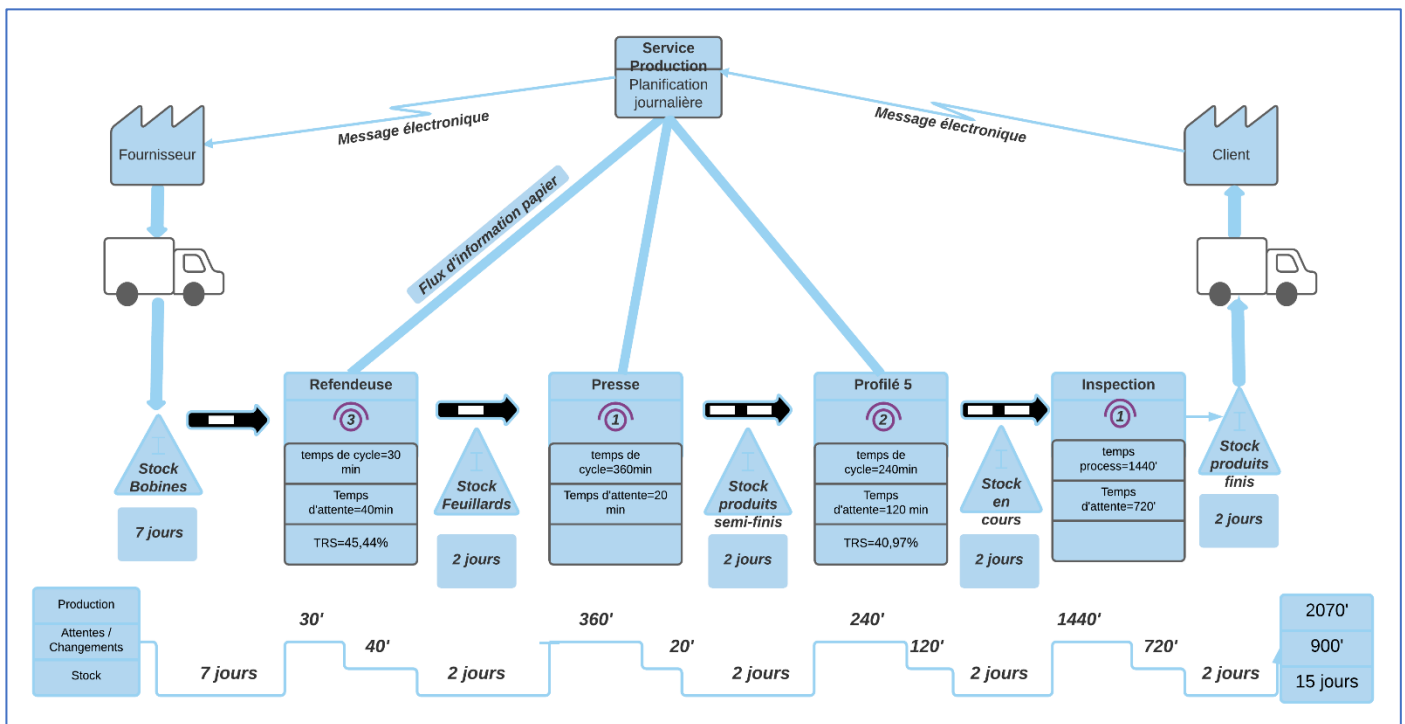


Figure 32: VSM de l'état actuel

Analyse :

Le système de flux poussé est basé sur les prévisions des besoins qui ne correspondent pas toujours à la réalité, et donc la production dans chaque machine a besoin d'une planification individuelle. Ce type de flux fait apparaître des stocks en-cours qui permettent au post amont de continuer de fonctionner même si ses produits ne sont pas encore utilisés par le post aval.

Cette cartographie nous a permis de calculer le temps d'écoulement pour la production des lames de rideaux perforées qui est 15 jours, le temps des attentes qui est 900 minutes et le temps de production qui est 2070 minutes.

CHAPITRE 4 : Amélioration et Contrôle

1. Application de la méthode 5S au sein de la société :

Inspiré du Fordisme et Toyotisme, Les 5S représentant des mots japonais décrivent les étapes d'un processus d'organisation du lieu de travail, pour aider à réduire les déchets, optimiser la productivité et créer un environnement de travail de qualité. L'état des 5S dans une zone de travail peut être critique pour les employés, et constitue la base des premières impressions des clients.

- 1er S : Seiri (Débaras) : Eliminer tout ce qui n'est pas nécessaire.
- 2ème S : Seiton (Rangement) : Placer les équipements à un endroit précis pour pouvoir les retrouver facilement et sans perdre du temps.
- 3ème S : Seiso (Nettoyage) : Nettoyer les zones de travail, et les équipements de production, non seulement pour la propreté, mais aussi pour la détection rapide des anomalies.
- 4ème S : Seiketsu (Tenir en ordre) : Programmer un nettoyage et un entretien régulier.
- 5ème S : Shitsuke (Respecter les règles) : Respecter les règles des 5S, et en faire un mode de vie.

