

# PROJET INDUSTRIEL DE FIN D'ETUDES

Présenté

Pour l'obtention du titre :

*Ingénieur d'Etat*

Par :

**HAMMODI Younes & ABABOU Youssef**

**Titre :**

Amélioration du rendement dans la zone de  
fabrication.....

*Jury :*

M. Ali CHAABA.....Président (ENSAM)  
M. Abdelhak NAFI.....Directeur du projet (ENSAM)  
M. Mohamed AZDAR.....Parrain du projet (PRODEC)  
M. Mostapha ELJAI.....Rapporteur (ENSAM)  
M. Abderrahim OUDRA.....Examineur (ENSAM)

**Année universitaire 2011/2012**

## Dédicaces

*A ma douce mère et mon adorable père qui m'ont beaucoup donné ;*

*Aucun mot, aucune expression ne pourra témoigner de ma reconnaissance et ma gratitude à votre égard, vos sacrifices abondants et votre soutien innombrable resteront à jamais gravés dans mon cœur et mon esprit.*

*A mes amis les plus chers :*

*Merci pour les instants inoubliables que nous avons partagés ensemble.*

*A mes camarades de classe et tous ceux de FSTF ;*

*Je ne sais comment vous remercier pour tout ce que vous avez fait pour moi.*

*A la direction de l'FSTF (le doyen, et le groupe professoral et administratif) ;*

*Vous avez de près ou de loin contribué à ma formation.*

*Sincère gratitude.*

*A toute ma grande famille ;*

*Merci pour l'intérêt que vous portez pour moi ;*

*A tous ceux qui m'aiment...*

*Je dédie ce travail...*

**Younes HAMOUD**

## *Je dédie ce travail*

*« Les mots sont des symboles  
qui postulent une mémoire  
partagée » J.L.Borges*

*A mes parents...*

*Aux deux personnes qui m'ont donné vie ;*

*Aux deux personnes qui m'ont offert leur vie ; A ceux qui ont fait ce que je suis ;  
Je vous dédie ce travail, et qu'il soit témoin de vos sacrifices et de votre amour  
éternel.*

*A mes sœurs et frères ...*

*Pour votre soutien, pour votre présence dans ma vie et pour votre amour fraternel  
sein et pur.  
Je vous dédie ce travail en témoignage de mon amour et mes grands sentiments  
envers vous.*

*A Ma grande famille...*

*Si je suis là c'est grâce à votre encouragement aux cœurs chauds qui m'ont aimé  
et qui ont prié pour moi.  
Je vous offre le fruit de plusieurs années, veuillez percevoir à travers lui  
l'expression de mon amour sincère. Que dieu vous préserve et préserve l'âme des  
chers qui nous ont quittés.*

*A toute personne*

***Youssef ABABOU***



## Remerciements

---

*Avant tout, un grand merci à toute notre famille qui nous soutient de façon inconditionnelle non seulement le long de notre parcours scolaire, mais aussi dans notre quotidien.*

*Nous tenons à présenter nos très sincères remerciements à Mr.AMRANI MOHAMED ALI le directeur général de l'entreprise d'avoir bien voulu nous accorder notre stage de fin d'étude au sein de l'entreprise.*

*Nous remercions et nous exprimons notre reconnaissance à notre encadrant à l'école Mr.Abdelhak NAFI pour ses conseils, ses remarques, sa disponibilité et son soutien tout au long de la période du stage.*

*Nous remercions Chaleureusement notre encadrant industriel Mr.Mohamed AZDAR, Responsable production et maintenance, pour sa disponibilité à nous faire partager ses connaissances, son expérience et son savoir-faire, et n'ayant ménagé aucun effort pour nous initier à la vie professionnelle, par les conseils précieux et les recommandations qu'il nous a prodigués durant toute la période du stage.*

*Nos vifs remerciements vont également à l'ensemble du personnel du service maintenance, en particulier à Mr.Jamal DEKRI, chef d'atelier maintenance, et Mr.Youness ELBEYRECH pour leurs chaleureux accueil, de nous avoir aidé techniquement et moralement, et pour leurs amabilité à nous écouter et à répondre à nos questions chaque fois que nous les sollicitons. Sans oublier à remercier Mr.Abdelhak SAOUABE, agent des méthodes, pour sa contribution.*

*Nous témoignons, notre profonde gratitude aux membres du jury, dans les personnes de M. Ali CHAABA qui a accepté de présider notre projet, M. Mostapha ELJAI qui nous a fait l'honneur de rapporter notre projet et M.Abderrahim OUDRA pour avoir accepté d'être notre examinateur.*

*Finalement, nous remercions tous ceux de PRODEC et de l'ENSAM qui de près ou de loin ont contribué à l'accomplissement de ce modeste travail.*

## Résumé

---

Ce projet industriel de fin d'études entre dans le cadre de l'amélioration de la productivité dans la zone FORD à la société STANDARD PROFIL Tanger. L'objectif de ce projet c'est d'augmenter du taux de rendement synthétique de la ligne H-004 de production des joints d'étanchéité des portes avant. Nous allons traiter le problème en commençant tout d'abord par une analyse de l'existant afin d'orienter nos plans d'action.

En ce qui concerne les solutions que nous allons proposer, ils vont s'articuler sur trois piliers :

- ✓ Approche organisationnelle qui vise l'amélioration de la fonction maintenance de l'entreprise.
- ✓ Mise en place de plan de maintenance préventive de machine de coupe et de presse d'injection.
- ✓ Application de SMED sur une presse d'injection.

**Mots clés** : TRS, Logigramme de diagnostic, PARETO, MTBF, WEIBULL, AMDEC, Maintenance préventive, SMED, Codification.

## Abstract

---

This industrial project graduation is part of the improvement in productivity in the area to society FORD STANDARD PROFILE Tangier. The objective of this project is to increase the Overall Equipment Effectiveness of the production line H-004 seals the front doors.

We will handle the problem by first starting with an analysis of the existing order to guide our action plans. Regarding the solutions that we will provide, they will be based on three pillars:

- ✓ Organizational approach which aims to improve the company's maintenance function.
- ✓ Implementation of preventive maintenance plan of cutting machine and injection molding machine.
- ✓ Application SMED on an injection molding machine.
- ✓

**Keywords:** OEE, Flowchart diagnosis, MTBF, PARET, WEIBULL, FMEA, Preventive maintenance, SMED, Codification.





## Liste des figures

---

|   |    |
|---|----|
| Figure 1: Branches de Standard Profil.....  | 1  |
| Figure 2 : Clients de Standard Profil.....  | 2  |
| Figure 3 : Organigramme de STANDARD PROFIL Maroc.....                                 | 5  |
| Figure 4 : Processus de fabrication au niveau de STANDARD PROFIL Maroc.....           | 6  |
| Figure 5 : Produits fabriqués pour les clients de SP.....                             | 7  |
| Figure 6 : Diagramme de GANTT.....  | 9  |
| Figure 7 : lay-out de la zone de production des joins des portes avant.....           | 10 |
| Figure 8 : Le TRS suivant la norme NFE 60-182.....                                    | 12 |
| Figure 9: Comparaison entre TD, TP et TQ pour la machine de coupe.....                | 17 |
| Figure 10 : Comparaison entre TD, TP et TQ pour la machine d'injection.....           | 17 |
| Figure 11 : les pourcentages d'arrêt de la machine de coupe.....                      | 18 |
| Figure 12 : les pourcentages d'arrêt de la machine d'injection.....                   | 19 |
| Figure 13 : machine presse d'injection.....   | 21 |
| Figure 14 : plastification de la matière.....   | 22 |
| Figure 15 : dosage de la matière d'injection.....                                     | 22 |
| Figure 16: refroidissement dans le moule.....   | 22 |
| Figure 17 : l'injection de la pièce dans le moule.....                                | 22 |
| Figure 18 : logigramme de diagnostic.....   | 24 |
| Figure 19: exemple de codification.....   | 27 |
| Figure 20 : fenêtre d'accueil.....  | 28 |
| Figure 21 : Formulaire de saisie.....   | 29 |
| Figure22: Tableau du bord de l'application.....                                       | 30 |
| Figure 23 : tableau AMDEC.....  | 33 |
| Figure 24 : diagramme de la bête à corne (presse d'injection).....                    | 35 |
| Figure 25 : diagramme de la bête à corne (machine de coupe).....                      | 35 |
| Figure 26 : diagramme de pieuvre (presse par injection).....                          | 36 |
| Figure 27: diagramme de pieuvre (machine de coupe).....                               | 37 |
| Figure 28: quatre phases chronologiques pour aboutir à une optimisation du temps..... | 46 |
| Figure 29 : Diagramme bête à corne du système de chauffage du moule.....              | 51 |
| Figure 30: Diagramme pieuvre du système de chauffage du moule.....                    | 51 |
| Figure 31 : diagramme FAST.....   | 53 |
| Figure 32 : système de chauffage modélisé par catia v5.....                           | 53 |
| Figure 33: modèle de calcul numérique pour une poutre.....                            | 54 |
| Figure 34 : contrainte de Von mises pour une poutre.....                              | 55 |
| Figure 35 : modèle de calcul numérique pour le support supérieur.....                 | 55 |
| Figure 36 : modèle de calcul numérique pour le support supérieure.....                | 56 |

## Liste des tableaux

---

|  |    |
|--|----|
| Tableau 1: Fiche signalétique de STANDARD PROFIL Maroc .....                     | 4  |
| Tableau 2 : Certifications qualité de l'entreprise .....                         | 4  |
| Tableau 3: outil QQOCQP .....  | 9  |
| Tableau 4: suivi du TRS de la machine d'injection .....                          | 16 |
| Tableau 5: suivi du TRS de la machine de coupe .....                             | 13 |
| Tableau 6 : Les temps et les pourcentages d'arrêt pour la machine de coupe ..... | 14 |
| Tableau 7: Les temps et les pourcentages d'arrêt de la machine d'injection ..... | 14 |
| Tableau 8: codification .....  | 27 |
| Tableau 9 : emplacements des problèmes dans la machine .....                     | 28 |
| Tableau 10 : emplacements des problèmes dans la machine .....                    | 28 |
| Tableau 11: description des problèmes .....                                      | 28 |
| Tableau 12 : grille de cotation de la fréquence sur 5 niveaux .....              | 36 |
| Tableau 13 : grille de cotation du non détection sur 4 niveaux.....              | 36 |
| Tableau 14: grille de cotation de la gravité sur 4 niveaux .....                 | 36 |
| Tableau 15: Les éléments les plus critiques de presse d'injection.....           | 42 |
| Tableau 16: Les éléments les plus critiques de presse d'injection.....           | 42 |
| Tableau 17:TBF du disque de coupe .....  | 45 |
| Tableau 18: Période d'intervention de presse d'injection.....                    | 46 |
| Tableau 19 : Période d'intervention de machine de coupe .....                    | 46 |
| Tableau 20 : externalisation des opérations .....                                | 50 |
| Tableau 21 : externalisation des opérations .....                                | 51 |
| Tableau 22: résultat de calcul des gains .....                                   | 62 |
| Tableau 23 : résultat de calcul de dépenses de machine de coupe .....            | 63 |
| Tableau 24: résultat de calcul de dépenses de machine d'injection.....           | 63 |

## Liste des acronymes

---

**AMDEC** : Analyse des Modes de Défaillance, leurs Effets et leur Criticité

**ND** : Non Détection

**F** : Fréquence

**C** : Criticité

**G**: Gravité

**QQOQCP** : Qui, Quoi, Où, Quand, Comment, Pourquoi

**SMED** : Single Minute Exchange of Die

**TRS** : Taux de rendement synthétique

**TD** : Taux de disponibilité

**TP** : Taux de performance

**TQ** : Taux de qualité

**MTBF** : Mean time between failures

**MTTR** : Mean time to repair



|   |           |
|---|-----------|
| <b>CHAPITRE V : APPLICATION DE LA METHODE SMED SUR LA MACHINE D'INJECTION .....</b> | <b>45</b> |
| I. GENERALITES SUR LA METHODE SMED : .....  | 46        |
| <i>I.1. Introduction :</i> .....  | 46        |
| II. METHODOLOGIE SMED .....   | 47        |
| <i>II.1. Création d'un groupe de travail</i> .....                                  | 47        |
| III. MISE EN ŒUVRE DE LA METHODE SMED .....   | 49        |
| <i>III.1. chantier pilote :</i> .....   | 49        |
| <i>III.2. Application de SMED :</i> .....   | 49        |
| IV. CONCLUSION .....  | 59        |
| <b>CHAPITRE VI : ETUDE TECHNO-ECONOMIQUE .....</b>                                  | <b>60</b> |
| I. CALCUL ESTIMATIF DES GAINS L'APPLICATION DU PLAN DE MAINTENANCE .....            | 61        |
| <i>I.1. Méthode de calcul</i> .....   | 61        |
| <i>I.2. Calcul des gains</i> .....  | 61        |
| <i>I.3. Calcul des dépenses</i> .....   | 62        |
| II. CALCUL ESTIMATIF DES GAINS L'APPLICATION DE SMED .....                          | 64        |
| <i>II.1. Calcul des gains</i> .....   | 64        |
| III. CONCLUSION .....   | 64        |
| <b>CONCLUSION GÉNÉRALE .....</b>  | <b>65</b> |
| <b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>  | <b>66</b> |
| <b>ANNEXES .....</b>  | <b>69</b> |



## *Introduction générale*

Dans un contexte économique de plus en plus difficile, les clients exigeant des réductions de prix et la concurrence imposant une compétition accrue, l'entreprise essaie de maintenir ses marges. L'amélioration de la productivité est de plus en plus nécessaire pour maintenir sa compétitivité.

Notre projet a pour objectif d'augmenter du taux de rendement synthétique de la ligne de production des joints d'étanchéité des portes avant.

Le premier chapitre comprendra une présentation du contexte général du projet. Il donnera une présentation de STANDAD PROFIL Tanger en tant qu'organisme d'accueil, une introduction au sujet, la présentation des membres équipe projet et le Gantt des tâches effectuées tout au long du stage.

Le deuxième chapitre aura pour objet l'analyse de l'existant. Il comprendra une description du processus de production, une analyse des indicateurs de suivis, notamment le taux de rendement synthétique, Cette étude va permettre de déceler les principales causes qui affectent la baisse de la productivité. De plus il déterminera l'ensemble des chantiers d'amélioration à réaliser.

Dans le troisième chapitre nous détaillons Approche organisationnelle qui vise l'amélioration de la fonction maintenance de l'entreprise.

Dans le chapitre quatre nous présentons le chantier maintenance qui vise l'élaboration d'un plan de maintenance à partir d'une étude AMDEC.

Dans le chapitre cinq nous présentons la méthode SMED et son application sur une presse d'injection.

Dans le chapitre six nous quantifions le gain apporté par les améliorations proposées pour justifier la rentabilité du projet.





---

# CHAPITRE I : CONTEXTE GENERALE DU PROJET

---

## I. Présentation du groupe STANDARD PROFIL :

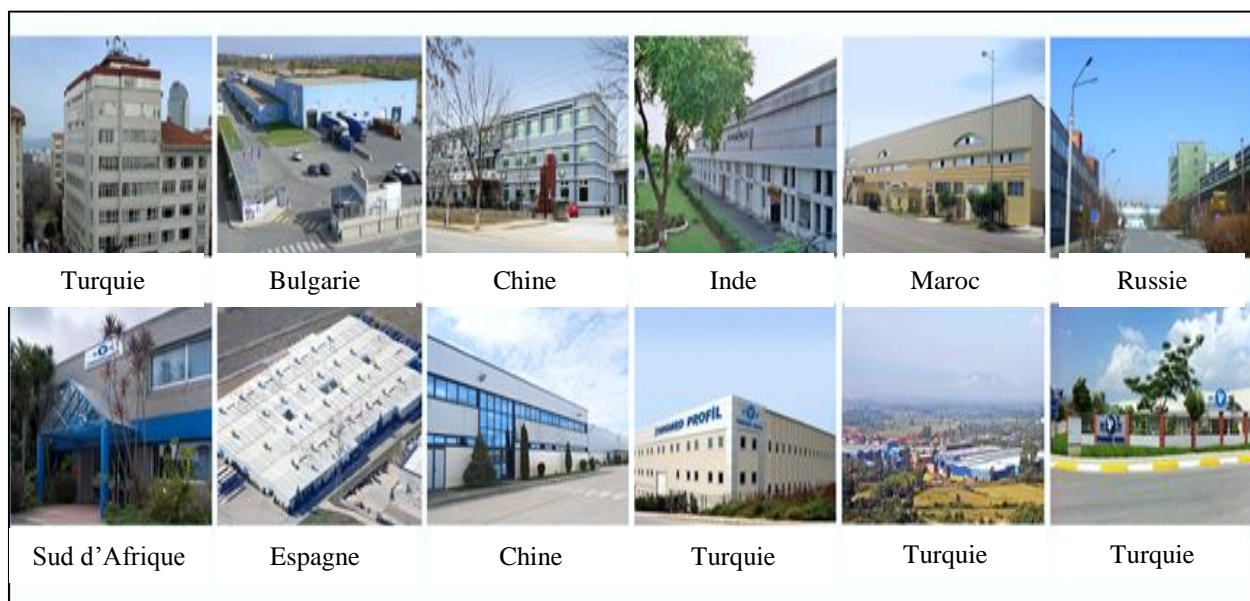
### I.1. STANDARD PROFIL en bref :

STANDARD PROFIL est une société multinationale avec plus de 30 ans d'expérience dans le secteur d'automobile, spécialiste dans les joints d'automobile, elle fabrique les coulisses et les lécheurs (extérieurs et intérieurs) des portes des voitures.

Le développement technologique ainsi que la qualité de service client sont les clés de succès de la société avec ses clients à travers le monde.

Avec ses actionnaires industriels, la société crée la promotion d'un développement stable et durable pour ses clients à long terme dans une période critique pour l'industrie des systèmes d'étanchéité.

Le siège de la société se situe en Turquie dans la ville Düzce et elle a des branches dans plusieurs pays tel que.



*Figure 9: Branches de Standard Profil*

### I.3. Clients de l'entreprise :

La société collabore avec plusieurs clients dans le secteur automobile dans le monde entier. Standard Profil alimente les joints d'automobiles pour des constructeurs automobiles en Europe.

En plus la société fournit des joints à ses affiliées en Chine, en Inde, au Mexique et en Russie.

Parmi les clients de l'entreprise, les suivants :



Figure 10 : Clients de Standard Profil

## II. Présentation de l'entreprise STANDARD PROFIL Maroc SARL :

### II.1. STANDARD PROFIL Maroc en bref :

En 16 avril 2012 la société mère Standard Profil qui se situe en Turquie a absorbé la société espagnole basée à Logroño " Kaufil Sealing Technologies S.A d'étanchéité ". Cette dernière avait une filiale à Tanger sous le nom de « Manipulados » d'où la naissance de Standard Profil Maroc.

Après cette acquisition Standard Profil est devenu le deuxième fournisseur de systèmes d'étanchéité automobile en Europe, la société a pu élargir à la fois sa production, et ses capacités de service à la clientèle.