1.1. Evaluation du niveau des 5S dans la zone des machines « Profilé » :

Nombre de problèmes	Note
4 et plus Très Faible	1
3 Faible	2
2 Moyen	3
1 Très bien	4

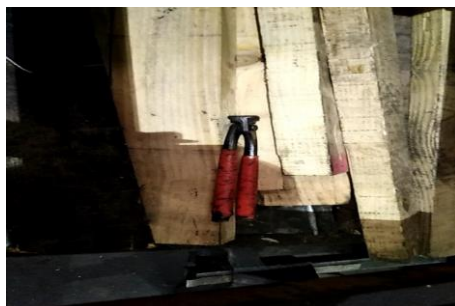
Tableau 9: Notes des 5S

Catégories	Note			
	1	2	3	4
Seiri : Eliminer				

Amélioration du Processus Production par les Méthodes du Lean Manufacturing

Ce qui n'est pas nécessaire			x			
						
						
Objets présents n'importe où			x			
						

Amélioration du Processus Production par les Méthodes du Lean Manufacturing

Stock non voulu				×			
Dangers liés à l'électricité					×		
Dangers : Huile- eau- lubrifiant						×	
Seiton : Ranger							
Objets ne sont pas dans leurs bons endroits					×		

Amélioration du Processus Production par les Méthodes du Lean Manufacturing

						
Matériels non rangés immédiatement après utilisation			x			
						
Pas de limites de quantités produites mise à côté des machines						x
Manque de références des outillages						x

Amélioration du Processus Production par les Méthodes du Lean Manufacturing

Seiso : Nettoyer						
Etiquettes sales						×
Saletés sur sol, murs, escaliers et surfaces						×
Scrap						×
Seiketsu : Standardiser						
Quantités et limites de stockage non fixées						×
Shitsuke : Respecter les règles						
Affaires personnelles non rangées			×			

1.2. Liste des actions pour les 5S :

L'évaluation des 5S au sein de l'entreprise, nous mène vers la mise en place de certaines actions basées sur cette évaluation.

Il est nécessaire de noter que la réussite de cette démarche fait appel à un engagement de l'ensemble des organismes de la société, tout en créant une collaboration solidaire qui va nous diriger vers l'organisation du milieu de travail et puis l'atteinte des objectifs.

Catégorie	Elément
Seiri : Eliminer	Ce qui n'est pas nécessaire
	Objets présents n'importe où
	Stock non voulu
	Dangers liés à l'électricité
	Dangers : Huile- eau- lubrifiant
Seiton : Ranger	Objets ne sont pas dans leurs bons endroits
	Matériels non rangés immédiatement après utilisation
	Pas de limites de quantités produites mise à côté des machines
	Passages, postes des machines non indiqués
	Manque de références des outillages
Seiso : Nettoyer	Etiquettes sales
	Saletés, huiles et graisses maintenus sur les équipements
	Saletés sur sol, murs, escaliers et surfaces
	Scrap
	Recherche des moyens pour garder la propreté et l'organisation
Seiketsu : Standardiser	Informations nécessaires sur machines (Nom, Heures de travail, Nombre d'opérateurs)
	Absence de check-lists pour les tâches 5S
	Quantités et limites de stockage non fixées
Shitsuke : Respecter les règles	Former les employés sur les 5S
	Manque d'un responsable 5S
	Affaires personnelles non rangées
	Contrôle des 5S non exécutés

Tableau 10: Actions pour les 5S

2. Etude AMDEC :

2.1. Analyse fonctionnelle : Diagramme Pieuvre

Ce diagramme pieuvre nous permet de définir entre la machine et son environnement,

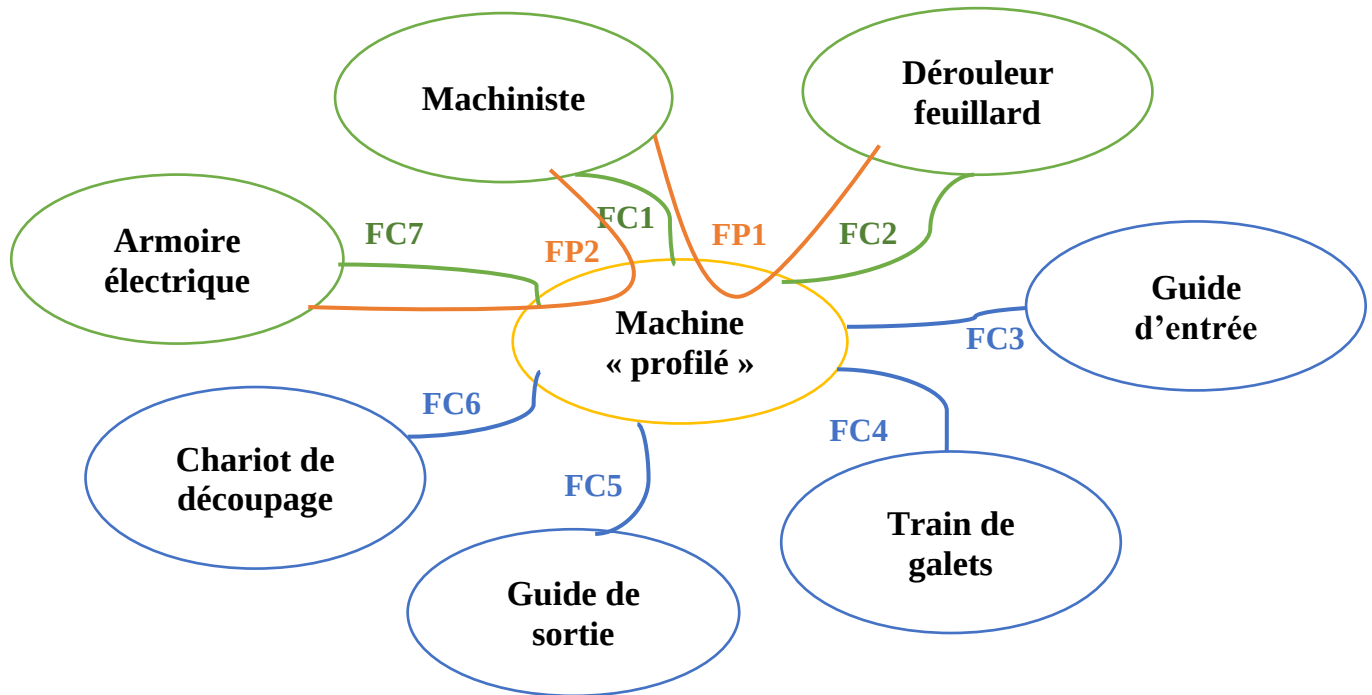


Figure 33: Diagramme pieuvre

FP1 : Placer le feuillard sur le dérouleur et assurer le bon fonctionnement.

FP2 : Contrôler la vitesse de la machine et la longueur de découpage.

FC1 : Opérer la machine.

FC2 : Faciliter le déroulage de la machine.

FC3 : Bien aligner la tôle avant qu'elle passe à travers les rouleaux.

FC4 : Former une courbure jusqu'à ce que la tôle atteigne la forme souhaitée.

FC5 : S'assurer que la tôle est bien alignée.

FC6 : Couper le profilé à 6 mètres de long programmée sur la commande numérique.

FC2 : Piloter la machine

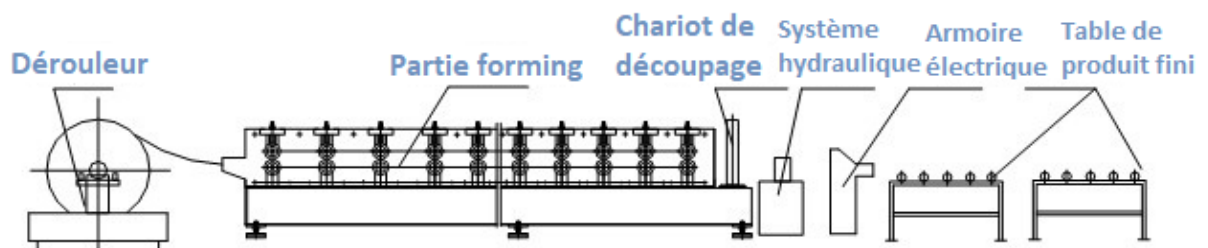


Figure 34: Décomposition de la machine profilé

FREQUENCE : F	
1	1 défaillance maxi par an
2	1 défaillance maxi par trimestre
3	1 défaillance maxi par mois
4	1 défaillance maxi par semaine
NON DETECTION : N	
1	Visite par opérateur
2	Détection aisée par un agent de maintenance
3	Détection difficile
4	Indécelable
GRAVITE (INDISPONIBILITE) : G	
1	Pas d'arrêt de la production
2	Arrêt ≤ 1 heure
3	1 heure < arrêt ≤ 1 jour
4	Arrêt > 1 jour