Fiche signalétique de l'entreprise :

| Dénomination sociale | Standard Profil Maroc   |
|----------------------|---|
| Alias                | SP  |
| Forme juridique      | SARL  |
| Date de création     | mars-07   |
| Objet                | Fabrication des profils en caoutchouc pour les voitures                                   |
| Siège Social         | Ilot 30, Lot N°2 Tanger Free Zone   |
| Détenteur de Capital | Standard Profil dont le siège se trouve à Düzce   |
| Capital              | 1 000 000 €   |
| Chiffre d'affaire    | 71 705 000 DH (2012)  |
| Superficie           | 9570 m <sup>2</sup>   |
| Clients              | - <b>P.S.A</b> pour le projet T7: Peugeot 308 et B-9: Citroën Berlingo & Peugeot Partner. |
|                      | - <b>Renault/Nissan</b> pour le projet X-61: Renault Kangoo.                              |
|                      | - <b>Volkswagen Group</b> pour le projet SE-250: Seat Ibiza et Seat Leon.                 |
|                      | - <b>GENERAL MOTORS</b> pour le projet: Opel Meriva.                                      |
|                      | - <b>FORD</b> pour le projet : Ford Focus.  |
| Effectif             | -524 opérateurs.  |
|                      | -104 indirectes.  |
|                      | -15 Staffs.   |
| Concurrents          | Cooper standard, Toyoda, Sealynx  |
| Objectifs            | Satisfaire les besoins et les attentes des clients.                                       |
| Site                 | <a href="http://www.standardprofil.com">www.standardprofil.com</a>                        |

Tableau 1: Fiche signalétique de STANDARD PROFIL Maroc

Certifications qualité de l'entreprise :

| Agence | Date       | Renouvellement |
|--------|------------|----------------|
| AENOR  | 01/06/2012 | 31/05/2015     |
| AENOR  | 01/06/2012 | 31/05/2015     |
| AENOR  | 01/06/2012 | 31/05/2015     |
| AENOR  | 01/03/2012 | 28/02/2015     |

Tableau 2 : Certifications qualité de l'entreprise

## II.2. Organigramme de l'entreprise

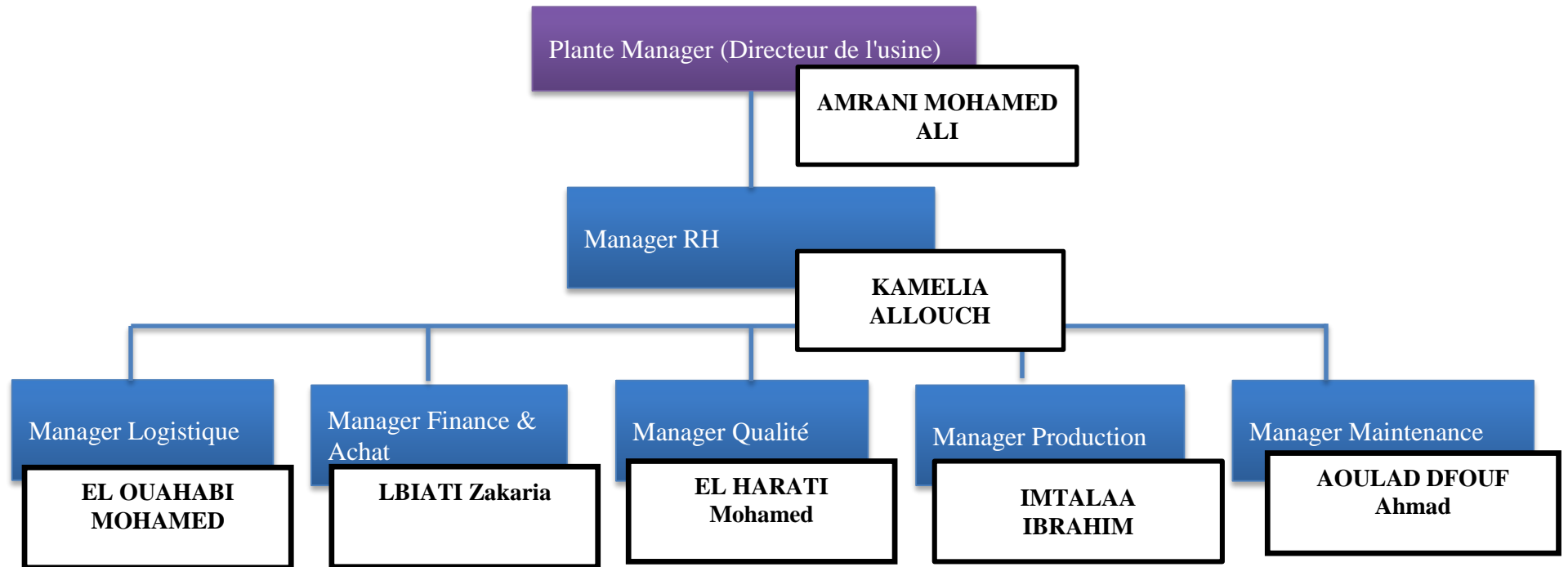


Figure 11 : Organigramme de STANDARD PROFIL Maroc

### II.3. Processus de fabrication au niveau de STANDARD PROFIL Maroc :

Le processus de fabrication des joints d'étanchéité pour Standard Profil Maroc est partagé en deux phases: opérations de mélange et d'extrusion se font en Espagne, et opérations de moulage et de finition se réalisent au Maroc.

Standard Profil Maroc reçoit un produit semi-fini, des barres sous forme de profilés qu'elle les coupe en pièces selon la forme désirée, ensuite elle les prépare pour les opérations de moulage. Ces opérations permettent l'injection de la matière aux extrémités des pièces coupées auparavant selon des critères et des normes à respecter en termes de temps, de pression et de température. Pour la finition des produits, des opérations d'ébavurage sont nécessaires avant de passer au contrôle final. Après ce contrôle les pièces conformes aux exigences sont emballées et expédiées vers le client.

Les opérations ci-dessus peuvent être schématisées comme suit :

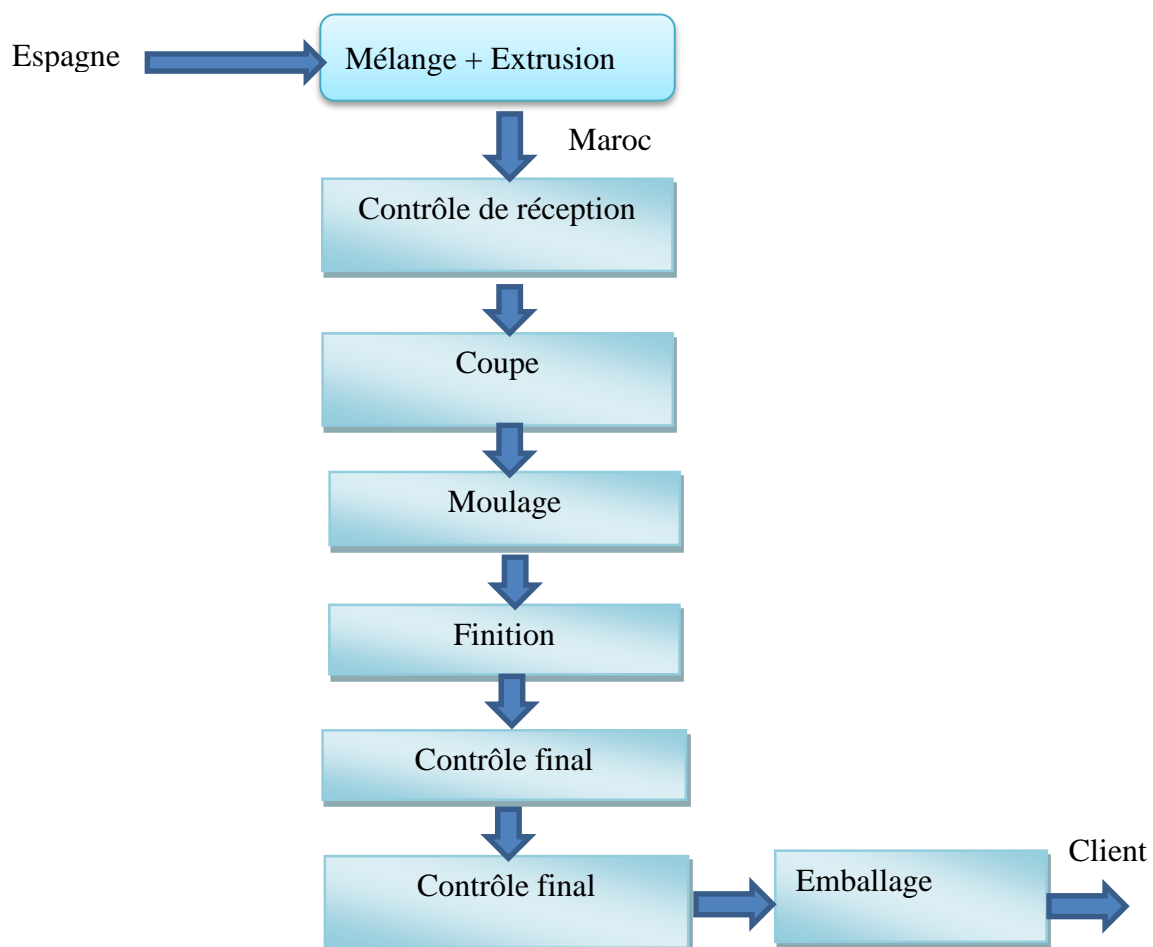


Figure 12 : Processus de fabrication au niveau de STANDARD PROFIL Maroc

## II.4. Produits fabriqués à STANDARD PROFIL Maroc :

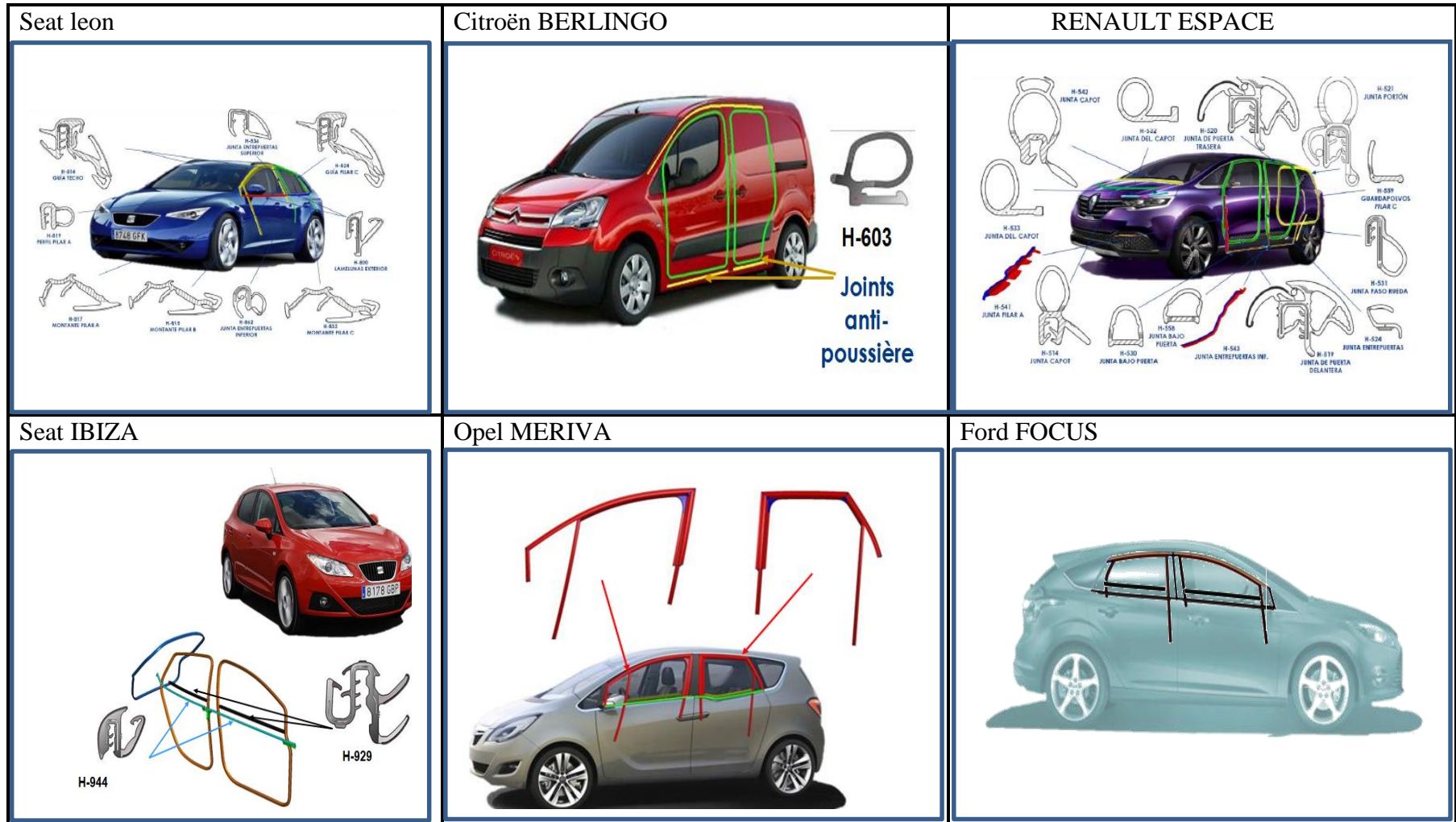


Figure 13 : Produits fabriqués pour les clients de SP





## III. Présentation du projet :

### III.1. La problématique

Le but de toute organisation industrielle est de réaliser du profit. Pour une entreprise telle que standard profil, ceci est conditionné par une chaîne de production performante capable de faire face aux contraintes du métier.

Standard Profil vise en permanence à lancer des projets d'améliorations dans les différents secteurs afin d'optimiser, maîtriser son système de production et améliorer sa productivité.

Ainsi, c'est dans ce cadre-là que s'inscrit ce projet de fin d'études intitulé « Amélioration du taux de rendement synthétique dans la zone de fabrication des joints d'étanchéité » qui, comme son titre l'indique, vise à éliminer les différentes causes de pertes d'efficacité et de mettre en œuvre toutes les actions permettant d'améliorer la disponibilité, la fiabilité, la performance et ainsi le rendement de ses machines.

### III.2. La démarche de résolution de problème

La résolution de problèmes est un processus en quatre étapes :

- ✚ Identification : Comprendre la situation, identifier un/les problèmes prioritaires, définir des objectifs à atteindre
- ✚ Analyse : Rechercher toutes les causes possibles et remonter à la cause racine ou aux causes majeures
- ✚ Solution : Rechercher et sélectionner une solution ou un groupe de solutions à mettre en place
- ✚ Action : Mettre en œuvre le plan d'action. Valider, pérenniser et diffuser les résultats obtenus

Pour décrire d'une manière structurée notre problématique, nous avons utilisés l'outil QQOCQP:

|                 |   |   |
|-----------------|---|---|
| <b>Qui</b>      | <b>Qui est concerné par le problème ?</b> | <b>Le service de production</b>               |
| <b>Où</b>       | Où apparait le problème ?                 | Dans la zone Ford                             |
| <b>Comment</b>  | Comment mesurer le problème et            | A l'aide des feuilles de relevés et           |
|                 | proposer ses solutions ?                  | du calcul de TRS                              |
| <b>Quand</b>    | Quand apparait le problème ?              | Depuis la mise en marche de la Machine        |
| <b>Pourquoi</b> | Pourquoi il faut résoudre ce problème ?   | L'amélioration du rendement dans la zone Ford |

Tableau 3: outil QQOCQP

### III.3. Cahier de charge :

Les objectifs du projet ont été formulés sous forme d'un cahier de charges.

Les principales missions à exécuter durant le projet sont :

- ✓ Collecte des données et informations sur la maintenance et la production.
- ✓ Fiabilisation des informations.
- ✓ Diagnostic et analyse de l'existant.
- ✓ Lancement et suivi des chantiers d'amélioration.
- ✓ Estimation des gains escomptés suite à l'atteinte des objectifs.

### III.4. Diagramme Gantt

Le diagramme GANTT est un outil qui permet de gérer et d'ordonner les tâches d'un projet dans le temps. Nous avons élaboré un diagramme GANTT pour notre projet afin de suivre l'avancement de notre projet.

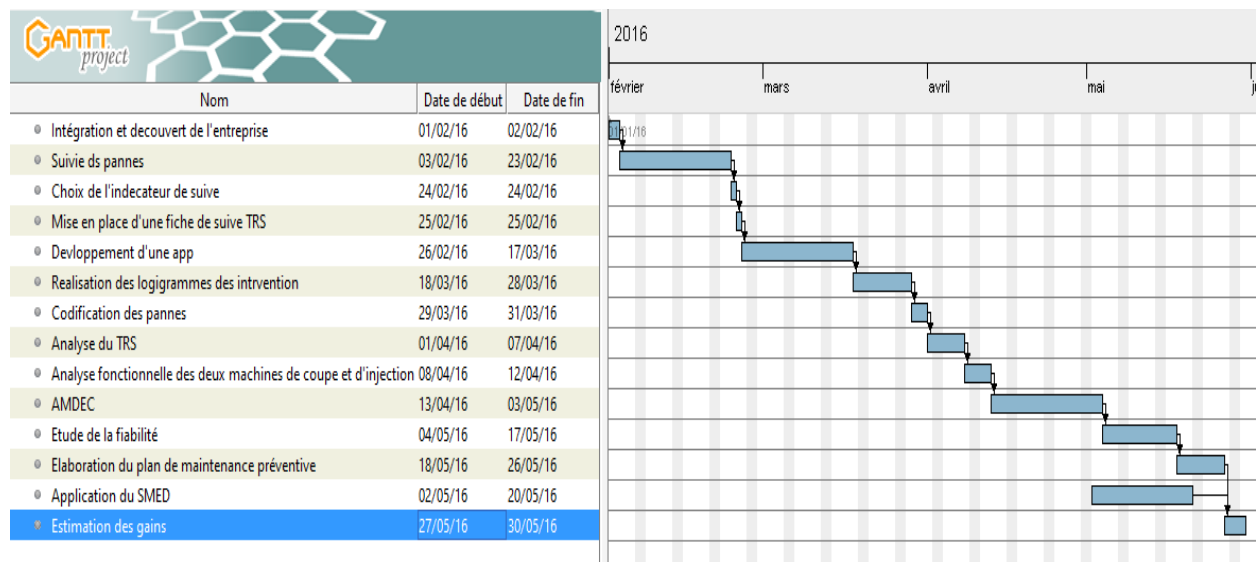


Figure 14 : Diagramme de GANTT

## IV. Conclusion

L'objectif de ce chapitre était de prendre connaissance avec standard profil, organisme d'accueil, de sa structure organisationnelle, de ses principales activités, de son processus de fabrication ainsi que la conjoncture qui a donné naissance à notre PFE.

---

## CHAPITRE II : DIAGNOSTIC DE L'ETAT ACTUE

---

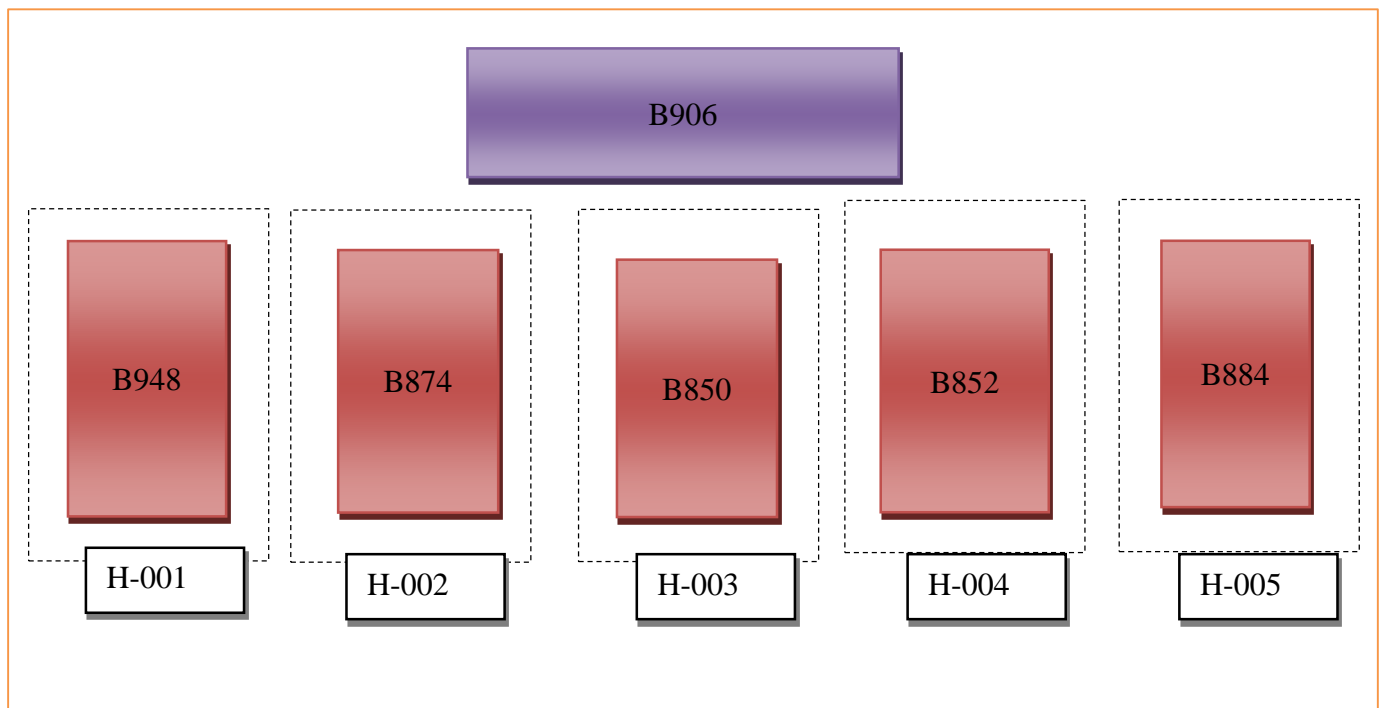
## I. Présentation de la zone étudiée

Comme toute entreprise multinationale moderne, et dans un secteur automobile où le développement permanent devient une condition des plus importantes pour garantir la pérennité des organismes, Standard profil conduit des projets d'amélioration au quotidien et inscrit le progrès continu comme un objectif principal pour l'ensemble de son personnel.