$$C = F \times G \times N$$

Calcul de la criticité

2.2. Décomposition structurelle de la machine « profilé » :

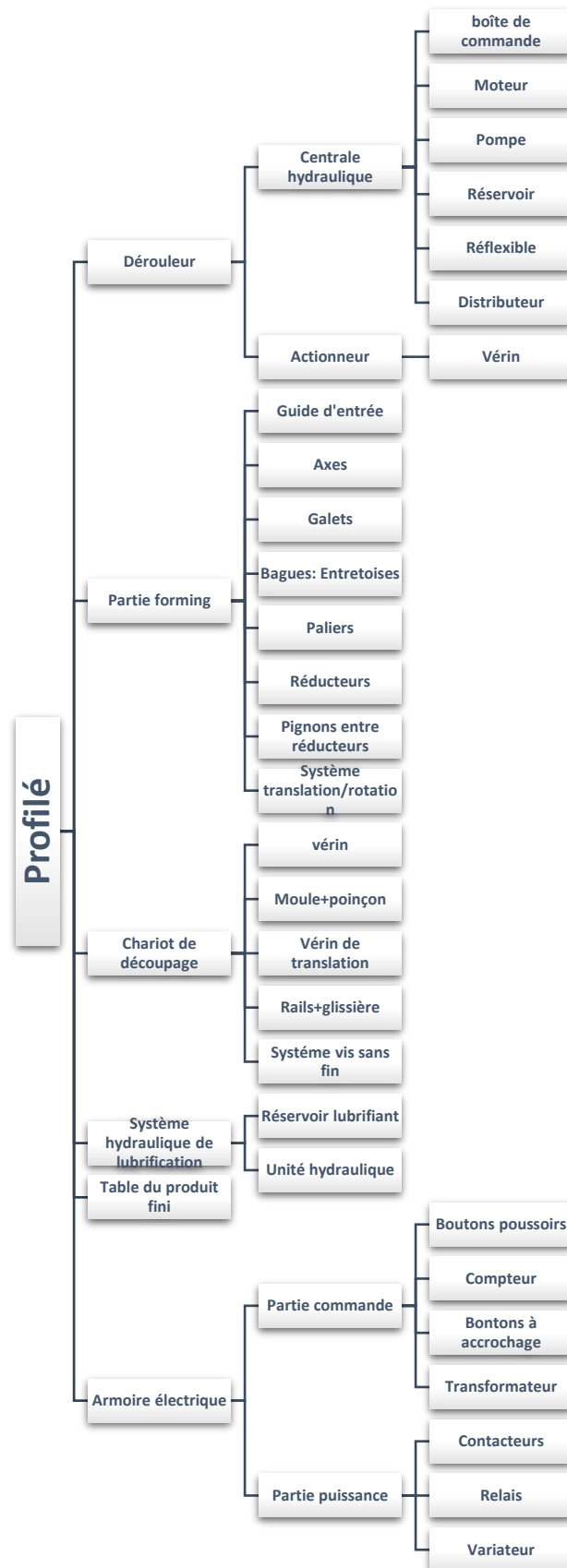


Figure 35: Décomposition structurelle de la machine « profilé »

2.3. Etude Amdec des machines « Profilé » :

AMDEC MACHINE - ANALYSE DES MODES DE DEFAILLANCE ET DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITE									Page : 1/4
Elément	Mode de défaillance	Cause de la défaillance	Effet de la défaillance	Détection	Criticité				Action corrective
					F	G	N	C	
Système : Dérouleur (Centrale hydraulique)									
Pompe	Panne de la pompe	Détérioration de l'isolation du câble électrique	Arrêt de la machine	Défaut détectable visuellement	3	3	2	18	Changement du câble
	Panne électrique de la pompe	Fusible grillé	Arrêt de la machine	Défaut détectable visuellement	2	2	2	8	Changement du fusible
	Panne mécanique de la pompe	Faible pression	Problème au niveau de la rotation du feuillard	Défaut détectable visuellement	2	1	2	4	Serrage des extrémités des flexibles Augmentation de la pression depuis le régulateur Changement du distributeur
Distributeur	Panne du distributeur	Bobine du distributeur défectueuse	Problème au niveau de la rotation du feuillard	Défaut détectable visuellement	2	1	2	4	Changement de la bobine
Vérin	Panne mécanique	Forte pression	Haute vitesse du vérin	Défaut détectable visuellement	1	1	2	2	Diminution de la section à l'entrée de la pompe

Tableau 11: Fiche Amdec de la machine profilé 1/4

Amélioration du Processus Production par les Méthodes du Lean Manufacturing

AMDEC MACHINE - ANALYSE DES MODES DE DEFAILLANCE ET DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITE									Page : 2/4
Elément	Mode de défaillance	Cause de la défaillance	Effet de la défaillance	Détection	Criticité				Action corrective
					F	G	N	C	
Système : Partie forming									
Guide d'entrée	Panne mécanique	Blocage du guide d'entrée	Problème au niveau du formage du profilé	Défaut détectable visuellement	2	1	2	4	Changement de roulement du guide
Axes	Panne mécanique	Roulement détérioré Blocage du porte roulement du palier	Déformation du produit Arrêt de la machine	Défaut détectable visuellement	3	3	2	19	Changement de 2 Axes et réparation d'un axe Changement de roulement
	Axe bloqué	Palier bloqué Frottement entre le palier et le porte-bague	Déformation du produit Arrêt de la machine	Défaut détectable visuellement	3	3	2	18	Rectification de la surface du porte-bague
	Panne de l'axe	Jeu du l'axe	Déformation du produit Arrêt de la machine	Défaut détectable visuellement	3	2	2	12	Changement de l'axe
Galets	Les galets de guidage détériorés	Usure et détérioration	Déformation du produit	Défaut détectable visuellement	3	1	2	6	Usinage d'un nouveau galet de guidage
Réducteurs	Echauffement du réducteur	Détérioration des roulements Axe cassé	Déformation du produit	Défaut détectable visuellement	2	1	2	4	Changement du roulement Réparation de l'axe
Pignons entre réducteurs	Panne mécanique de la chaîne et du pignon	Chaîne du réducteur cassé et clavette des pignons perdue	Arrêt de la machine	Défaut détectable visuellement	1	3	2	6	Réparation de la chaîne et Remplacement de clavette
Système rotation	Courroie de la machine	Courroie détérioré	Arrêt de la machine	Défaut détectable visuellement	2	3	2	12	Changement de courroie

Tableau 12: Fiche Amdec de la machine profilé 2/4

Amélioration du Processus Production par les Méthodes du Lean Manufacturing

AMDEC MACHINE - ANALYSE DES MODES DE DEFAILLANCE ET DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRI- TICITE									Page : 3/4
Elément	Mode de défaillance	Cause de la défail- lance	Effet de la défail- lance	Détection	Criticité				Action corrective
					F	G	N	C	
Système : Chariot de découpage									
Moteur	Bruit moteur de décou- page	Carter enlevée	Perturbation	Bruit	1	2	2	4	Soudage du carter de mo- teur
Pompe	Panne mécanique de la pompe de découpage	Fuite de l'huile	Arrêt de la machine	Défaut détectable visuellement	2	3	2	12	Changement du flexible et du manchon
	Panne électrique de la pompe de lame de dé- coupage	Surcharge de la pompe	Arrêt de la machine	Défaut détectable visuellement	3	2	2	12	Réarmement du relais thermique
Moule + poinçon	Panne de moule de dé- coupage	Flexion des glissières du moule	Arrêt de la machine	Défaut détectable visuellement	2	3	3	18	Dressage des glissières
	Moule de lame de dé- coupage	Moule cassé lors de l'entrée de la tôle	Arrêt de la machine	Défaut détectable visuellement	2	3	2	12	Soudage du moule
	Poinçon cassé	Inattention de l'opé- rateur	Arrêt de la machine	Défaut détectable visuellement	2	2	2	8	Changement du poinçon
Vérin	Panne mécanique pro- blème du distributeur de l'air	Distributeur defec- tueux	Arrêt de la machine	Défaut détectable visuellement	1	2	2	4	Changement du distribu- teur

Tableau 13: Fiche Amdec de la machine profilé 3/4

Amélioration du Processus Production par les Méthodes du Lean Manufacturing

AMDEC MACHINE - ANALYSE DES MODES DE DEFAILLANCE ET DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITE									Page : 4/4
Elément	Mode de défaillance	Cause de la défaillance	Effet de la défaillance	Détection	Criticité				Action corrective
					F	G	N	C	
Système : Système hydraulique de lubrification									
Unité hydraulique	Panne électrique	Moteur de la pompe grillé	Arrêt de la machine	Défaut détectable visuellement	1	3	2	6	Démontage du moteur Rebobinage du moteur Montage du moteur
Système : Table du produit fini									
Dérouleur de table	Panne mécanique de dérouleur de table	Fuite de l'huile Flexible détérioré	Gaspillage de l'huile	Défaut détectable visuellement	2	1	2	4	Changement du flexible
Guide de table	Problème sur le guide de la table	Panne roue d'entrée Déformation guide d'entrée de la table	Arrêt de la machine	Défaut détectable visuellement	3	3	2	18	Changement de roulement du guide Dressage du guide
Système : Armoire électrique									
Boutons poussoirs	Panne électrique	Bouton poussoir bloqué	Arrêt de la machine	Défaut détectable visuellement	1	3	2	6	Réparation du bouton poussoir
Compteur	Panne du compteur	Encodeur défectueux	Arrêt de la machine	Défaut détectable visuellement	2	2	2	8	Changement de l'encodeur Réglage et calibration du compteur
	Panne du compteur	Glissement du galet de l'encodeur	Arrêt de la machine	Défaut détectable visuellement	3	2	2	12	Serrage des vis de support de l'encodeur

Tableau 14: Fiche Amdec de la machine profilé 4/4

3. Mise en place d'un plan de maintenance préventive :

L'absence d'une stratégie et politique de prévention et s'anticipation des défaillances à SOFAFER nous mène vers une mise en place d'un plan de maintenance préventive des machines les plus critiques qui sont les machines « profilé ».