C'est dans ce cadre que nous avons choisis avec l'équipe de production de nous concentrer sur la zone de fabrication des joints des portes automobile avant du projet Ford.

Représentation du lay-out :

La zone de fabrication des joints des portes avant se compose d'une machine de coupe et 5 lignes de production chaque ligne contient deux machine d'injection plastique



*Figure 15 : lay-out de la zone de production des joints des portes avant*

**Machines de coupe :** Machines semi-automatique conçues pour le découpage des pièces.

**Machines d'injection :** Les moules, installés sur une machine spéciale (presse), sont constitués de deux coquilles (partie fixe et partie mobile) qui sont fortement pressées l'une contre l'autre au moment du moulage puis écartées pour permettre l'éjection de la pièce moulée.

Pour que l'étude soit plus précise nous avons commencé le calcul et l'amélioration du TRS par une seule ligne de production H-004.

## II. Taux de rendement synthétique :

### II.1 Définition :

La norme **NF E 60 - 182** définit le TRS comme étant :

Le TRS ou le taux de rendement, en anglais OEE (Overall Equipment Effectiveness) synthétique ou encore le TRG est un indicateur de performance qui permet de mesurer le degré de performance au niveau gestion de la maintenance, qualité et production. Il est constitué de taux d'indicateurs de la performance, du fonctionnement, de l'utilisation et de la qualité du moyen de production. Si l'un de ces taux se dégrade, le TRS chute également. Le TRS est le seul indicateur qui tient compte de tous les paramètres affectant la productivité de la machine.

L'application de TRS a pour les objectifs ce qui suit :

- Augmenter la capacité nette des équipements de production ;
- Développer l'activité ;
- Définir les investissements ;
- Avoir une méthode pour construire la stratégie TRS ;
- Piloter la démarche TRS en animant les hommes ;
- Évaluer et chiffrer la rentabilité des actions d'amélioration ;

### II.2. Application de l'indicateur TRS :

Les indicateurs de suivi montrent la performance des machines dans l'ensemble, mais ne permettent pas d'analyser le fond de la performance, ainsi nous avons ajouté l'indicateur TRS que nous avons suivi et calculer à l'aide d'une fiche de de suivi méthodique voir l'annexe I.

Le taux de rendement synthétique (TRS) est un indicateur du taux d'utilisation des machines. Il compare la production réelle à la capacité de production théorique des machines ou d'un équipement.

### II.3. Pourquoi mesurer le TRS ?

Le TRS permet de rendre visibles les écueils de production, l'améliorer signifie éliminer ces écueils :

- Pertes de matière

- Micro arrêts
- Changement de produits
- Pannes
- Pertes de vitesse
- Taux de rebus

## II.4. Méthode de Calcul du TRS

Le calcul de TRS est défini par la formule suivante :

$$TRS = \frac{\text{Temps utile}}{\text{temps d'ouverture}}$$

La méthode de calcul du TRS se réalise comme suit :

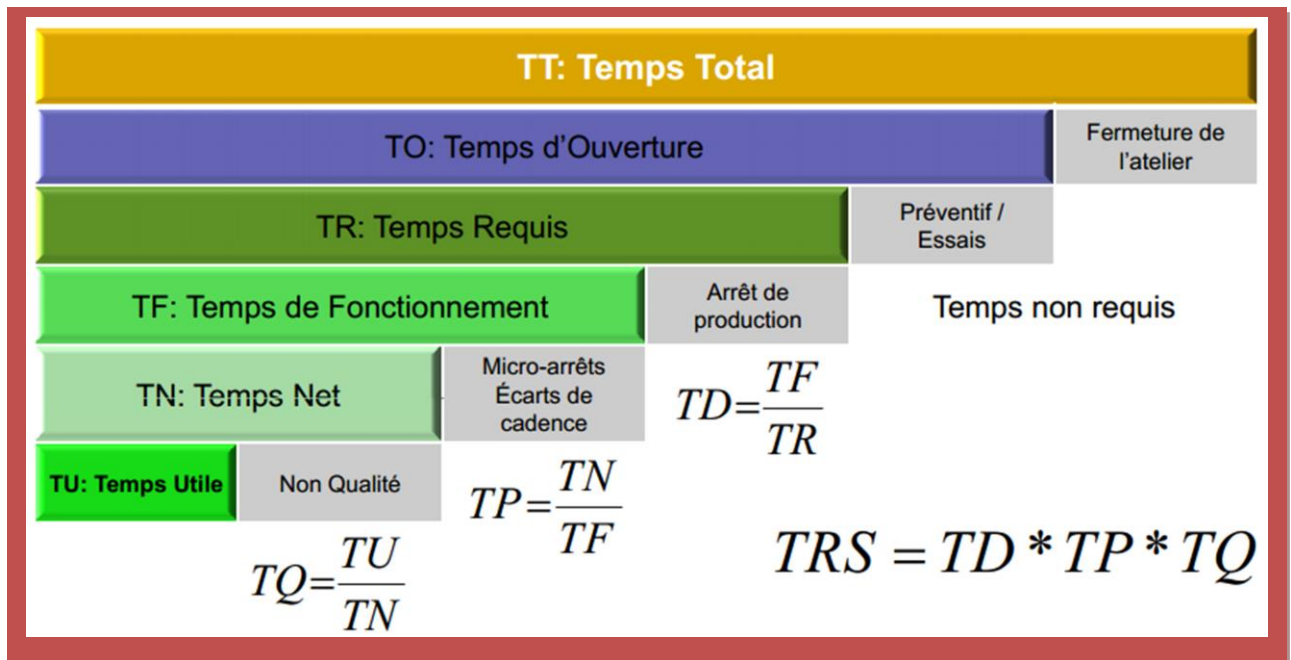


Figure 17 : Le TRS suivant la norme NFE 60-182

### a) Le taux de disponibilité:

La **disponibilité opérationnelle** d'un équipement ou d'un système est une mesure de performance qu'on obtient en divisant la durée durant laquelle l'équipement ou le système est opérationnel par la durée totale durant laquelle on aurait souhaité qu'il le soit. On exprime classiquement ce ratio sous forme de pourcentage, le taux de disponibilité défini par le rapport suivant :

$$TD = \text{Temps de fonctionnement} / \text{Temps requis}$$

Avec :

$$\text{Temps de fonctionnement} = \text{Temps Requis} - \text{Temps total d'arrêt}$$

Et:

$$\text{Temps total d'arrêt} = \text{Temps d'arrêt dus à des pannes} + \text{Temps d'arrêt dus à des changements de production}$$

### b) Le taux de performance

Le taux de performance met en évidence le temps pendant lequel la machine produit à la cadence prévue et, de ce fait, fait ressortir les écarts de performance.

En effet, une utilisation optimale de la machine doit être caractérisée par une cadence théorique

L'utilisation de systèmes semi-automatiques ou automatiques permet de mesurer la cadence effective des machines à cycles automatiques. Cette mesure est indispensable au calcul du taux de performance de la machine et permet d'identifier les écarts de cadence.

$$\text{TP} = \text{Temps net} / \text{Temps de fonctionnement}$$

Pour mesurer le taux de performance on doit calculer le temps net, le temps de micro-arrêts et les pertes des sous-vitesses ou les pertes dus aux ralentissements. On a procédé comme suit :

$$\text{Le Temps Net} = \text{Le Temps de Fonctionnement} - (\text{micro-arrêts} + \text{sous-vitesse})$$

Et pour calculer le temps des ralentissements ou sous-vitesse on a :

$$\text{Temps théorique pour les pièces produites} = ((\text{Nombre des pièces produites}) / \text{cadence})$$

Alors soit :

$$\text{Temps de sous-vitesse} = \text{Temps de Fonctionnement} - \text{Temps théorique des pièces produites}$$

**c) Taux de Qualité:**

Le taux de qualité d'un processus est son aptitude à produire des produits conformes, c'est le pourcentage des produits conformes par rapport aux produits totaux fabriqués.

Le taux de qualité qui correspond à la quantité bonne des pièces produites. C'est le nombre d'unités respectant les critères de qualité par rapport au nombre total d'unités produites pendant les heures productives.

Certains de ces points seront traités ultérieurement dans les chapitres suivants.

D'où :

$$TQ = (\text{Temps utile} / \text{Temps net}) = (\text{Nbre pièces bonnes} / \text{Nbre pièces réalisées})$$



## II.5 calcule du TRS de la situation actuelle

Les tableaux suivant présent l'état actuelle du TD, TP, TQ et du TRS de la machine d'injection pendant 27 jours :

Le détaille de calcul est représenté dans l'annexe II

| Date       | Taux de disponibilité | Taux de performance | Taux de qualité | TRS |
|------------|-----------------------|---------------------|-----------------|-----|
| 22/02/2016 | 14%                   | 98%                 | 95%             | 13% |
| 23/02/2016 | 86%                   | 100%                | 100%            | 86% |
| 24/02/2016 | 23%                   | 100%                | 100%            | 23% |
| 25/02/2016 | 59%                   | 100%                | 98%             | 58% |
| 26/02/2016 | 41%                   | 100%                | 85%             | 35% |
| 27/02/2016 | 88%                   | 100%                | 100%            | 87% |
| 29/02/2016 | 47%                   | 100%                | 98%             | 46% |
| 01/03/2016 | 93%                   | 100%                | 99%             | 92% |
| 02/03/2016 | 32%                   | 100%                | 100%            | 32% |
| 03/03/2016 | 90%                   | 100%                | 100%            | 90% |
| 04/03/2016 | 90%                   | 99%                 | 99%             | 87% |
| 05/03/2016 | 71%                   | 100%                | 99%             | 70% |
| 07/03/2016 | 30%                   | 93%                 | 98%             | 28% |
| 08/03/2016 | 98%                   | 100%                | 100%            | 97% |
| 09/03/2016 | 42%                   | 100%                | 98%             | 41% |
| 10/03/2016 | 92%                   | 100%                | 100%            | 92% |
| 11/03/2016 | 29%                   | 100%                | 100%            | 29% |
| 12/03/2016 | 90%                   | 100%                | 100%            | 90% |
| 14/03/2016 | 34%                   | 100%                | 100%            | 34% |
| 15/03/2016 | 83%                   | 100%                | 100%            | 83% |
| 16/03/2016 | 20%                   | 100%                | 99%             | 20% |
| 17/03/2016 | 80%                   | 100%                | 97%             | 77% |
| 18/03/2016 | 22%                   | 100%                | 97%             | 22% |
| 19/03/2016 | 85%                   | 100%                | 92%             | 79% |
| 21/03/2016 | 31%                   | 100%                | 96%             | 30% |
| 22/03/2016 | 79%                   | 100%                | 99%             | 78% |
| 23/03/2016 | 38%                   | 100%                | 100%            | 38% |
| moyenne    | 59%                   | 100%                | 98%             | 58% |

*Tableau 4: suivi du TRS de la machine d'injection*



Le tableau suivant présente l'état actuelle du TD, TP, TQ et du TRS de la machine de coupe pendant 27 jours :

| Date       | Taux de disponibilité | Taux de performance | Taux de qualité | TRS |
|------------|-----------------------|---------------------|-----------------|-----|
| 22/02/2016 | 81%                   | 98%                 | 94%             | 75% |
| 23/02/2016 | 85%                   | 98%                 | 96%             | 80% |
| 24/02/2016 | 85%                   | 99%                 | 95%             | 80% |
| 25/02/2016 | 85%                   | 99%                 | 93%             | 78% |
| 26/02/2016 | 85%                   | 98%                 | 94%             | 78% |
| 27/02/2016 | 83%                   | 98%                 | 93%             | 76% |
| 28/02/2016 | 87%                   | 98%                 | 94%             | 80% |
| 29/02/2016 | 83%                   | 98%                 | 94%             | 77% |
| 01/03/2016 | 83%                   | 99%                 | 94%             | 77% |
| 02/03/2016 | 84%                   | 98%                 | 92%             | 76% |
| 03/03/2016 | 86%                   | 98%                 | 92%             | 77% |
| 04/03/2016 | 83%                   | 99%                 | 95%             | 78% |
| 05/03/2016 | 83%                   | 99%                 | 96%             | 79% |
| 06/03/2016 | 84%                   | 98%                 | 94%             | 77% |
| 07/03/2016 | 85%                   | 98%                 | 93%             | 78% |
| 08/03/2016 | 84%                   | 97%                 | 95%             | 77% |
| 09/03/2016 | 86%                   | 99%                 | 94%             | 81% |
| 10/03/2016 | 87%                   | 99%                 | 96%             | 82% |
| 11/03/2016 | 84%                   | 98%                 | 95%             | 78% |
| 12/03/2016 | 85%                   | 98%                 | 92%             | 77% |
| 13/03/2016 | 81%                   | 98%                 | 95%             | 75% |
| 14/03/2016 | 84%                   | 98%                 | 94%             | 77% |
| 15/03/2016 | 83%                   | 99%                 | 94%             | 77% |
| 16/03/2016 | 83%                   | 99%                 | 93%             | 76% |
| 17/03/2016 | 84%                   | 93%                 | 93%             | 73% |
| 18/03/2016 | 84%                   | 93%                 | 93%             | 73% |
| 19/03/2016 | 81%                   | 97%                 | 94%             | 74% |
| MOYENNE    | 84%                   | 98%                 | 94%             | 77% |

*Tableau 5: suivi du TRS de la machine de coupe*

Comparaison entre le Taux disponibilité, le taux de performance et le taux de qualité pour la machine de coupe :

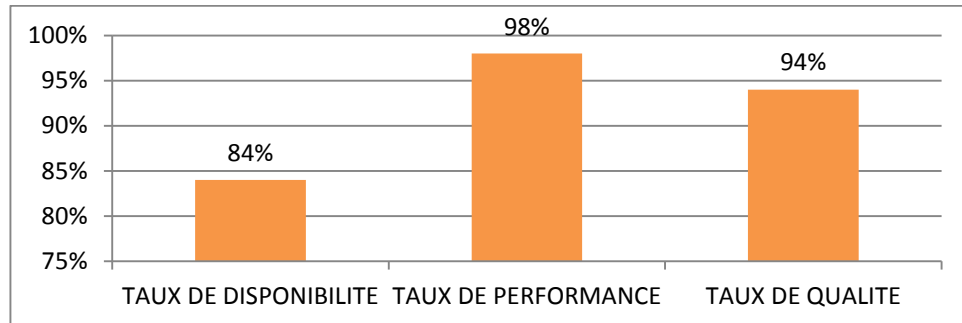


Figure 9: Comparaison entre TD, TP et TQ pour la machine de coupe

Comparaison entre le Taux disponibilité, le taux de performance et le taux de qualité pour la machine d'injection :

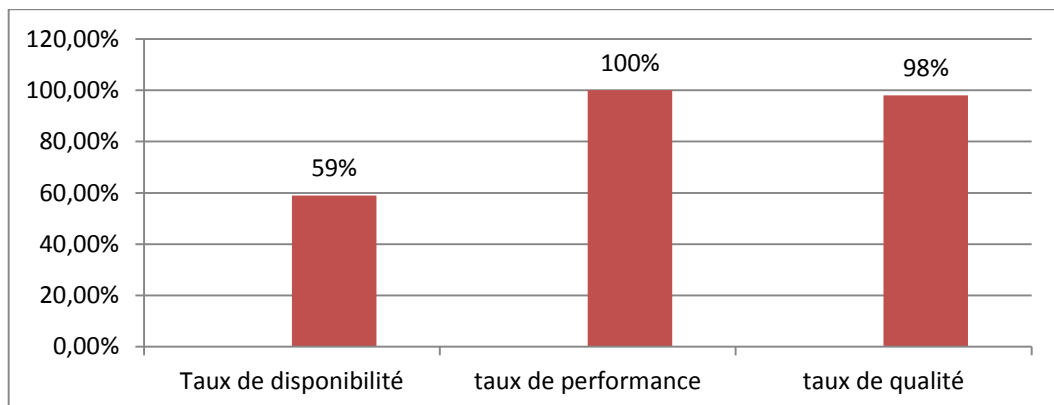


Figure 10 : Comparaison entre TD, TP et TQ pour la machine d'injection

- Commentaire :

Le Taux de rendement synthétique est faible, et c'est à cause de la faiblesse du taux de disponibilité.

Donc pour améliorer TRS il faut agir sur cet indicateur.

### II-5. Analyse des causes de baisse du TD :

La baisse du taux de disponibilité est principalement due à :

- Temps d'arrêt dû aux pannes.
- Temps d'arrêt de changement de référence.

### 1. Analyse des arrêts de machine de coupe.

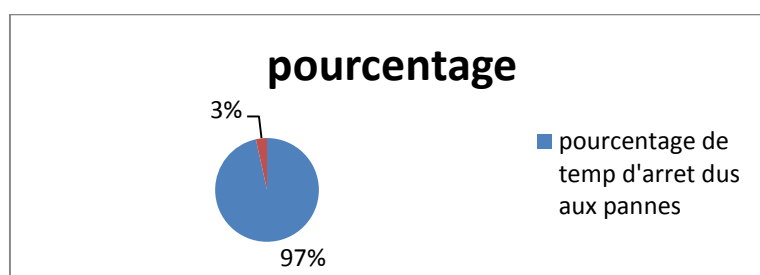
Pour trouver les causes principales affectant la baisse du TD, nous avons comparés entre les deux temps d'arrêts pour les deux machines.

D'après l'analyse des travaux de maintenance pour les équipements de production, nous concluons que les travaux correctifs dominent les travaux préventifs. En revanche la disponibilité machine reste très importante et dépasse même l'objectif visé par le service maintenance qui est de 95%. Cela explique la non fiabilité des enregistrements des réalisations des travaux actuels (la non fiabilité de l'historique des interventions) ou/et le service maintenance intervient d'une manière correcte et au bon moment.

Le graphe suivant présente le temps d'arrêts pour la machine de coupe :

|              | Arrêt du aux pannes | Arrêt du aux changements de référence |
|--------------|---------------------|---------------------------------------|
| Durée totale | 1649                | 59                                    |
| Pourcentage  | 97%                 | 3%                                    |

*Tableau 6 : Les temps et les pourcentages d'arrêt pour la machine de coupe*



*Figure 11 : les pourcentages d'arrêt de la machine de coupe*

- Commentaire :

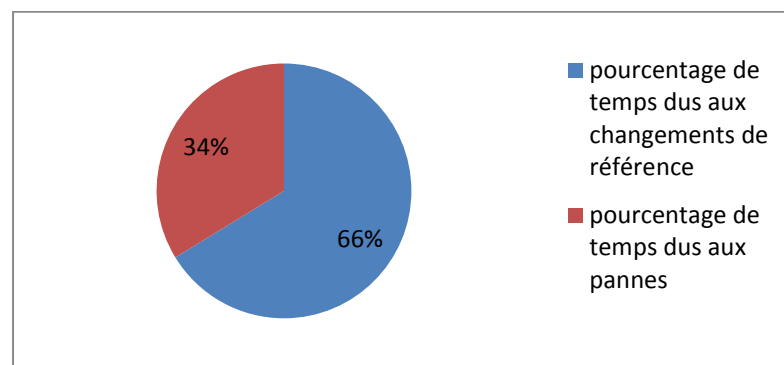
Nous remarquons que le taux de disponibilité est dû aux pannes.

## 2. Analyse des arrêts de machine d'injection

Le graphe présente le temps d'arrêts pour la machine d'injection :

|                       | Arrêt du aux changements de référence | Arrêt du aux pannes |
|-----------------------|---------------------------------------|---------------------|
| Durée totale d'arrêts | 3446                                  | 1755                |
| Pourcentage           | 66%                                   | 34%                 |

*Tableau 7: Les temps et les pourcentages d'arrêt de la machine d'injection*



*Figure 12 : les pourcentages d'arrêt de la machine d'injection*

- Commentaire :

En se basant sur les données représentées sur le graphique nous remarquons que le taux de disponibilité de presse est dû aux pannes et le temps de changement de série.

Pour les arrêts dus aux pannes, on a pu découvrir après les analyses des travaux de maintenance les causes les plus critiques qui sont :

- Manque d'expérience de quelques intervenants de la maintenance curative.
- Les travaux correctifs dominent les travaux préventifs.

- Absence d'une gamme opératoire de réparation pour les pannes de la machine causant les défauts de qualité.
- La non fiabilité des enregistrements des pannes.

### **III. Conclusion :**

Le suivi et l'analyse pendant 27 jours pour les deux machines de coupe et d'injection, montre une chute du TRS. Cette chute est due à l'indisponibilité.

On constate que la machine de coupe et celle d'injection sont sujettes à beaucoup d'arrêts, alors pour augmenter le taux de disponibilité, nous allons focaliser sur les pannes pour la machine de coupe pour éliminer les arrêts, concernant la machine d'injection, nous allons agir sur les pannes ainsi que le changement de série.

Les chapitres suivants présentent l'ensemble des solutions que nous avons proposées afin d'augmenter le TRS pour les deux machines de coupe et d'injection.

---

## CHAPITRE III : APPROCHE ORGANISATIONNEL

---



## I. Elaboration d'un manuel d'intervention

L'objectif de manuel est de décrire en détail l'ensemble des étapes avec des images que le technicien est censé de faire lors d'un diagnostic d'un défaut de qualité, à savoir les causes probables ainsi que les outils dont il doit se disposer. Voir annexe III.

Face à un défaut de qualité imprévu, le technicien doit faire une analyse afin d'arriver à la cause racine, cette étape incontournable de l'intervention peut prendre une grande durée, ce qui augmente la durée de l'intervention, pour remédier à cette handicap et afin de minimiser le MTTR l'idée était de standardiser le diagnostic correctif, et d'en associer l'intégralité des causes qui pourraient produire l'arrêt de production.

Afin de réduire le temps de , nous avons choisi comme outil d'aide au diagnostic l'élaboration des logigrammes de diagnostic des défauts au niveau des machines de l'injection .

### **Généralité sur le moulage par injection (l'injection plastique) :**

Le moulage par injection, aussi appelé injection plastique, est un procédé de mise en œuvre de matières thermo formable, notamment les matières thermoplastiques.

La plupart des pièces thermoplastiques sont fabriquées avec des presses d'injections plastiques : la matière plastique est ramollie puis injectée dans un moule, et ensuite refroidie.

Le moulage par injection est une technique de fabrication de pièce en grande ou très grande série. Il concerne avant tout les matières plastiques et les élastomères (caoutchoucs) mais aussi divers métaux et alliages à point de fusion relativement bas : alliages d'aluminium, de zinc ou encore laitons.

Et pour ce procédé nous trouvons la presse d'injection, la machine la plus utilisée par les usines.



*Figure 13 : machine presse d'injection*

❖ Les principales étapes du moulage par injection :

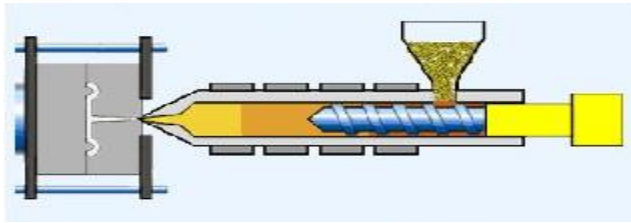


Figure 14 : plastification de la matière

1<sup>er</sup> étape :

La plastification de la matière d'injection dans le cylindre.

2<sup>eme</sup> étape :

Dosage de la matière dans le moule à l'aide de la rotation du vis-sans-fin.

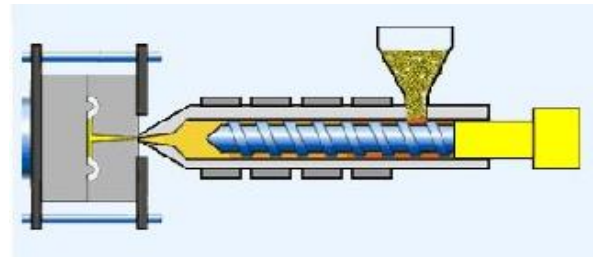


Figure 15 : dosage de la matière d'injection

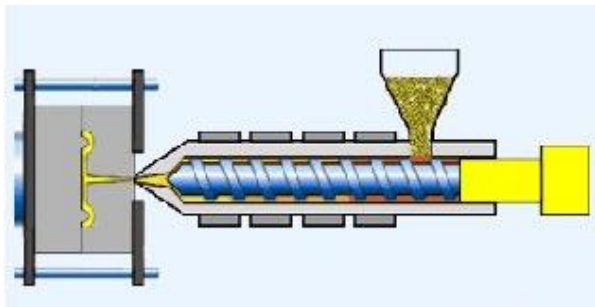


Figure 16: refroidissement dans le moule

3<sup>eme</sup> étape :

C'est l'étape de refroidissement de la pièce dans le moule.

4<sup>eme</sup> étape :

La dernière étape c'est l'éjection de la pièce.

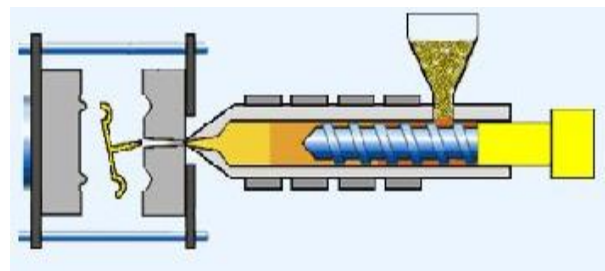


Figure 17 : l'injection de la pièce dans le moule

❖ Le moulage par injection en société STANDARD PROFIL :

Au sein de la société STANDARD PROFIL, le moulage fait partie des étapes principales de la production au niveau de l'élaboration des joints des portes. Pour cela, nous trouvons dans l'atelier un nombre de machines de presse où se trouve des moules métalliques (en acier doux).

Le moulage sous-pression entre les profilés ainsi que sur leurs extrémités est l'étape finale pour élaborer les joints de portes. Cette opération est menée à découper les bavures qui résultent des défauts de moule.

### **I.1. Objectif des logigrammes de diagnostic**

Dans le but de bien mener le diagnostic, nous devons analyser et ressortir les causes racines des défauts de qualités à partir de l'inspection visuelle qu'on a faite dans notre suivi pendant 2 semaines. Ainsi, nous serons amenés tout d'abord à énumérer les différents défauts de moulage dans l'unité de moulage.

#### **➤ Les défauts de moulage :**

D'après les données du département de qualité, nous avons pu énumérer les défauts de moulage annexe IV

## **II. Elaboration des logigrammes de diagnostique**

Les logigrammes permettent de visualiser l'enchaînement des actions, ils sont relativement simples et peuvent être compris par tous. Un rectangle symbolise une action, un losange une question ; un rectangle arrondi définit le début ou la fin de la procédure

Le logigramme de diagnostic permet de minimiser le temps de recherche de la cause de panne en présentant la majorité des combinaisons d'événements qui peuvent être à l'origine d'un accident sur un équipement.

Dans ces logigrammes, on décrit en détail le processus d'intervention concernant les presses d'injection, les opérations effectuées avec des photos.

La première des choses que le technicien doit faire, face à une panne c'est de localiser la contre pièce de la machine qui a causé le problème. Ainsi les paramètres d'injection peuvent être la cause de défaut de non-conformité de produit.

Une fois la contre pièce qui a causé le problème est localisée, il faut trancher sur le type de problème, deux cas de figure se présentent il s'agit d'un problème qui touche soit la partie de moule ou bien les paramètres d'injection.

Voici un exemple d'un logigramme de diagnostic pour la fuite de matière :

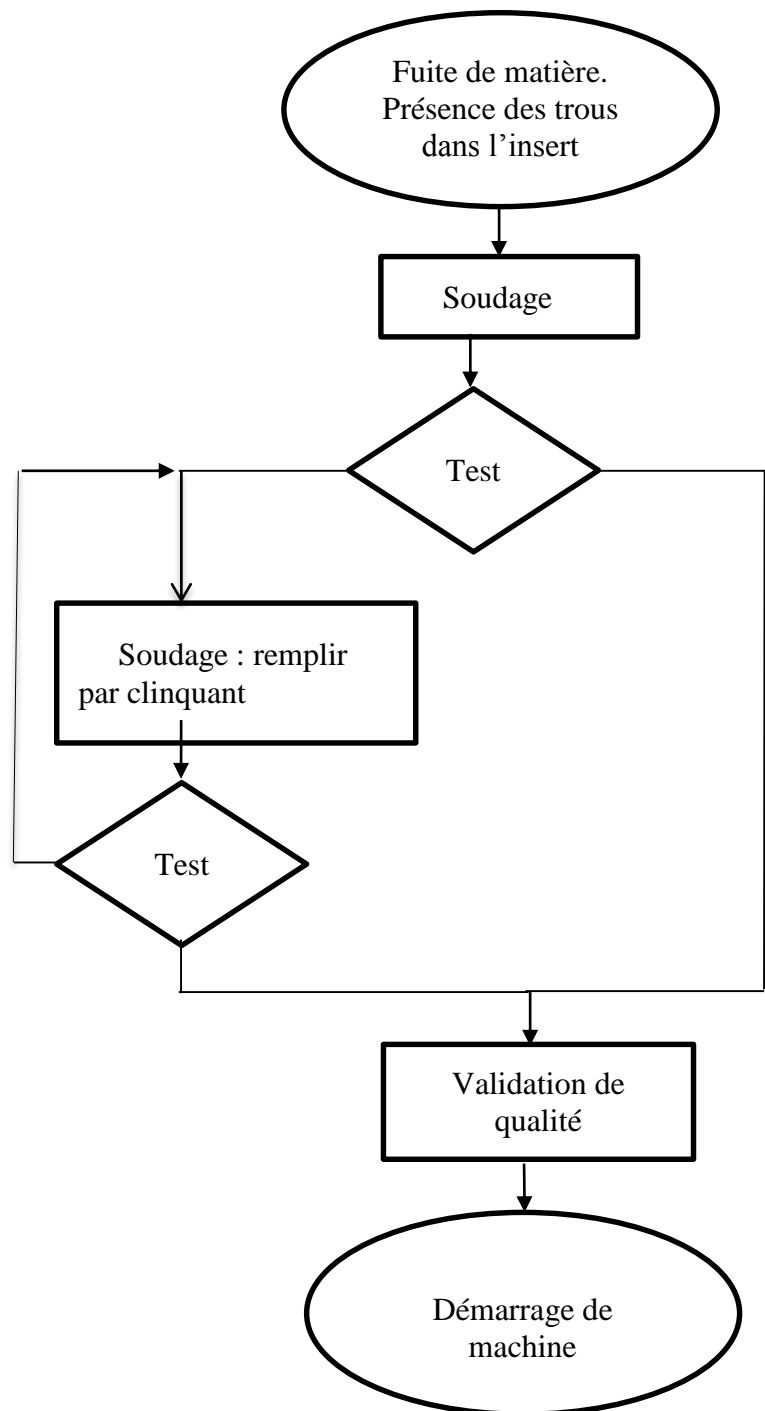


Figure 18 : logigramme de diagnostic

### III. Elaboration de la codification des pannes des machines de coupe.

La codification sert à l'identification et/ou à la classification des données par un code. Les codes servent de clé pour accéder directement aux informations se rapportant à une base de données

Notre codification est l'identification principale des problèmes techniques et des défauts de qualité, il sera standard dans tout l'usine et ce code restera le dénominateur commun pour tous les projets de l'entreprise.

La codification se doit avant tout d'être facile et simple à retenir pour les techniciens sur le terrain. Il faut minimiser les erreurs de retranscription et favoriser une codification facile à mémoriser.

#### III.1. Présentation de la codification

La codification est présentée dans le tableau selon la logique de l'arborescence par Famille : Problème, son emplacement, et le référence de la pièce (Exemple).

|          |             |      |
|----------|-------------|------|
| Problème | Emplacement | Coté |
|----------|-------------|------|

*Tableau 8: codification*

Chaque famille contient des sous familles qui sont présentées sous les tableaux ci-dessous :

- Tableaux de codification de chaque famille

Problème :

| LISTE DE DEFAILLANCES |  |
|-----------------------|--|
| CODE                  | PROBLEME   |
| P01                   | CORTE NOK (Découpage NOK)                          |
| P02                   | CUCHILLA NOK (Lame NOK)                            |
| P03                   | DISCO NOK (Disque NOK)                             |
| P04                   | ECRASEMENT (Ecrasement)                            |
| P05                   | ECRASEMENT PINCES (Ecrasement des pinces)          |
| P06                   | HEPTANOL   |
| P07                   | EXPULSOR (Ejecteur)                                |
| P08                   | INJECTOR BLOQUE (Injecteur bloqué)                 |
| P09                   | MARCAS EN ZONAS VISIBLES (Trace dans zone visible) |
| P10                   | MATRIZ NOK (Matrice)                               |
| P11                   | MEDIDA DE CORTE NOK (Mesure de découpage NOK)      |
| P12                   | NO ORIGEN (Problème d'initiation de la machine)    |
| P13                   | POKA YOKE NOK                                      |
| P14                   | PROBLEMA DETECTOR (Problème de détecteur)          |
| P15                   | PROBLEMA ELECTRICO (Problème électrique)           |
| P16                   | PROBLEMA HIDRAULICO (Problème hydraulique)         |
| P17                   | PROBLEMA MECANICA (Problème mécanique)             |
| P18                   | PROBLEMA NEUMATICO (Problème pneumatique)          |
| P19                   | PROBLEME COMPRESSION (Problème de compresseur)     |
| P20                   | PUESTO BLOQUEADA (Poste bloqué)                    |
| P21                   | RETAL (Copeau des pièces de coupées)               |
| P22                   | SYSTEMA DE GUIA (Système de guidage)               |
| P23                   | OTROS (Autre)                                      |

Tableau 11: description des problèmes

Emplacement :

| EMPLACEMENT |              |           |
|-------------|--------------|-----------|
| CODE        | DESCRIPTION  |           |
| PS0         | TRANSPORTEUR |           |
| PS1-IZ-V    | POSTE 1      | IZQUIERDA |
| PS1-IZ-A    | POSTE 1      | IZQUIERDA |
| PS1-DR-V    | POSTE 1      | DERECHA   |
| PS1-DR-A    | POSTE 1      | DERECHA   |
| PS2-IZ-V    | POSTE 2      | IZQUIERDA |
| PS2-IZ-A    | POSTE 2      | IZQUIERDA |
| PS2-DR-V    | POSTE 2      | DERECHA   |
| PS2-DR-A    | POSTE 2      | DERECHA   |
| PS3-IZ-V    | POSTE 3      | IZQUIERDA |
| PS3-IZ-A    | POSTE 3      | IZQUIERDA |
| PS3-DR-V    | POSTE 3      | DERECHA   |
| PS3-DR-A    | POSTE 3      | DERECHA   |
| PS4-IZ-V    | POSTE 4      | IZQUIERDA |
| PS4-IZ-A    | POSTE 4      | IZQUIERDA |
| PS4-DR-V    | POSTE 4      | DERECHA   |
| PS4-DR-A    | POSTE 4      | DERECHA   |

Tableau 9 : emplacements des problèmes dans la machine

Coté :

| Code | Coté  |
|------|-------|
| V    | VERDE |
| A    | AZUL  |

Tableau 10 : emplacements des problèmes dans la machine

Afin de mieux concrétiser cette codification, nous proposons ci-dessous un exemple illustrant le « le découpage n'est pas juste dans le poste 2 gauche côté conducteur » :

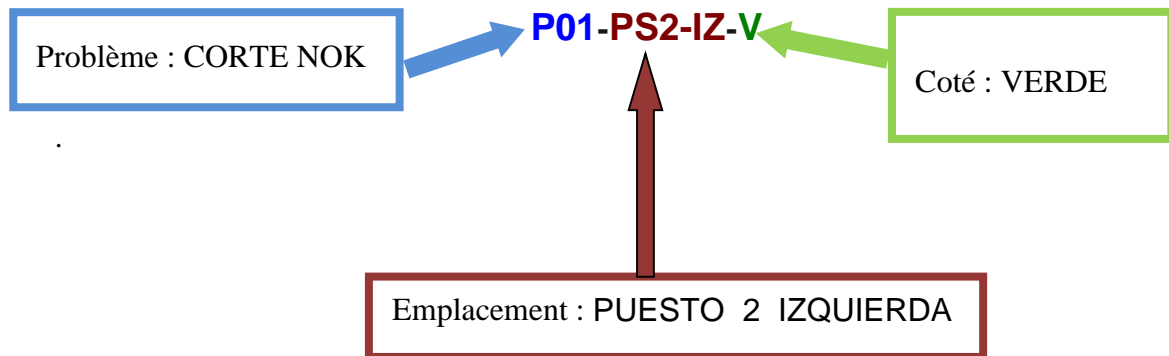


Figure 19: exemple de codification

Les fiches de codification des pannes sont en annexe V. Ces fiches seront affichées dans la zone d'information de chaque machine de coupe, pour qu'ils soient utilisés lors des interventions.

## V. Création d'une application de gestion d'historique des pannes

A cause de faible traçabilité et de manque des enregistrements des pannes qui identifient les anomalies des équipements, nous avons conçu une application sous EXCEL VBA.

Cette application permet la saisie et l'enregistrement des pannes et générer des données de multiple feuilles dans le fichier Excel, et affiche des graphiques dynamiques et interactifs automatiquement.

### a. Fenêtre d'accueil

Cette fenêtre constitue un sommaire des différents modules de l'application. Il nous donne le choix d'accéder à différente fenêtre :

- Saisie des données des pannes ;
- Afficher le tableau de bord ;
- Sortir de l'application

La fenêtre d'accueil :

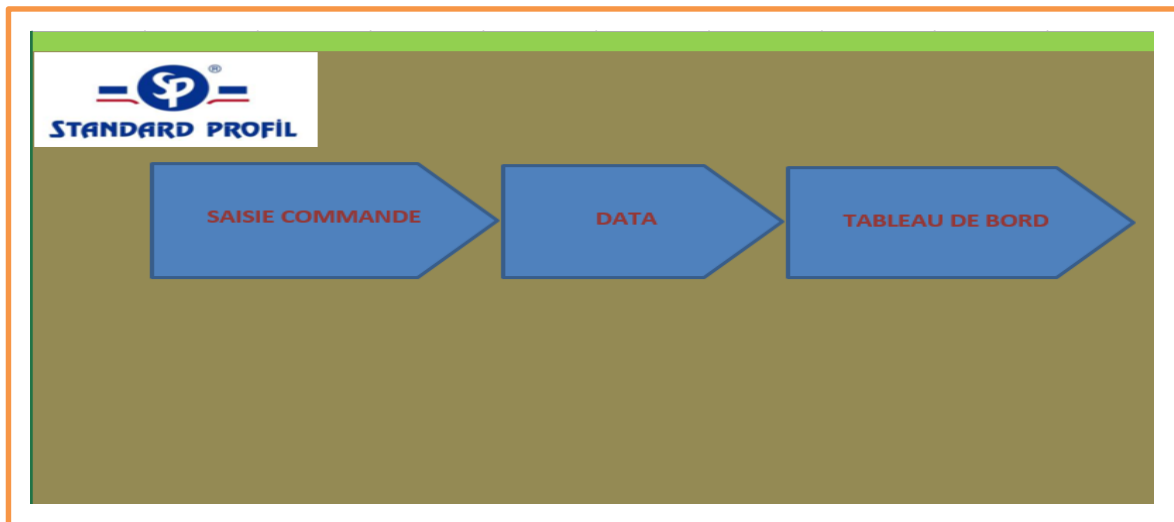


Figure 20 : fenêtre d'accueil.

b. Formulaire de saisie

Dans cette fenêtre on saisit les différentes pannes techniques et les problèmes de qualité .Il convient de préciser que ces données sont présentes dans des rapports journaliers remplis par les techniciens de maintenance qui se chargeront de les saisir dans l'interface.

The screenshot shows a window titled 'DATA COMMANDE'. It contains the 'STANDARD PROFIL' logo on the left. Below the logo, there are seven input fields arranged horizontally. The first six fields are dropdown menus labeled 'PROJET', 'MAQUINA', 'PUESTO', 'AVARIE', 'SHIFT', and 'RESPONSABLE'. The seventh field is a text input labeled 'DURACION'. At the bottom of the form, there are two buttons: 'ENREGISTRER' and 'FERMER'. The window has a blue background and a red close button in the top right corner.