Fiche de maintenance préventive des machines « Profilé »	Fréquence d'intervention			
	Quotidienne	Hebdomadaire	Mensuelle	Annuelle
Système : Dérouleur (Centrale hydraulique)				
Pompe				
Vérification des câbles et fusibles		•		
Contrôle de la pression de la pompe	•			
Distributeur				
Vérification de la bobine du distributeur			•	
Vérin				
Contrôle de la pression du vérin	•			
Système : Partie forming				
Guide d'entrée				
Vérification du roulement du guide			•	
Axes				
Vérification de la surface du porte-bague		•		
Vérification des axes et roulements	•			
Galets				
Vérification des galets de guidage		•		
Réducteurs				
Vérification des roulements et axe du réducteur			•	
Pignons entre réducteurs				
Contrôle sur la chaîne du réducteur				•
Contrôle de la clavette des pignons			•	
Système rotation				
Vérification de la courroie			•	
Système : Chariot de découpage				

Amélioration du Processus Production par les Méthodes du Lean Manufacturing

Moteur				
Vérification du carter du moteur			•	
Pompe				
Contrôle sur le relais thermique			•	
Vérification du flexible et manchon		•		
Moule + poinçon				
Vérification du moule	•			
Vérification du poinçon		•		
Contrôle sur les glissières du moule		•		
Vérin				
Vérification du distributeur			•	
Système : Système hydraulique de lubrification				
Unité hydraulique				
Vérification du moteur et de la pompe			•	
Système : Table du produit fini				
Dérouleur de table				
Contrôle du flexible de dérouleur			•	
Guide de table				
Contrôle du roulement de guide		•		
Système : Armoire électrique				
Boutons poussoirs				
Nettoyage des boutons poussoirs	•			
Compteur				
Réglage et calibration du compteur	•			
Contrôle de l'encodeur		•		

Tableau 15: Fiche de maintenance préventive des machines « profilé »

4. Cartographie VSM de l'état futur :

4.1. Mise en place d'un système Kanban :

Après l'étude du processus de production de l'entreprise, il paraît urgent de mettre en place un système Kanban afin d'éviter de créer une situation de surproduction et d'accumulation des produits dans le stock, de limiter la planification et minimaliser le nombre de tâches pour tout le personnel.

4.2. Circulation des Kanbans :

Notre étude Kanban pour la fabrication des lames de rideaux perforées, commence par la machine refendeuse qui ne doit produire que ce qui lui est demandé par le post aval qui est la machine Presse. La machine Presse elle-même ne doit produire que ce qui lui est demandé par la machine Profilé 5.

Dans notre cas, les machines Refendeuse, Presse et Profilé sont physiquement éloignées, il est donc nécessaire d'effectuer une opération de transport des produits semi-finis. Pour cette opération, on utilise un Kanban de transfert.

Quand la machine Presse utilise les feuillets découpés par la Refendeuse, elle en retire le Kanban de transfert et le place sur le planning de manutention. Le manutentionnaire va alors chercher les pièces produites par la Refendeuse, Il en retire le Kanban de production et le place sur le planning à kanbans. Il fixe ensuite le Kanban de transfert sur les produits qu'il achemine sur l'aire de stockage de la Presse.

Le même process se répète quand la machine Profilé utilise les feuillets perforés pour la fabrication des lames de rideaux perforées.

4.3. Elaboration d'une étiquette Kanban :

Kanban est un mot japonais qui signifie 'Etiquette'. Le Kanban est l'étiquette qui est attachée à un conteneur. Un certain nombre d'informations sont précisées sur un Kanban.

Il s'agit de :

- Référence du produit, Capacité du fardeau, Référence post amont, Référence post aval, Nom fournisseur Bobine, Nom client, Date de commande, Date de livraison, N° rayon de stockage : R1, R2, R3...