Figure 21 : Formulaire de saisie.

c-Tableau de bord

C'est un tableau de bord contenant des graphiques dynamiques et interactifs avec les données enregistrées qui sert à visualiser des indicateurs de maintenance de l'entreprise :



- PARETO des machines ;
- Problèmes plus fréquents ;
- Charges des projets ;

Exemple de tableau de bord généré par l'application :

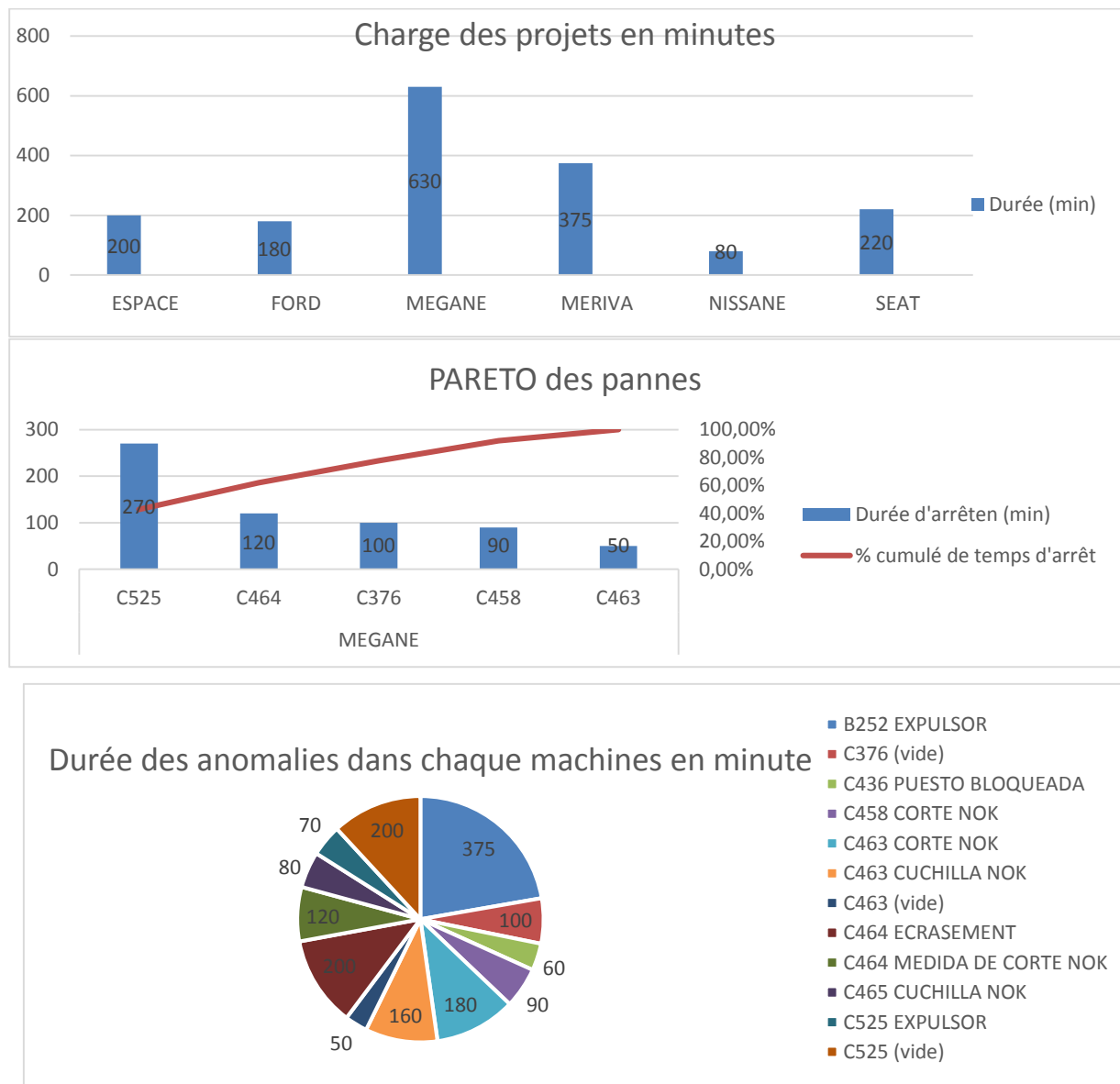


Figure22: Tableau du bord de l'application

- Les avantages de cette application de saisie sont les suivants :
  - Facilité de saisi.
  - Unification des causes et des défauts.



---

## **CHAPITRE IV : MISE EN PLACE D'UN PLAN DE MAITENANCE PREVENTIVE**

---

## I. Introduction :

L'Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leurs Criticité (AMDEC) est une méthode d'analyse de la fiabilité qui permet de recenser les défaillances dont les conséquences affectent le fonctionnement du système dans le cadre d'une application donnée.

## II. Etude AMDEC :

### II.1 Etape 1 : Initialisation :

#### 1. Définition du système à étudier :

##### **Presse d'injection :**

Le moulage par injection, est un procédé de mise en œuvre de matières thermo formables, notamment les matières thermoplastiques.

La plupart des pièces thermoplastiques sont fabriquées avec des presses d'injection plastique : la matière plastique est ramollie puis injectée dans un moule, et ensuite refroidie.

L'analyse des défaillances porte sur le dysfonctionnement de tous les ensembles de la machine en phase de marche normale.

##### **Machine de coupe :**

Notre étude porte sur la machine qui est une machine automatique qui nous permet de réaliser une découpe par étapes successives jusqu'à ce que les chiffres requis dans la définition des pièces.

L'ensemble du système est constitué essentiellement d'un dispositif d'alimentation transférer des profils pour deux (partie droite et gauche), qui à leur tour sont composés par un manipulateur, un des profils de la chaîne de transport, de multiples matrices et disques caractéristiques différentes et des pièces évacuateur.

Les opérations manuelles doivent être effectuées par l'opérateur de placer les profils dans le chargeur, retirez les boîtes de pièces finies et vérifier évacuateur les profils obtenus sont suffisants pour définir les parties avec les calibres prévue à cet effet.

La console à écran tactile qui nous permet de planifier les messages, afficher l'état de tous les éléments de la machine, en faisant des mouvements de la main, diagnostiquer l'état de la machine au moyen d'avis et de vérifier le cycle automatique les différentes pièces de la machine.

La console de travail démarre, arrête la machine, sélectionne le mode de travail et fait un reset général de la machine.

Afin d'analyser au mieux notre système sur la base d'une étude AMDEC, nous détaillerons en premier lieu le système en présentant une analyse fonctionnelle de la machine de coupe et la presse d'injection.

## 2. Définition de la phase de fonctionnement :

Le but de notre étude est donc d'étudier et d'analyser tous les modes de défaillances possibles dû au fonctionnement de la machine de coupe et la presse d'injection puis de voir les actions correctives et préventive qui permettront d'optimiser la sûreté de fonctionnement de la machine et de Réduire le temps d'indisponibilité après une défaillance.

Afin d'analyser au mieux notre système sur la base d'une étude AMDEC, nous détaillerons en premier lieu le système en présentant une analyse fonctionnelle de la machine de d'injection et la machine de coupe.

## 3. Définition des objectifs à atteindre :

- Réduire le nombre des défaillances.
- Réduire le temps d'indisponibilité après défaillance.

## 4. Constitution du groupe de travail :

- **Le responsable** : M. MAHFOUD Soulayman (Chef de Maintenance)
- **L'animateur** : M. (Etudiant de la FSTF)
- **Le rédacteur** : M. (Etudiant de la FSTF)

## 5. Mise au point des supports de l'étude :

Avant de commencer les travaux, nous avons préparé tous les documents essentiels d'une étude AMDEC. Ces documents constituent le dossier AMDEC : les grilles et la méthode de cotation de la criticité, les tableaux de saisie AMDEC et les feuilles de synthèse qui reflètent l'état des connaissances sur les dysfonctionnements du système à un moment donné. II-1-5-1  
Tableau général AMDEC :

Voici le tableau général AMDEC que nous utiliserons dans notre étude.

| système |  | l'élément |        | Défaillance |   |   | Criticité = C |             |  | Actions à entreprendre |   | Evolution prévisible |             |  |
|---------|--|-----------|--------|-------------|---|---|---------------|-------------|--|------------------------|---|----------------------|-------------|--|
|         |  | modes     | effets | causes      | F | D | G             | C = Fx Dx G |  | F                      | D | G                    | C = Fx Dx G |  |

Figure 23 : tableau AMDEC

❖ Grille de cotation :

Les grilles de cotation présentée ci-dessous ont été préparées après des réunions avec le groupe de travail et des discussions avec les responsables de service et les techniciens de maintenance.

✚ Fréquence :

| NIVEAU DE FREQUENCE (F) |                       | FRÉQUENCE = F               |
|-------------------------|-----------------------|-----------------------------|
| 1                       | Fréquence très faible | Une défaillance par an      |
| 2                       | Fréquence faible      | 1 défaillance par trimestre |
| 3                       | Fréquence moyenne     | Une défaillance par mois    |
| 4                       | Fréquence forte       | Une défaillance par semaine |
| 5                       | Fréquence très élevé  | Une défaillance par jour    |

Tableau 12 : grille de cotation de la fréquence sur 5 niveaux

✚ Non détection :

| NIVEAU DE NON DETECTION | NON DETECTION = D                                |
|-------------------------|--|
| 1                       | DéTECTABLE par l'opérateur                       |
| 2                       | DéTECTABLE par l'agent de maintenance            |
| 3                       | difficilement détectable, (démontage, appareils) |
| 4                       | Indétectable                                     |

Tableau 13 : grille de cotation du non détection sur 4 niveaux

✚ La gravité :

| Note | GRAVITÉ = G  |
|------|--|
| 1    | Défaillance mineure (Pas d'arrêt de production)    |
| 2    | Défaillance significative Arrêt inférieur à 20 min |
| 3    | arrêt entre 20 min et 1 heures                     |
| 4    | arrêt supérieur à 1h                               |

Tableau 14: grille de cotation de la gravité sur 4 niveaux

### Criticité (C)

La criticité est un indicateur qui caractérise l'importance de la défaillance. La criticité synthétise les 3 paramètres précédents  $C = f \times D \times G$ .

La mesure de la criticité permet de hiérarchiser les défaillances potentielles.

Pour être plus sévère et garantir aussi bien une marge de sécurité assez large qu'une efficacité optimale pour notre étude AMDEC, et après de nombreuses discussions avec le personnel du service maintenance nous nous sommes fixés un seuil de criticité de :  $C_{seuil} = 12$

Ainsi, les éléments critiques de notre AMDEC présenteront une criticité C telle que :  $C_{seuil} \geq 12$

Ces derniers nécessitent une attention particulière au niveau des interventions de maintenance et la disponibilité des pièces de rechange.

## II.2. Etape 2 : Décomposition fonctionnelle

### 1. Découpage du système :

Cette étape nous permet de connaître les fonctions du système et ses composants pour analyser ensuite les risques de dysfonctionnement et avoir un vocabulaire commun entre les membres du groupe de travail.

### 2. Identification des fonctions des sous-ensembles :

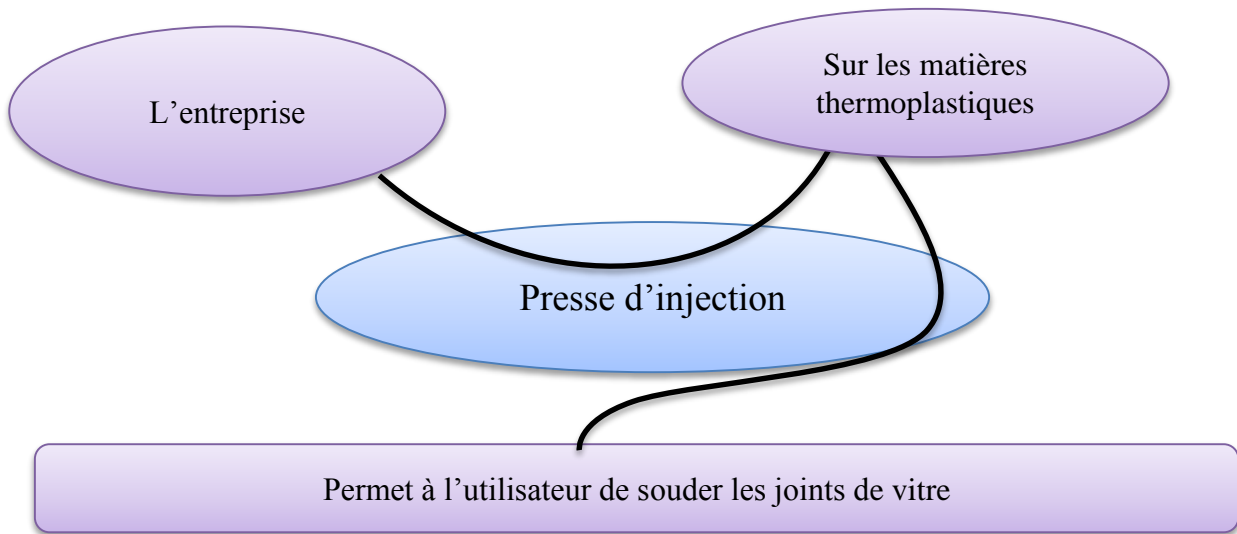
Pour analyser les défaillances, il est nécessaire de déterminer les fonctions que ces composants doivent accomplir.

#### 2.1. Diagramme de la bête à corne :

La bête à cornes est un outil de représentation de ces questions fondamentales.

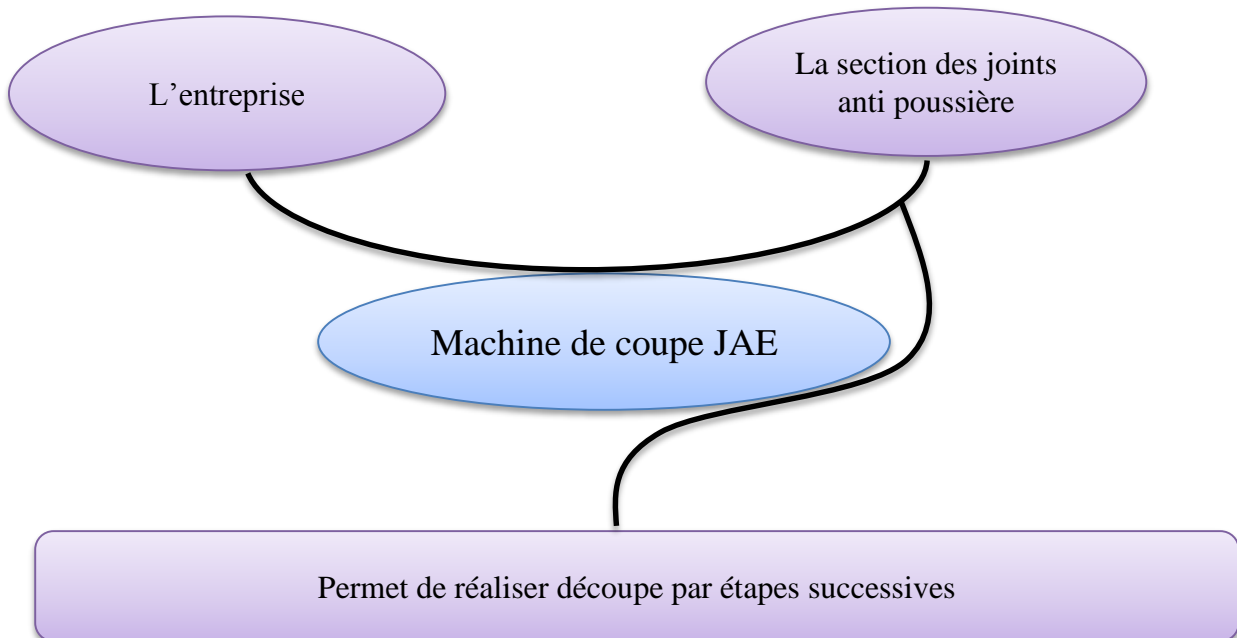
- ✓ Dans quel but ? (pour quoi faire ?)
- ✓ Pour quoi ce but ?
- ✓ pour quel besoin ?
- ✓ pourquoi ? Cause (validation du besoin).

**✚ Presse d'injection :**



*Figure 24 : diagramme de la bête à corne (presse d'injection)*

**✚ Machine de coupe :**



*Figure 25 : diagramme de la bête à corne (machine de coupe)*

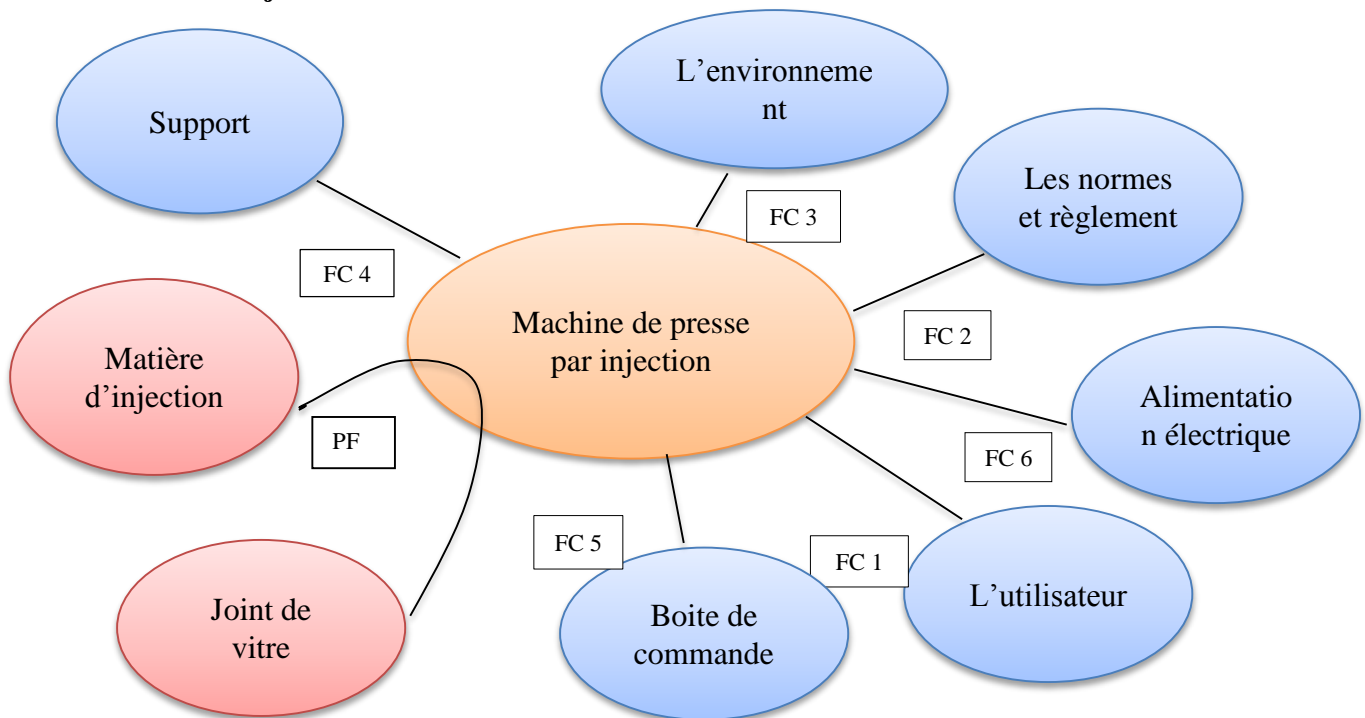
**2.2. Diagramme de pieuvre :**



L'outil "diagramme pieuvre" est utilisé pour analyser les besoins et identifier les fonctions du service de produit. En analysant le produit, on peut en déduire le diagramme "pieuvre", graphique circulaire qui met en évidence les relations entre les différents éléments de

l'environnement du produit. Ces différentes relations sont appelées les fonctions de services qui conduisent à la satisfaction du besoin.

**✚ Presse d'injection :**



*Figure 26 : diagramme de pieuvre (presse par injection)*

**FP 1 :** Assembler deux produits avec la matière première selon une forme désirée.

**FC 1 :** Commander la machine et mettre en marche à l'aide de la boite de commande et la main d'œuvre.

**FC 2 :** Respecter les normes et réglementation.

**FC 3 :** Respecter l'environnement.

**FC 4 :** Supporter le poids de la machine.

**FC 5 :** Détecter la fin de course de la machine.

**FC 6 :** Être alimenté en énergie.

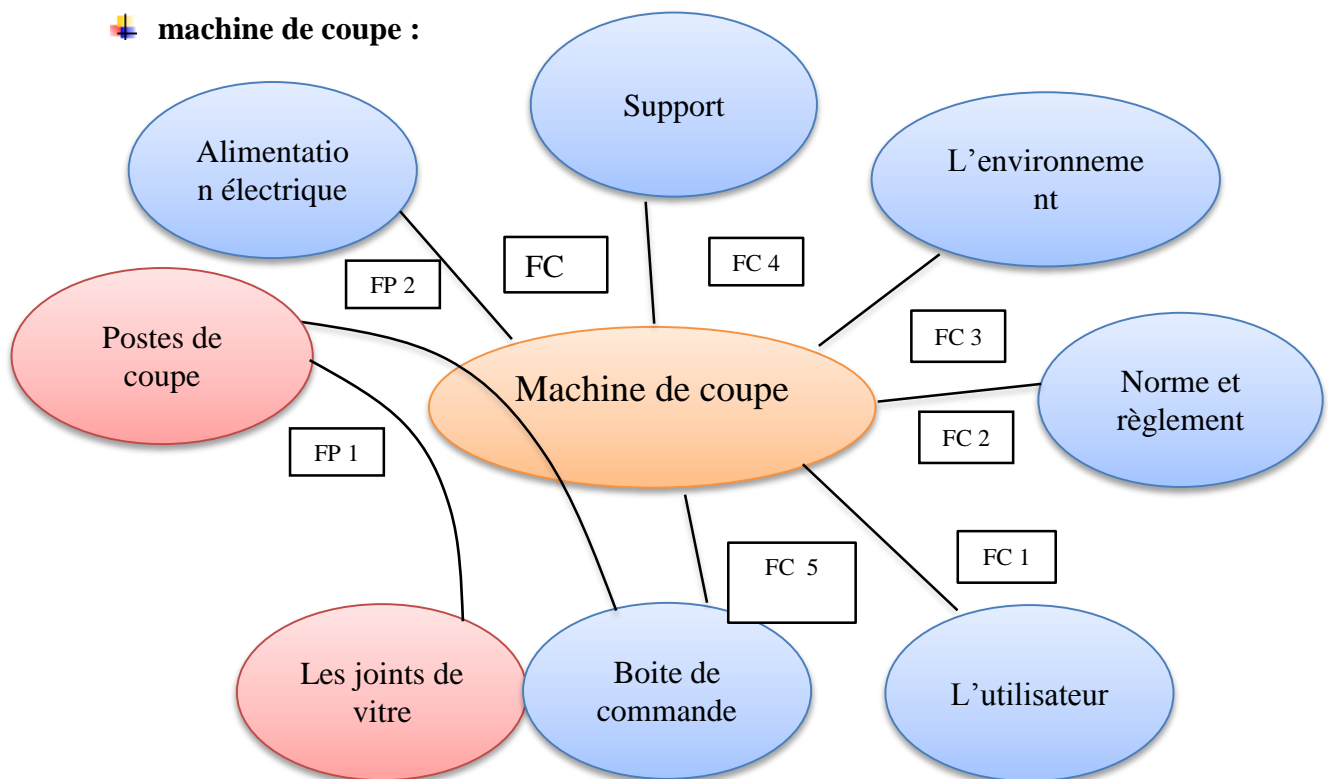


Figure 27: diagramme de pieuvre (machine de coupe)

**FP 1 :** Découper les joints de vitre selon une forme désirée.

**FP 2 :** Commander les blocs de la machine.

**FC 1 :** Commander la machine et mettre en marche à l'aide de la boite de commande et la main d'œuvre.

**FC 2 :** Respecter les normes et réglementation.

**FC 3 :** Respecter l'environnement.

**FC 4 :** Supporter le poids de la machine.

**FC 5 :** Détecter la fin de course de la machine.

**FC 6 :** Être alimenté en énergie.

### 3. Identification des fonctions des éléments :

#### 1. Diagramme FAST

Voire annexe VI.

### II.3. Etape3 : Analyse AMDEC :

Pour examiner pourquoi et comment les éléments du système risquent de ne pas assurer correctement leurs fonctions. Nous commençons par identifier les modes de défaillance puis rechercher les causes et les effets et enfin recenser les détections.

#### 1. Identification des modes de défaillance :

Cette phase consiste à identifier les modes de défaillances potentiels dans chaque phase sous ensemble de la presse d'injection et la machine de coupe. Dans les tableaux d'AMDEC qui est le corps de notre étude technique, ils consistent à mettre en évidence les différents composants de la machine. Nous allons commencer par le recensement des modes de défaillances, les causes, les effets et les détections, ensuite nous allons mettre une évaluation des critères de cotation en se basant sur les grilles préparées par le groupe d'AMDEC afin de calculer la criticité.

A partir des tableaux AMDEC de chaque équipement, nous avons pu déterminer les défaillances critiques qui nuisent au bon fonctionnement de ces derniers (voir annexe VII).

#### 2. Evaluation de la criticité :

La connaissance du processus et le fonctionnement des équipements permet de classer les défaillances selon la probabilité d'apparition (fréquence), le risque de non-détection et la gravité de leurs effets. Pour chaque défaillance, une note entre 1 et 5 est attribuée à chacun de ces facteurs puis chaque note est intégrée dans un indicateur de synthèse appelé criticité (C).

Le calcul de la criticité se fait, pour chaque combinaison cause / mode / effet, à partir des niveaux atteint par les critères de cotation. La valeur de la criticité est calculée par le produit des niveaux atteints par les critères de cotation.

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

## II.4. Etape 4 : Synthèse de l'étude :

Comme il est décrit auparavant il serait trop coûteux de traiter simultanément toutes les causes de défaillance ; c'est pourquoi le groupe AMDEC a fixé un seuil au-dessus duquel on mettra en œuvre des actions prioritaires à mener pour réduire cette criticité. Pour cela le groupe du travail a choisi le seuil C=14, donc toutes les causes dont la criticité dépasse ce seuil doivent être traitées en priorité.

**Les équipements ayant un seuil de criticité au-dessus de 12.**

### ✚ Presse d'injection :

| Sous ensemble      | élément               | Criticité |
|--------------------|-----------------------|-----------|
| boite de commande  | résistance            | 18        |
| groupe thermique   | sonde                 | 16        |
| groupe hydraulique | vérin                 | 24        |
|                    | flexible              | 12        |
| moule              | Résistance du plateau | 32        |
|                    | buse d'injection      | 32        |
|                    | vis sans fin          | 18        |

Tableau 15: Les éléments les plus critiques de presse d'injection

### ✚ Machine de coupe :

| Sous ensemble          | élément           | criticité |
|------------------------|-------------------|-----------|
| Boite de commande      | Capteur           | 12        |
| Groupe hydraulique     | pompe             | 32        |
|                        | vérin             | 24        |
|                        | flexible          | 18        |
|                        | conduite          | 16        |
| Outils de coupe        | lame              | 24        |
|                        | disque de coupe   | 24        |
|                        | éjecteur          | 16        |
| Groupe de transmission | moteur électrique | 16        |

Tableau 16: Les éléments les plus critiques de presse d'injection

## III. Elaboration de plan de maintenance préventive des équipements

### III.1.Introduction :

Élaborer un plan de maintenance préventive, c'est décrire toutes les opérations de maintenance préventive qui devront être effectuées sur chaque équipement. La réflexion sur l'affectation des opérations de maintenance se fait en balayant toutes les fonctions techniques de la décomposition fonctionnelle des équipements.

Les différentes sources qui nous aident à définir les opérations de maintenance préventive sont :

- Les documents techniques de constructeur ;
- L'expérience des techniciens ;
- Les historiques des équipements concernés ;
- Les valeurs de MTBF.

### III.2. Périodicité de la maintenance préventive des sous-ensembles névralgiques

#### 1. Calcul des MTBF des sous-ensembles les plus névralgiques

##### 1.1 Choix du modèle

A partir des historiques des équipements, nous allons associer et ajuster un modèle statistique (modèle paramétrique) pour effectuer l'étude de la fiabilité. La loi de **Weibull** est un modèle couramment employé pour modéliser la durée de vie d'un matériel. Ce modèle est très souple d'utilisation, ce qui lui permet de s'ajuster à un très grand nombre d'échantillons prélevés tout au long de la durée de vie d'un équipement. Elle couvre les cas de taux de défaillance variables, décroissant (période de jeunesse), ou croissant (période de vieillissement).

La loi de **Weibull** permet de déterminer par exemple les périodicités dans le cas d'une maintenance préventive systématique.

##### 1.2 Détermination des paramètres de Weibull

La loi de **Weibull** est une distribution à 3 paramètres :

- $\beta$  est le paramètre de forme
- $\eta$  est le paramètre d'échelle
- $\gamma$  est le paramètre de position

Dont :

- La fiabilité est  $R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta\right]$
- La défaillance est  $F(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta\right]$ , appelée aussi fonction de répartition.
- Le taux de défaillance est  $\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1}$
- Le  $MTBF = A \cdot \eta + \gamma$

Où  $A$  est une constante dépendante du paramètre  $\beta$ . Sa valeur est donnée par les tables en **annexe VIII**.

La construction du modèle consiste à :

- 1 - Consulter les historiques des pannes et dresser la liste des TBF entre deux pannes;
- 2 - Classer ces TBF par ordre croissant;
- 3 - Attribuer un ordre aux TBF classés;
- 4 - Approximer les fréquences des avaries  $F(i)$  par :

$$F(i) = \frac{i - 0,3}{n + 0,4} \text{ pour } n \leq 20 \text{ (méthode des rangs médians)}$$

$$\text{et } F(i) = \frac{i}{n + 1} \text{ pour } 20 < n < 50 \text{ (méthode des rangs moyens).}$$

Où  $i$  : le rang du TBF $i$

$n$  : la taille de l'échantillon.

### 1.3. Phase de vie d'un équipement

Le paramètre de forme  $\beta$  nous permet de conclure sur la phase de vie des équipements. Il sert comme indicateur pour faire un diagnostic de leurs modes de défaillances afin de gérer et d'orienter la politique de maintenance de chacun d'eux.

- En effet pour les équipements dont  $\beta < 1$ , le comportement correspond à une période de jeunesse. Donc une maintenance légère de ces derniers permettra de maintenir leurs disponibilités au niveau voulu.
- Pour les équipements dont  $\beta = 1$ . Ce qui signifie que leur taux de défaillance est constant et un comportement indépendant du temps.
- Pour les équipements dont  $\beta > 1$ , Le comportement correspond à une phase d'obsolescence (vieillesse) où les défaillances sont dues au phénomène de fatigue.

### 1.4. Calcul de MTBF

La première étape est de calculer les TBF (temps de bon fonctionnement), c'est-à-dire, l'intervalle de temps écoulé entre deux pannes consécutives repérées par leurs dates.

➤ **Exemple " Disque de coupe "**

| Disque de coupe |               |
|-----------------|---------------|
| Ordre i         | TBF(i) [en H] |
| 1               | 480           |
| 2               | 540           |
| 3               | 545           |
| 4               | 580           |
| 5               | 610           |
| 6               | 640           |
| 7               | 660           |
| 8               | 670           |
| 9               | 700           |
| 10              | 800           |
| 11              | 846           |
| 12              | 851           |

*Tableau 17: TBF du disque de coupe*

$$N=12 < 20 \quad F(i)=(i-0.3)/(n+.04)$$

Nous avons déterminé les valeurs des trois paramètres de la loi de WEIBULL en utilisant une fonction de calcul via le Logiciel Excel permettant de déterminer les paramètres de la loi de WEIBULL ( $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\eta$ ) :

$$\begin{aligned} \beta &= 5.810 ; A=0.9260 ; \gamma=24 ; \eta=686 & \text{MTBF} &= 686 * 0.9206 + 24 \\ & & &= 659 \text{ h} \end{aligned}$$

Après l'application de la loi de WEIBULL et le calcul de la MTBF, nous avons décidé d'établir des inspections du réglage de buse d'injection chaque mois.

### III.3. Planning de la maintenance préventive

Dans cette partie, nous avons établi le planning préventif à appliquer sur les équipements identifiés (Annexe IX). Nous avons précisé les périodes d'interventions des équipements dont la criticité  $\geq 12$  dans les tableaux suivants.

#### ✚ *Presse d'injection :*

| Sous ensemble      | Composants            | MTBF(H) | Périodicité (semaine) |
|--------------------|-----------------------|---------|-----------------------|
| boite de commande  | résistance            | 2175    | 12                    |
| groupe thermique   | sonde                 | 724     | 4                     |
| groupe hydraulique | vérin                 | 933     | 5                     |
|                    | flexible              | 908     | 5                     |
| moule              | Résistance du plateau | 2518    | 14                    |
|                    | buse d'injection      | 228     | 1                     |
|                    | vis sans fin          | 1254    | 7                     |

Tableau 18: Période d'intervention de presse d'injection

#### ✚ *Machine de coupe :*

| Sous ensemble          | élément           | MTBF(H) | Périodicité (semaine) |
|------------------------|-------------------|---------|-----------------------|
| boite de commande      | Capteur           | 2936    | 12                    |
| groupe hydraulique     | pompe             | 2087    | 11                    |
|                        | vérin             | 853     | 5                     |
|                        | flexible          | 2178    | 12                    |
|                        | conduite          | 1786    | 8                     |
| outils de coupe        | lame              | 302     | 2                     |
|                        | disque de coupe   | 650     | 4                     |
|                        | éjecteur          | 940     | 5                     |
| groupe de transmission | moteur électrique | 1958    | 11                    |

Tableau 19 : Période d'intervention de machine de coupe

## IV. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons élaboré le plan de maintenance préventif des deux machines à l'aide de la démarche AMDEC, les documents techniques des machines, le retour expérience des techniciens et la loi de WEIBUL.



---

## CHAPITRE V : APPLICATION DE LA METHODE SMED SUR LA MACHINE D'INJECTION

---

## I. Généralités sur la méthode SMED :

### I.1. Introduction :

En gestion de la production, SMED est l'abréviation de l'anglais Single Minute Exchange of Die, littéralement « changement d'outil de presse en une minute », expression qui est généralement traduite en français par « changement rapide d'outil ». Avec un peu plus de précision « single minute » correspond à un temps dont l'ordre de grandeur est la minute (soit de quelques minutes). Cette méthode a été développée par Shigeo Shingo pour le compte de l'entreprise Toyota.

La méthode SMED est utilisée dans le cadre de changements de fabrication. Elle a pour objectif de réduire ces temps, et permettre ainsi de réduire la taille de lot minimale. En effet, si les temps de changements de séries deviennent nuls, nous pouvons alors envisager une fabrication à l'unité sans augmenter les coûts.

Lors d'un changement de fabrication, la partie mise en train (MET) peut représenter une part importante dans la fabrication ; et la partie mise en train n'est pas productive. Le but est de diminuer ce temps consacré au réglage, afin d'obtenir des changements d'outils rapides ou des réglages instantanés.

On distingue deux types de réglages :

\* Réglages / temps internes : ils correspondent à des opérations qui se font machine arrêtée, donc hors production.

\* Réglages / temps externes : ils correspondent à des opérations qui se font (ou peuvent se faire) machine en fonctionnement, donc en production.

#### 1. Définitions :

Le **temps de changement de fabrication** est le temps qui s'écoule entre la dernière bonne pièce d'un lot et la première bonne pièce du lot suivant. Il ne s'agit pas uniquement du temps de réglage propre de la machine ou de l'équipement mais du temps pendant lequel **la machine ne produit pas**.

Une **opération interne** est une opération qui ne peut être effectuée que lorsque la machine est arrêtée.

Une **opération externe** est effectuée sans avoir besoin d'arrêter la machine.

La méthode SMED, qui se traduit par un changement rapide de série de production, est donc la principale clé qui permet de s'engager dans le **juste à temps**. Le changement rapide d'outils est une méthode permettant de minimiser le temps d'arrêt d'un moyen de production pour passer d'une fabrication à une autre. Le SMED s'attaque donc aux temps de changement d'outils, habituellement considérés comme une fatalité, afin de les réduire à des **temps à un chiffre**.

## II. Méthodologie SMED

### II.1. Création d'un groupe de travail

Dans la pratique, la démarche SMED est une méthode simple, structurée, basée sur une réflexion de bon sens. L'amélioration de l'organisation occupe une place prépondérante, aux côtés des solutions techniques. L'application SMED relève d'une démarche volontariste et motivée où les améliorations doivent se planifier et se mesurer. Le SMED est une méthode participative qui, pour réussir, doit s'appuyer sur des groupes de travaux et compter sur l'adhésion de tous.

Ainsi, la direction nomme un **groupe de travail pluridisciplinaire**. C'est la direction qui en fixe les objectifs généraux, ils seront ambitieux mais à portée de réalisation.

La réussite est indispensable et la responsabilisation totale des participants est nécessaire. La direction informe les membres du groupe pour leur permettre de dépasser les préoccupations professionnelles quotidiennes et d'inscrire leur action dans la stratégie globale de l'entreprise.

L'équipe à laquelle est confiée la mission d'améliorer un changement de fabrication est pluridisciplinaire. Elle est constituée de membres de l'entreprise ayant des fonctions dans le domaine des **méthodes**, de la **qualité**, de la **logistique**, de l'**entretien**... et surtout d'un ou plusieurs **opérateurs, monteurs, régleurs** du poste concerné qui seront étroitement associés aux travaux.

Un membre de ce groupe se voit confier le rôle d'animateur technique. Il doit avoir assimilé les principes de la démarche SMED et en piloter la mise en œuvre. L'expérience de tous les membres de l'équipe ainsi que leur implication dans la démarche sont des facteurs indispensables pour la réussite du projet.

#### ➤ **Progression de la démarche SMED**

La progression de la démarche SMED comporte quatre phases chronologiques pour aboutir à une optimisation du temps de changement de gamme de fabrication.

✓ **PHASE 1 : ANALYSER**

Analyse d'un changement de fabrication dans l'état initial. Le but est d'**identifier** objectivement toutes les opérations réalisées lors de ce changement. Le moyen idéal est la réalisation d'un film vidéo qui donne la chronologie exacte des opérations.

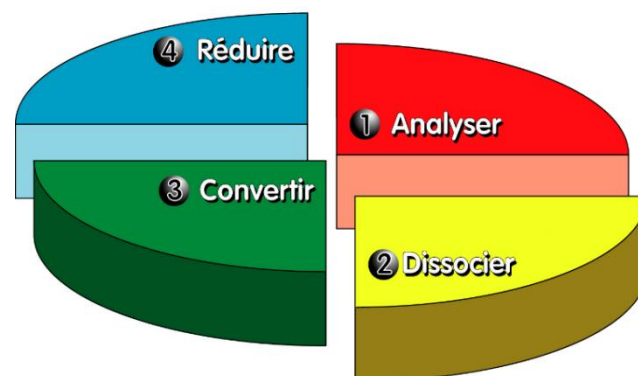


Figure 28: quatre phases chronologiques pour aboutir à une optimisation du temps

✓ **PHASE 2 : DISSOCIER**

Cette étape consiste donc à identifier si une opération est interne ou externe, puis à effectuer celles qui sont externes avant l'arrêt de la machine. Autrement dit, il s'agit simplement de préparer son changement d'outil. Une bonne méthode pour s'assurer que les réglages externes sont réellement faits pendant que la machine est en marche consiste à utiliser une check-list de toutes les pièces et phases nécessaires au changement d'outil.

À cet effet, l'utilisation d'une table de vérification peut s'avérer utile. C'est une table sur laquelle sont dessinés tous les outillages et pièces nécessaires au réglage. Les pièces correspondantes sont posées avant le début du réglage sur le dessin qui les représente. C'est un contrôle visuel efficace. Il convient aussi de s'assurer du bon état de marche de tout ce matériel, avant l'arrêt de la machine.

A ce niveau les investissements nécessaires sont minimales. Il n'est pas rare à l'issue de ces deux phases de constater un gain de 30 à 50 % sur le temps d'arrêt de production.

✓ **PHASE 3 : CONVERTIR**

Par définition, un réglage interne ne peut être effectué que lorsque la machine est arrêtée. Néanmoins, si l'on ne considère que la partie véritablement fonctionnelle de la machine (par

exemple les vérins dans une presse), alors beaucoup de réglages qui étaient considérés comme internes deviennent externes.

Il s'agit donc de **transformer** ces **réglages internes en réglages externes**. Pour cette étape, il faut ainsi repérer tout d'abord la partie fonctionnelle de la machine, puis ses organes concernés par le changement. En effet, on peut parfois les dédoubler, permettant ainsi au réglage de se faire à côté de la machine, alors que celle-ci est en marche.

Il en résulte une réduction du nombre d'opérations internes et un **gain global de temps**.

#### ✓ **PHASE 4 - REDUIRE**

Cette étape concerne principalement les réglages internes qui n'ont pas pu être transformés en réglages externes, puisque ce sont eux qui déterminent le temps d'arrêt de la machine. De nombreuses techniques concourent à leur rationalisation.