-

Etiquette Kanban			
Référence du produit :	Nom client :	Nom fournisseur :	Date :
Post amont :	Capacité fardeau :	N° de rayon de stockage :	
Poste aval :	Date de commande :	Date de livraison :	

Figure 36: Etiquette kanban

4.4. VSM de l'état futur :

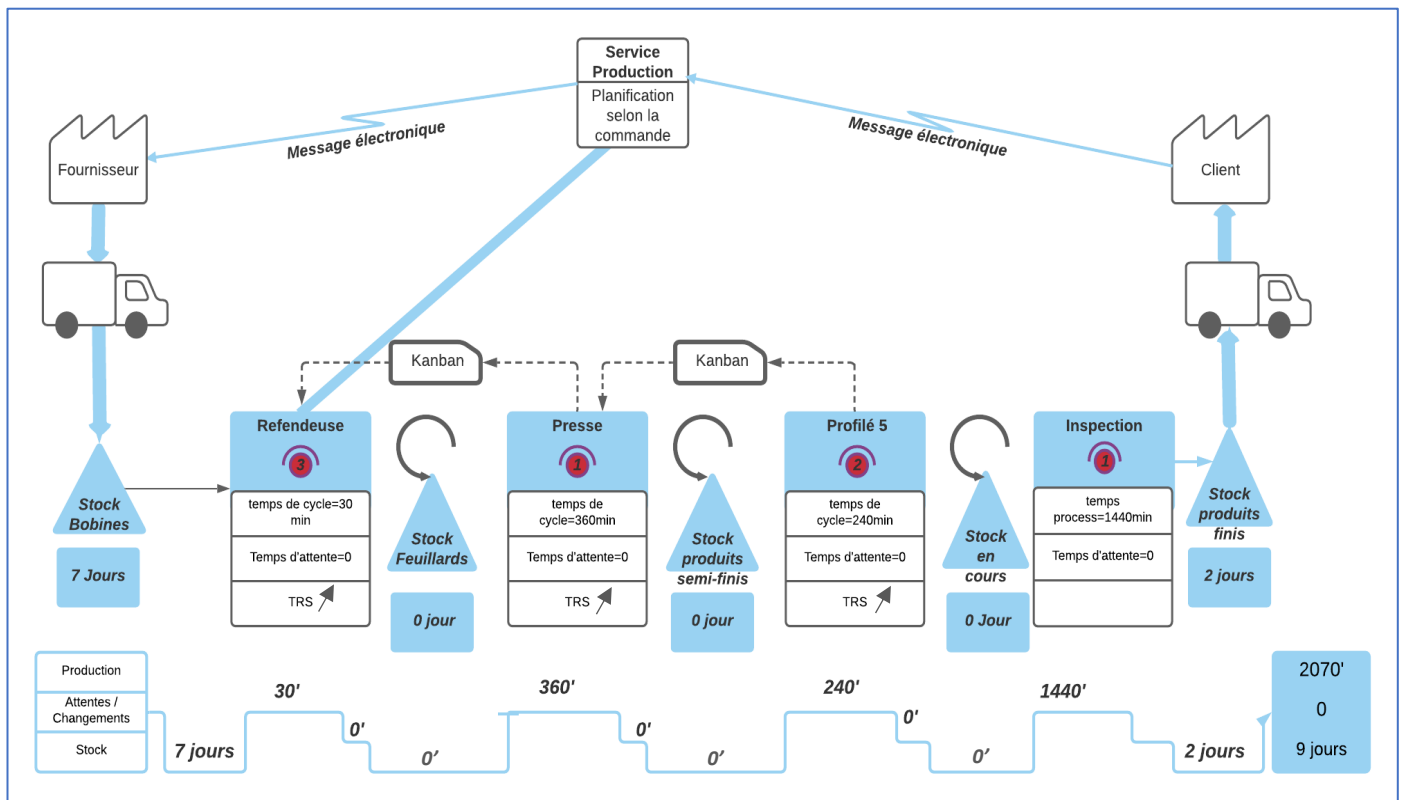


Figure 37: VSM de l'état futur

Dans cette cartographie de l'état futur, on utilise l'organisation en flux tiré. Dans cet état, c'est le poste aval qui fait que la demande au poste amont pour produire en utilisant des Kanbans de transfert, ce qui mène à la réduction des en-cours. Ce flux permet au processus de production de fonctionner en Juste à Temps qui est l'un des piliers du Lean Manufacturing.

La nouvelle cartographie montre le temps d'écoulement pour la production des lames de rideaux perforées qui deviendra 9 jours au lieu de 15, le temps des attentes qui tendra vers zéro à cause des kanbans, et donc automatiquement le TRS qui va augmenter.

Conclusion et Perspectives :

Le travail présenté dans ce document est l'aboutissement de plusieurs semaines partagées entre réflexion, recherche, développement et analyse. C'était l'occasion de mettre en œuvre les connaissances théoriques et pratiques acquises pendant ma formation ainsi qu'une expérience de plus, gagnée dans le chemin professionnel.

Ce projet de fin d'études pour l'obtention du diplôme de master sciences et techniques avait comme objectif l'amélioration du processus production de la société SOFAFER Fès par les outils et méthodes du Lean manufacturing en employant une démarche efficace du Lean qui est la DMAIC.