**Synchronisation des tâches** : les opérations sur les grosses machines nécessitent de travailler à la fois à l'avant et à l'arrière de celle-ci. Dans ce cas, faire exécuter le changement en parallèle par deux opérateurs supprime les déplacements inutiles, et accélère le travail.

**Élimination des ajustements** : dans une opération classique de changement d'outils, la phase d'ajustements prend beaucoup de temps en réglage interne. En effet, il s'agit d'amener l'outil dans sa position de travail, par approximations successives (essai, correction, essai...). D'une façon générale, sur les moyens mécaniques, les positionnements sont en nombres illimités et les déplacements se font en continu. Or, dans la pratique, quelques positions seulement sont utilisées. Il suffit donc de les repérer et de mettre au point des systèmes permettant de les retrouver directement. Pour cela, on peut utiliser des cales, des gabarits, etc...

**Utilisation des serrages fonctionnels** : un serrage fonctionnel est un système de fixation maintenant des objets en place avec un minimum d'effort.

### **III. Mise en œuvre de la méthode SMED**

#### **III.1. chantier pilote :**

Dans la zone FORD il existe plusieurs machines d'injection, le changement du moule dans ces machines nécessite un temps très élevé. Notre objectif est de réduire le temps de changement par la méthode SMED.

#### **III.2. Application de SMED :**

Notre démarche se résume en 4 phases :

#### ✓ **PHASE 1 – ANALYSER :**

- ✓ Opération interne (devait être faite obligatoirement, machine arrêtée).
- ✓ Opération externe (pouvant être faite machine en marche).

Après la période d'analyse et d'observation, nous avons pu faire une étude des temps pour chaque opération qui entre dans la phase de changement de série. Nous résumons dans le tableau suivant le temps de chaque action relatif aux OF analysées.

| N°   | Description de la tâche   | Temps en minute | Remarques  |
|------|---|-----------------|--|
| Op1  | Arrêt de la machine   | 1               |  |
| Op2  | Opérateur cherche l'agent de la maintenance   | 5               | Opération qui peut être faite machine en marche  |
| Op3  | Déplacement de l'agent de la maintenance  | 1,5             | Opération qui peut être faite machine en   |
| Op4  | Technicien cherche la table pour déplacer le  | 5               |  |
| Op5  | Sablage du moule dans l'atelier   | 10              |  |
| Op6  | Déplacement du moule de magasin vers la   | 7               | Le magasin est loin de la machine.   |
| Op7  | Préparation des outils  | 5               | L'indisponibilité des outils machine<br>(Opération à réaliser en parallèle avec les autres premières opérations) |
| Op8  | Démontage de l'ancien moule   | 15              | Difficulté de manipuler le moule   |
| Op9  | Montage de nouveau moule  | 10              | Difficulté de manipuler le moule   |
| Op10 | Ajustement des paramètres   | 2               |  |
| Op11 | Changement de POKA YOKE   | 3,5             |  |
| Op12 | Démarrage de la machine   | 1               |  |
| Op13 | Chauffage du moule dans la machine  | 140             | Le temps de chauffage est très long  |
| Op14 | Purge de la machine   | 10              |  |
| Op15 | Mise en place des quatre pièces sur la chaîne   | 1               |  |
| Op16 | Lancer la fabrication des quatre pièces   | 0,2             |  |
| Op17 | Attendre les quatre pièces semi finie   | 3               |  |
| Op18 | Déplacement vers le calibre   | 0,8             |  |
| Op19 | Contrôler les 4 pièces sur le calibre   | 3,6             |  |
| Op20 | Injecter la matière par la presse d'injection pour les quatre pièces pour vérifier si la pièce est conforme | 3               |  |
| Op21 | L'opérateur cherche l'agent de qualité  | 3,2             |  |
| Op22 | Remplissage du formulaire de la qualité   | 1,5             |  |
| Op23 | Remplissage du formulaire de changement de série  | 1,2             |  |
| Op24 | Lancement de la fabrication de la nouvelle série  | 0,8             |  |
|      | <b>Totale</b>   | <b>230,8</b>    |  |

Tableau 20 : externalisation des opérations

On remarque que le temps de changement de série est très grand et peut arriver jusqu'à :

**230.8 Min=3.84 h**

✓ **PHASE 2 : DISSOCIER :**

Après avoir identifié les opérations, effectué le chronométrage nous sommes procédé à la 2<sup>ème</sup> phase du SMED qui dissocie les éléments interne, externe et ceux qui sont externalisés

| N° D'opération | Description de la tâche   | Temps (min) | Externes | Internes | A externaliser |
|----------------|---|-------------|----------|----------|----------------|
| Op1            | Arrêt de la machine   | 1           |          | X        |                |
| Op2            | Opérateur cherche l'agent de la maintenance   | 5           |          | X        | X              |
| Op3            | Déplacement de l'agent de la maintenance  | 1,5         |          | X        | X              |
| Op4            | Technicien cherche la table pour déplacer le moule  | 5           |          | X        | X              |
| Op5            | Sablage du moule dans l'atelier   | 10          |          | X        | X              |
| Op6            | Déplacement du moule de magasin vers la machine   | 7           |          | X        |                |
| Op7            | Préparation des outilles  | 5           |          | X        | X              |
| Op8            | Démontage de l'ancien moule   | 15          |          | X        |                |
| Op9            | Montage de nouveau moule  | 10          |          | X        |                |
| Op10           | Ajustement des paramètres   | 2           |          | X        |                |
| Op11           | Changement de POKA YOKE   | 3.5         |          | X        |                |
| Op12           | Démarrage de la machine   | 1           |          | X        |                |
| Op13           | Chauffage du moule dans la machine  | 140         |          | X        | X              |
| Op14           | Purge de la machine   | 10          |          | X        |                |
| Op15           | Mise en place des quatre pièces sur la chaîne   | 1           |          | X        |                |
| Op16           | Lancer la fabrication des quatre pièces   | 0,2         |          | X        |                |
| Op17           | Attendre les quatre pièces semi finie   | 3           |          | X        |                |
| Op18           | Déplacement vers le calibre   | 0,8         |          | X        |                |
| Op19           | Contrôler les 4 pièces sur le calibre   | 3,6         |          | X        |                |
| Op20           | Injecter la matière par la presse d'injection pour les quatre pièces pour vérifier si la pièce est conforme | 3           |          | X        |                |
| Op21           | L'opérateur cherche l'agent de qualité  | 3,2         |          | X        | X              |
| Op22           | Remplissage du formulaire de la qualité   | 1,5         |          | X        | X              |
| Op23           | Remplissage du formulaire de changement de série  | 1,2         |          | X        | X              |
| Op24           | Lancement de la fabrication de la nouvelle série  | 0,8         |          | X        |                |

Tableau 21 : externalisation des opérations

### ✓ PHASE 3 : CONVERTIR

D'après l'identification des tâches d'opération du changement du moule, on remarque que le temps de changement est dû à une mauvaise organisation des tâches et d'équipement plus que cela une mal répartition du personnel.

Afin d'éliminer totalement les pertes dues aux attentes et réduire le temps de changement de série, il faut respecter certaines règles.

Voici donc les opérations qui sont normalement externes mais elles sont traitées comme des opérations internes au sein de l'entreprise :

#### ✓ **Opérateur cherche le technicien :**

Il faut que le chef d'équipe soit responsable pour chercher l'agent de maintenance 10 min avant l'arrêt de la machine.

#### ✓ **Préparation des outilles et sablage des moules :**

Pour éviter ce temps perdus durant le sablage du moule et la préparation des outils du travail, le technicien doit être informé 3 heures avant le changement de série de la part de chef de shift car le sablage et le chauffage du moule se font en 160 minutes.

Tous les outils du technicien doivent être dans la boîte à outils (respecter les 5 S).

#### ✓ **L'opérateur cherche l'agent de qualité :**

L'opérateur doit chercher l'agent de qualité en parallèle que le technicien fait le serrage des boulons, il ne doit pas gaspiller le temps sans rien faire pendant le changement de série.

#### ✓ **Remplissage du formulaire de la qualité :**

Le formulaire n'as aucune relation avec l'opérateur donc c'est l'agent de qualité qui est responsable de remplir sa fiche et par suite on ne va pas avoir un gaspillage du temps de changement de série.

#### ✓ **Chauffage du moule :**

Ceci est l'un des grandes pertes dans la phase de changement de série. Cette opération se fait après le montage du moule dans la machine, alors la production se démarre après 180 minutes. Afin d'éliminer ce problème, on a proposé de chauffer le moule avant son montage. Le chauffage des moules sera hors de la machine permet de réduire le temps d'arrêt de manière importante.



**Proposition d'amélioration :**

Donc pour résoudre ce problème on a proposé de conception d'un système de chauffage électrique externe et qui sera standard pour tous les moules.

**Définition du besoin :**

On définit notre besoin, en utilisant l'outil bête à cornes :

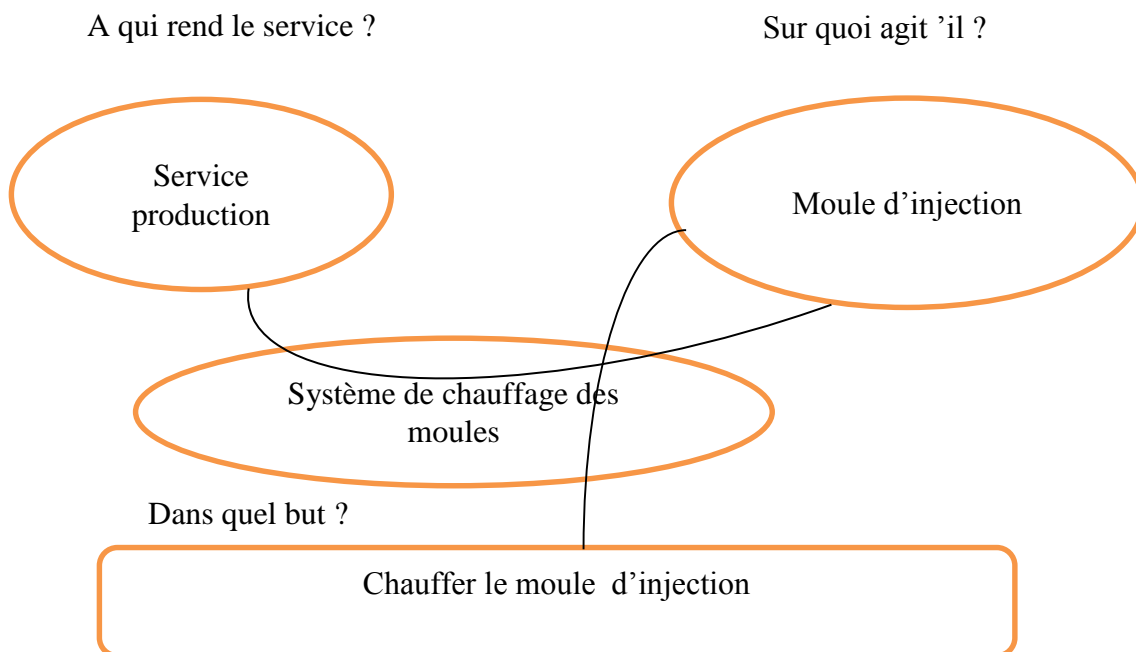


Figure 29 : Diagramme bête à corne du système de chauffage du moule

**Diagramme pieuvre :**

On établira le diagramme pieuvre en différents cycles de vie du système de chauffage :

On établira le diagramme pieuvre :

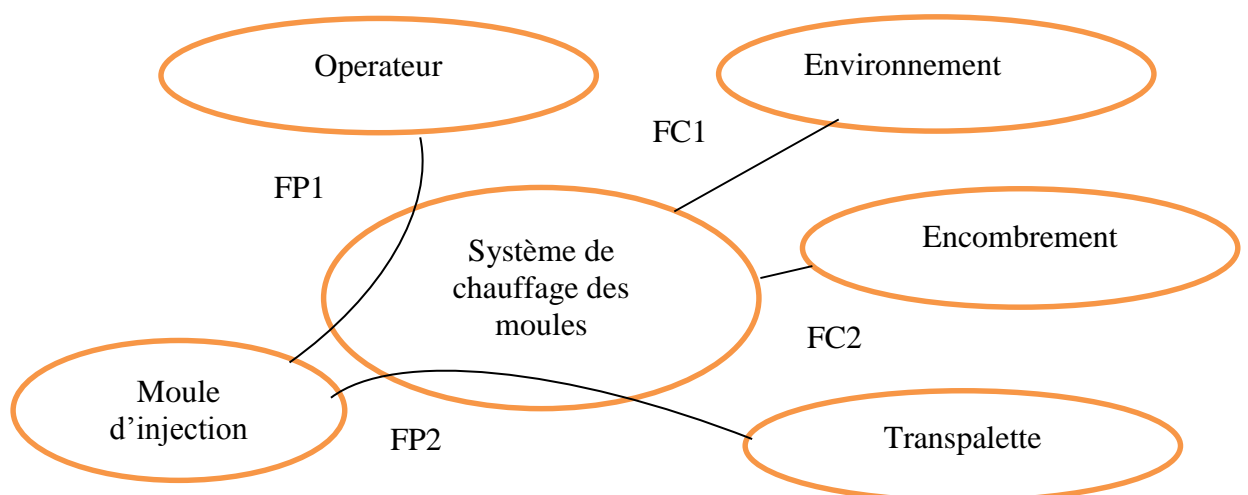


Figure 30: Diagramme pieuvre du système de chauffage du moule

*Fonctions principales :*

FP1 : permettre à l'opérateur de chauffer le moule d'injection à 200°C

FP2 : permettre de charger et décharger le moule par le transpalette.

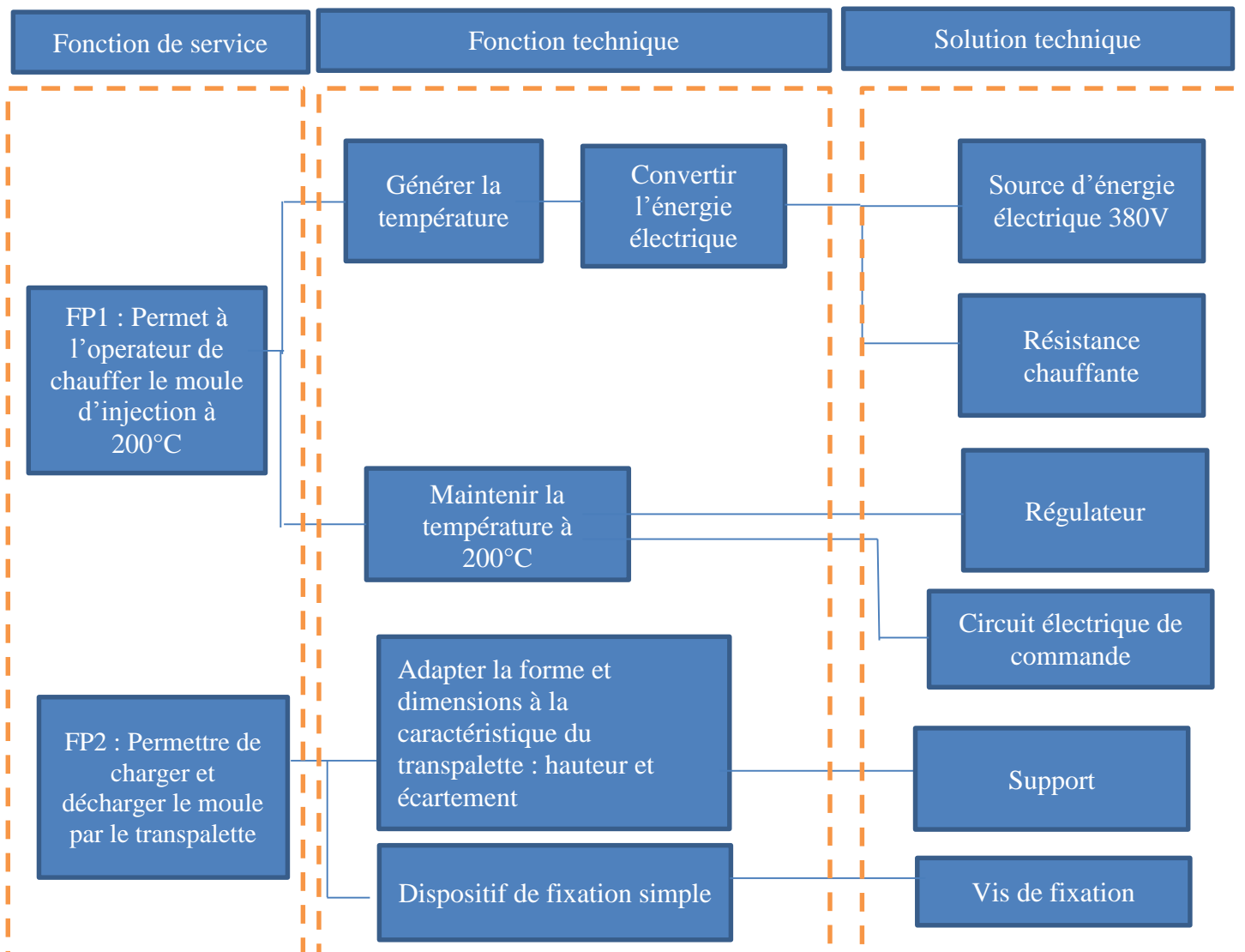
*Fonctions contraintes :*

FC1 : résister aux agressions du milieu extérieur

FC2 : avoir un encombrement minimal

### Diagramme FAST

Dans cette phase, nous allons analyser notre système de chauffage d'une manière interne. C'est-à-dire, on va citer les différentes solutions technologiques susceptible de concrétiser les fonctions techniques, et par la suite les fonctions principales et contraintes. Notre analyse est faite à la base du diagramme FAST :



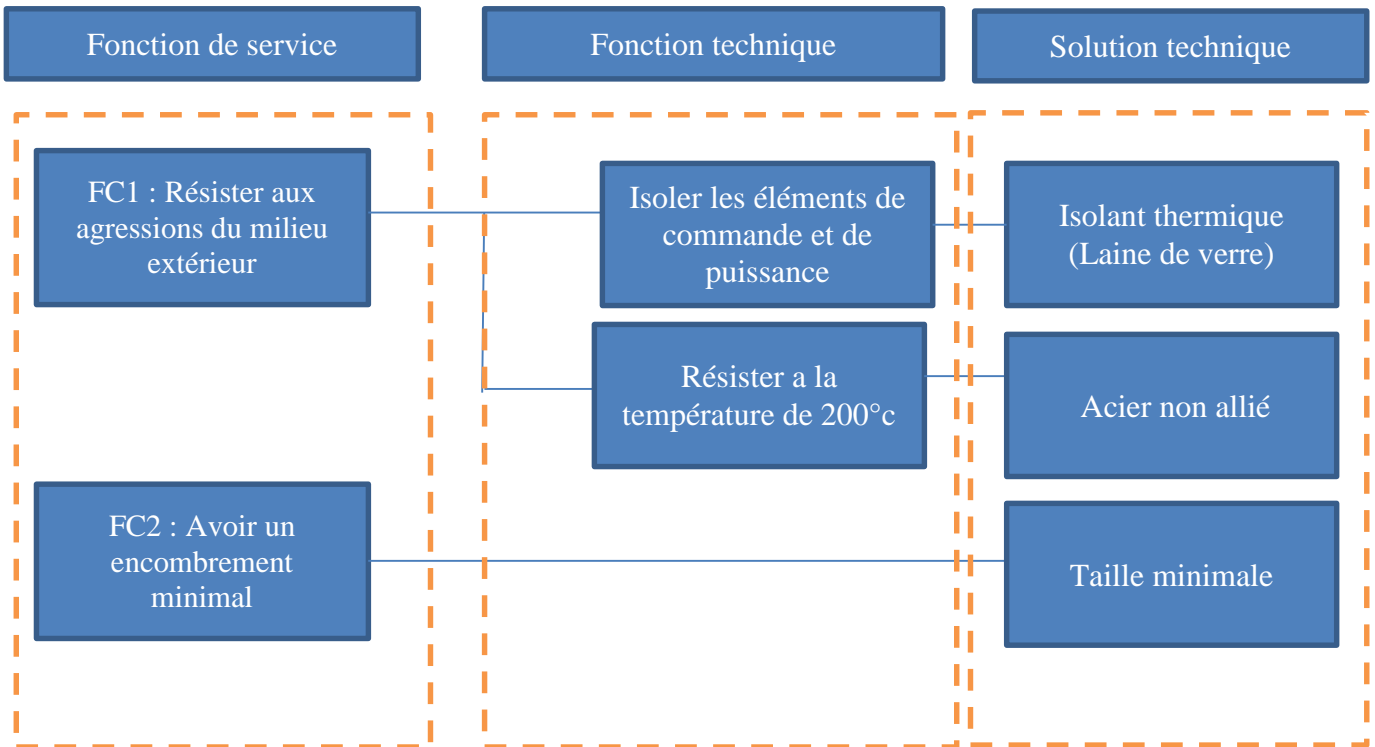


Figure 31 : diagramme FAST

La figure suivant représente le système de chauffage des moules modélise par Catia V5 :