Suite à des entretiens avec les responsables production, des visites réalisées sur les lieux des machines, mais surtout les diagnostics faits à partir des données historiques qui sont à disposition, j'ai constaté des problèmes pouvant avoir une influence sur le taux de rendement synthétique des machines.

Après avoir défini le problème, on passe à la deuxième étape du DMAIC qui est de mesurer le problème à partir d'un indicateur qui est le TRS qui nous a permis le choix du chantier pilote qui est la machine « Profilé 5 », en plus du VSM pour cartographier l'état actuel des flux de production. La mesure du problème nous amène vers l'analyse des données récoltées en identifiant les causes à l'origine de la problématique.

Nous sommes ensuite passés à la proposition des solutions en vue de répondre aux causes identifiées dans le chapitre précédent en créant une VSM de l'état futur, et à l'établissement d'un plan de maintenance préventive basé sur l'étude AMDEC effectuée sur les machines « Profilé ».

Les perspectives pouvant découlées de notre travail peuvent être résumées comme suit :

- Réaménagement du stock ;
- Calcul du nouveau TRS des mois à venir après amélioration ;
- Elargir l'étude sur les autres lignes de production ;
- Organisation de l'atelier production à partir des plans d'action du 5S.

Bibliographie

- Lonnie Wilson - How to Implement Lean Manufacturing-McGraw-Hill Professional (2009).
- (Lean playbook series) Ortiz, Chris A - The Kanban playbook_ a step-by-step guideline for the lean practitioner-CRC Press (2016).
- Jensen, Marc - Lean Waste Stream_ Reducing Material Use and Garbage Using Lean Principles-CRC Press _ Taylor & Francis Group (2014).
- Stephen A. Ruffa - Going Lean_ How the Best Companies Apply Lean Manufacturing Principles to Shatter Uncertainty, Drive Innovation, and Maximize Profits (2008)

Annexes

Annexe 1 : Historique de l'indisponibilité des machines

Etiquette de ligne	Oct-20	Nov-20	Déc-20	Janv-21	Févr-21	Total
TUBE 3	3242	3689	3780	3529	2645	16885
TUBE 1	1784	2070	3985	2466	1838	12143
PROFILE 2	3667	2076	4859	4323	3082	18007
PROFILE 4	2930	2102	1821	1192	2257	10302
PROFILE 1	1617	2056	4236	3573	3587	15069
Refen- deuse	4061	3137	2354	3434	3472	16458
PROFILE 5	5115	4776	6101	5560	5809	27361
PROFILE 3	2489	2678	3293	1468	4798	14726

Annexe 2 : Historique du Scrap des machines

Étiquettes de lignes	Oct-20	Nov-20	Déc-20	Janv-21	Févr-21	Total
PROFILE 1	5106	6345	4896	3546	7030	26923
PROFILE 2	1065	1273	3596	3302	3183	12419
PROFILE 3	985	1230	3309	3194	2934	11652
PROFILE 4	15714	13006	15404	21015	19499	84638
PROFILE 5	38598	39504	50000	27908	23154	179164
TUBE 1	972	1193	3103	3066	2732	11066
TUBE 2	1196	1302	3888	3548	3306	13240
TUBE 3	6154	7858	8654	8519	7928	39113
Refendeuse	7664	6070	9494	5985	20764	49977

Annexe 3 : Historique des types d'arrêt de la machine profilé 5

Types d'arrêt	Oct-20	Nov-20	Déc-20	Janv-21	Févr-21	Total
Entrée feuillard	96	112	174	106	117	605
Panne	856	1239	1050	604	793	4542
Réglage	378	397	546	426	457	2204
Changement de série	895	754	527	716	802	3694
Manque feuillard	62	51	84	57	28	282
Nettoyage	719	735	1126	1086	774	4440

Autres	195	548	457	115	381	1696
--------	-----	-----	-----	-----	-----	------

Annexe 4 : Processus de fabrication Sofafer

Intitulé du processus : Fabrication		
Finalité du processus : Fabriquer un produit conforme aux exigences du client et respecter les objectifs de l'entreprise.		
Exigences explicites et implicites du client : - Délais optimisés - Quantités commandées fiables - Produits conformes et adaptés à l'usage client (poids, longueur, épaisseur, forme)	Exigences réglementaires et légales : - Normes et référentiels internationaux	
Données d'entrée :	Etapes	Données de sortie :
Nomenclature de fabrication	Liste des ordres de fabrication ↓ Fabrication : Tôle, Profilé, Tube ... ↓ Produits finis	Rapport de suivi de la production
Programme de planification		Besoin du client respecté
Exigences Clients		Fiche de suivi / machine
Exigences réglementaires		
Mode opératoire		
Instruction de travail		Indicateur de performance
Compétences humaines		
Matériels		Produit fini conforme