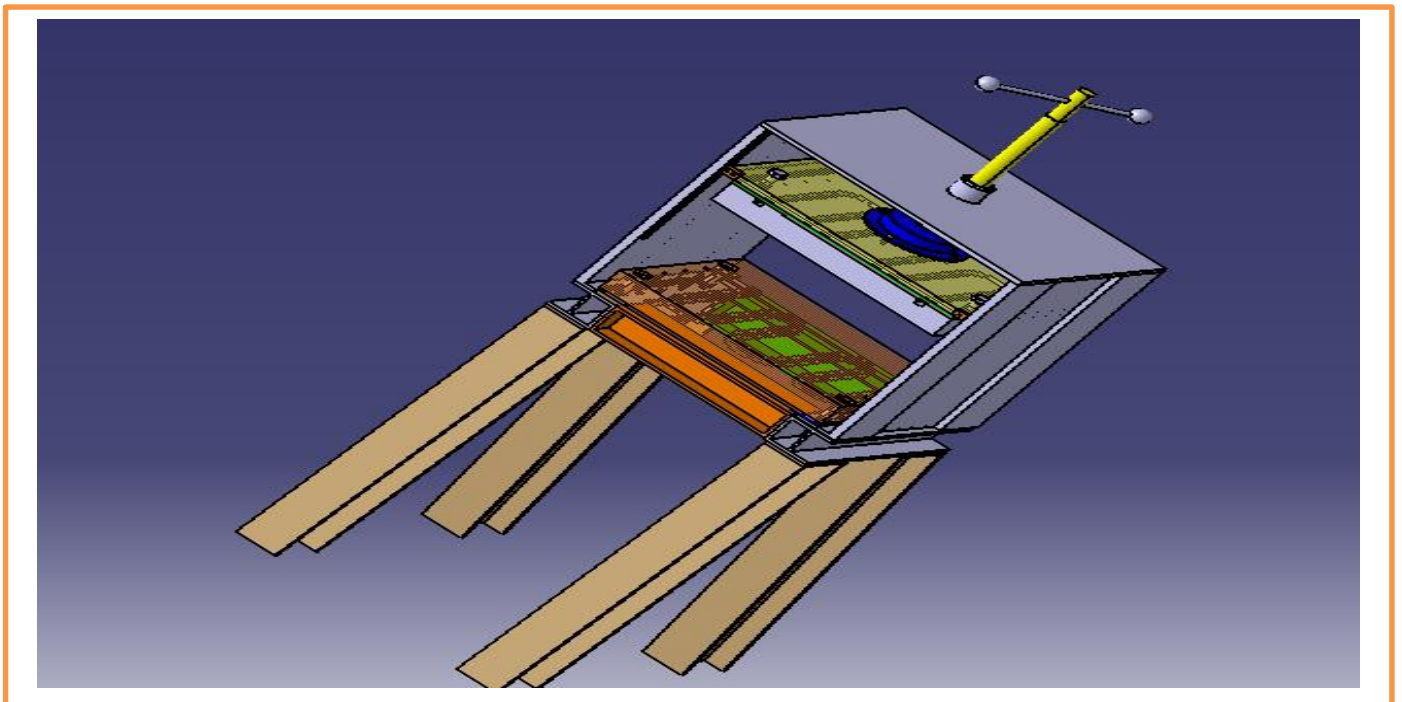


Figure 32 : système de chauffage modélisé par catia v5

### Principe de fonctionnement :

Le système possède deux plaques chauffantes supérieures et inférieure, ajustable à l'aide d'un système vis écrou.

### Vérification de la résistance des pieds :

Le support du système de chauffage sera construit à base des poutres en H.

#### ➤ Simulation sous Catia V5

L'étude statique de résistance des quatre pieds nous a permis de visualiser les contraintes de Von Mises. Nous donnons, dans la suite le modèle de calcul et les contraintes maximales résultantes.

La masse totale = la masse du moule + la masse des autres éléments de système

La masse des autres éléments de système = 554Kg

La masse de moule = 300kg

#### ❖ Modèle de calcul :

Matériaux utilisés : acier de module de Young : 200000Mpa

La résistance élastique : 250Mpa

Chaque pied va supporter le quart de la masse totale

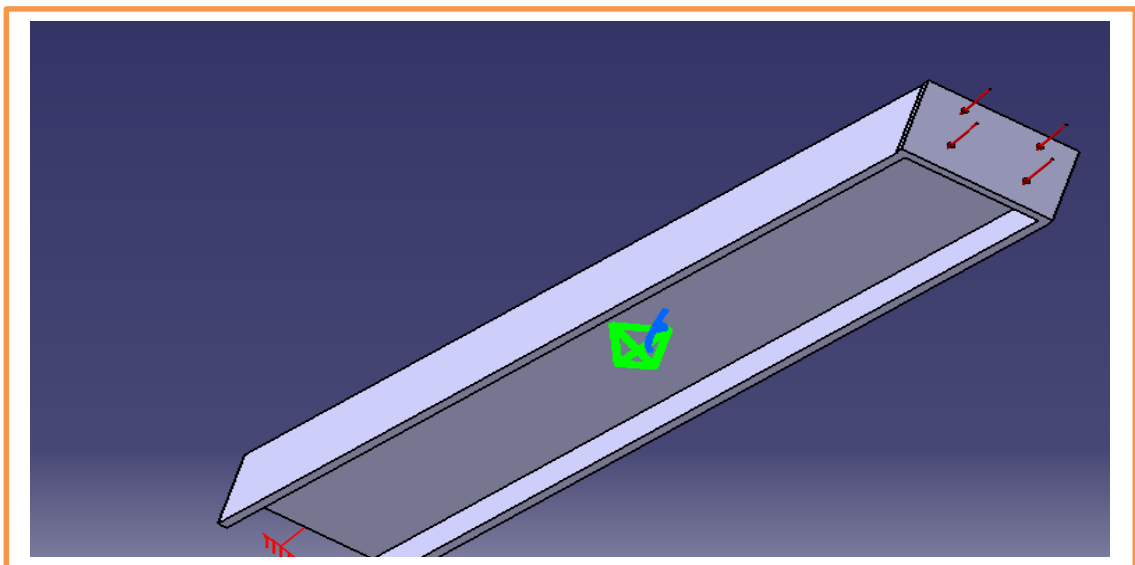


Figure 33: modèle de calcul numérique pour une poutre

❖ Contraintes de Von mises :

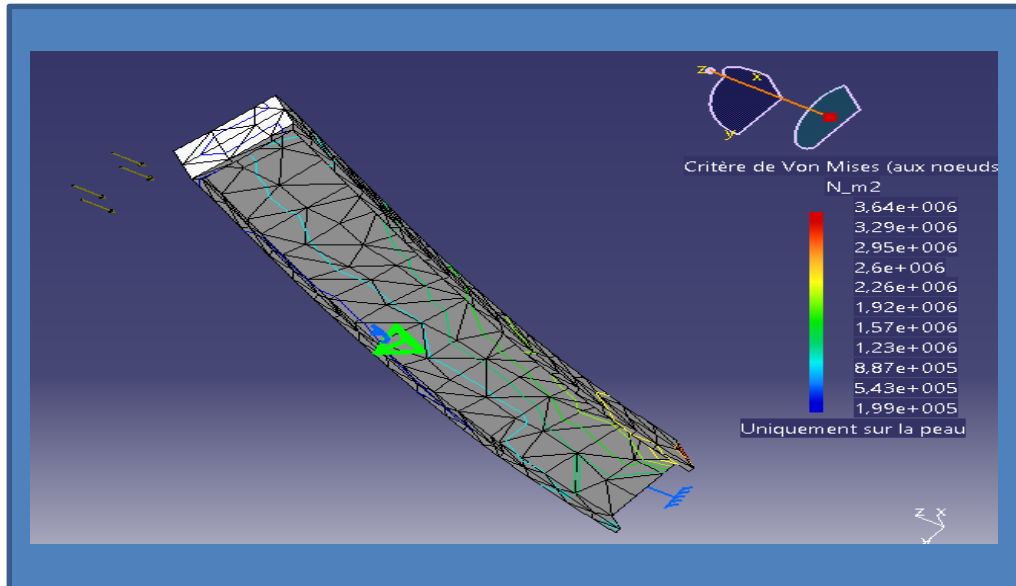


Figure 34 : contrainte de Von mises pour une poutre

On constate que la contrainte maximale de Von Mises vaut 3.64 MPa. Ce qui est très raisonnable pour l'acier,

**Vérification de la résistance de la plaque supérieure :**

La masse totale de la partie mobile est de : 210kg

Matériaux utilisé : acier de module de Young : 200000Mpa

La résistance élastique : 250Mpa

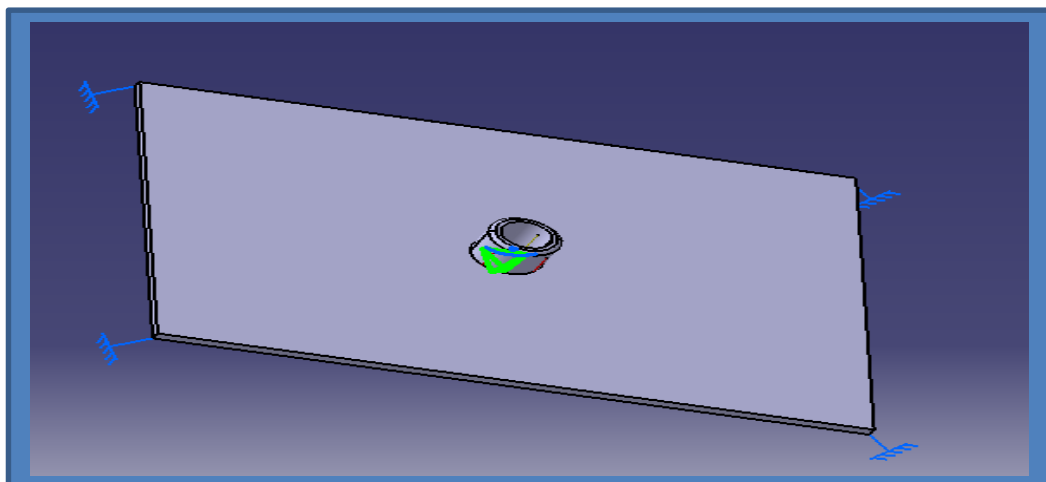


Figure 35 : modèle de calcul numérique pour le support supérieur

❖ Contraintes de Von mises :

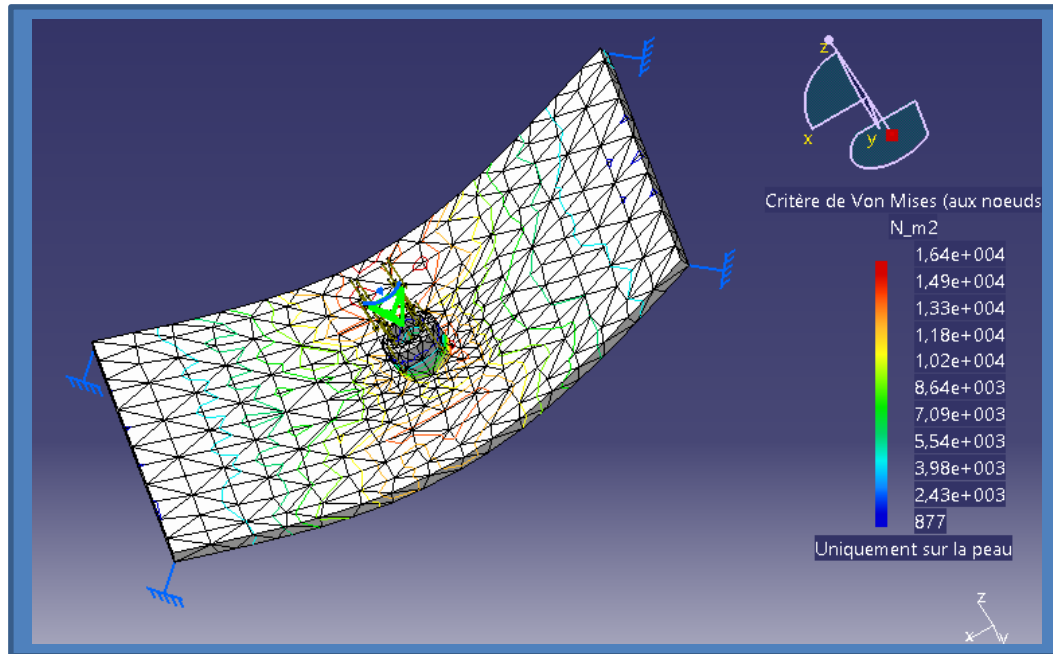


Figure 36 : modèle de calcul numérique pour le support supérieure

On constate que la contrainte maximale de Von Mises vaut 1.64 kPa. Ce qui est très raisonnable pour l'acier utilisé,

✓ **PHASE4 : REDUIRE**

Cette étape consiste à réduire le temps d'exécution des opérations internes restantes.

Il nous reste encore d'améliorer les opérations de montage et démontage du moule nous avons proposé de faire une check-list, qui est un outil indispensable permet de rendre le changement de moule un peu flexible.

**Check-list :**

Lors de notre observation de la procédure du changement, nous avons constaté que :

Les techniciens peuvent perdre beaucoup de temps à rechercher les outils tels que : les boulons, les clés, le chariot élévateur..., l'utilisation de la check-list dans cette phase de

préparation permet aux techniciens de vérifier et de s'assurer de l'existence des outils qui vont être utilisés pendant le changement du moule.

La check-list comporte les éléments nécessaires au changement à savoir : les outillages (**annexe X**). Avant de terminer la production de la série N les techniciens intervenants doivent rechercher et préparer les éléments nécessaires au changement de moule pour lancer la production N+1 et les poser devant la presse :

Outillage :

- Clé pour assembler,
- Six pans pour serrer et desserrer les boulons et les écrous,
- Marteau pour bien positionner le moule dans la presse
- Chariot élévateur pour déplacer,
- Soufflette pour nettoyage,
- les gants à manche (protection de bras de la chaleur),
- Carton
- Tournevis

## IV. Conclusion

Le fruit de notre étude SMED est la réduction du temps de changement de 230 minutes à 58 minutes, ainsi la réalisation du standard de changement de série dans lequel on cite en détail les différentes personnes impliquées dans celui-ci et toutes les tâches et les opérations qui vont être réalisés dans ce dernier (voir annexe XI).

Après validation de l'étude suite à une réunion avec le responsable de production, qui sera impliqué dans ce standard, on a réalisé une formation pour toutes les opérateurs et à tous les techniciens qui travaillent sur cette machine afin de leurs expliquer une autre façon de travailler pour mener à bien leurs tâches.

Par la suite on a créé une fiche de suivi (voir annexe XII ), du temps de changement de série qui va être remplie par l'opérateur après chaque changement de série pour vérifier le niveau d'amélioration atteint et pour mesurer l'effet de l'application du nouveau standard.

---

## CHAPITRE VI : ETUDE TECHNO-ECONOMIQUE

---



## I. Calcul estimatif des gains l'application du plan de maintenance

Pour donner une estimation sur les gains prévus de l'application du plan de maintenance préventive, on se base sur l'historique des interventions enregistré. Puisqu'il est difficile de quantifier d'une manière exacte les gains réalisés, nous allons donner une estimation des gains qui auraient pu être réalisés si l'on avait appliqué le plan de maintenance en 2015.

### I.1. Méthode de calcul

Dans le but de quantifier les gains en dirhams, on a deux données :

- ✓ l'estimation des coûts du personnel par heure de travail. Dans la plupart des cas, chaque arrêt de production dans une machine est équivalent à l'inactivité de 2 personnes.
- ✓ L'estimation des coûts de production moyenne par heure. Lorsqu'il y a un arrêt de production, le temps d'arrêt est une perte qui aurait pu être utilisée pour fabriquer une quantité important qui génère des gains. Dans ce cas on va estimer en moyenne combien de pièces on a pu fabriquer durant la période considérée. Pour faire les calculs, on se basera sur les gains nets par pièce et la productivité d'une machine.

### I.2. Calcul des gains

Le gain total est donné par:

$$G_{tot} = G_{mo} + G_{pr}$$

Avec :

- ✓  $G_{mo}$ : gain sur les coûts de main d'œuvre, il est donné par:

$$G_{mo} = T_a * N_p * C_u * tr$$

- ✓  $G_{pr}$ : gain sur le temps de production, il est donné par:

$$G_{pr} = T_a * Pr * U * M_b * tr$$

Avec :

- $T_a$ : temps total d'arrêt généré par l'arrêt d'une machine
- $N_p$ : Nombre de personnes inactivées
- $C_u$ : Coût unitaire de la main d'œuvre qui est de l'ordre de 20 DH/h
- $tr$ : Taux de réduction prévu des arrêts lors de l'application des plans préventifs. On vise réaliser  $tr=65\%$ .
- $Pr$ : Productivité machine nombre de pièces par heures
- $U$  : Prix de vente de produit

- Mb: Marge bénéficiaire moyenne estimée, elle est de l'ordre de 35% du prix de vente du produit.

D'après l'historique des interventions concernant la période considérée et sachant que le prix de vente unitaire est de l'ordre de 4.9Euro, nous avons pu dresser le tableau suivant regroupant ces gains pour les deux machines.

| Machine            | Ta : temps d'arrêt (h) | Productivité (pièces/h) | Np | Gmo (Dhs) | Gpr (Dhs) |
|--------------------|------------------------|-------------------------|----|-----------|-----------|
| Machine de coupe   | 137                    | 145                     | 2  | 3562      | 242537.73 |
| Presse d'injection | 75                     | 20                      | 2  | 1950      | 18313.94  |
| Gains total        |                        |                         |    | 266363.57 |           |

*Tableau 22: résultat de calcul des gains*

### **I.3. Calcul des dépenses**

Les frais de stockage des différentes pièces de rechange consommées par les deux machines constituent l'investissement pour mettre en place le plan de maintenance préventive.

Le coût de stockage  $C_s$  est donné par la formule suivante :

$$C_s = C_c + C_p + C_a$$

Avec :

- $C_c$  : coût de passation de commande :  $C_c = F * N$
- $C_p$  : coût de possession ou de tenue de stock :  $C_p = Q/2 * P_u * t$
- $C_a$  : coût d'achat :  $C_a = P_u * C$
- $N$  : nombre de commandes
- $C$  : consommation
- $F$  : coût de passation de commande
- $P_u$  : coût unitaire de l'article
- $t$  : taux de possession.
- $Q$  : quantité moyenne à réapprovisionner par commande

Les tableaux suivants résumant les résultats obtenus :

| Produit consommé      | Coût d'achat (Dhs) | Coût de possession (Dhs) |
|-----------------------|--------------------|--------------------------|
| Disc de coupe         | 4000               | 435                      |
| Lame de coupe         | 8500               | 885                      |
| Automate              | 1600               | 195                      |
| Contacteur            | 500                | 85                       |
| Vérin                 | 3500               | 385                      |
| Capteur               | 900                | 125                      |
| Câble de détecteur    | 300                | 65                       |
| Détecteur d'éjection. | 430                | 78                       |
| Fibre optique         | 500                | 85                       |
| Pressostat            | 120                | 47                       |
| Roulement             | 2150               | 250                      |
| Total                 | 22500              | 2635                     |

*Tableau 23 : résultat de calcul de dépenses de machine de coupe*

Le tableau suivant présente les dépenses de la machine d'injection :

| Produit consommé | Coût d'achat (Dhs) | Coût de possession (Dhs) |
|------------------|--------------------|--------------------------|
| Empreinte        | 2300               | 265                      |
| Fibre optique    | 720                | 107                      |
| Résistance       | 620                | 97                       |
| flexible         | 120                | 47                       |
| sonde            | 740                | 109                      |
| Capteur          | 900                | 125                      |
| fusible          | 120                | 47                       |
| Joint de vérin   | 500                | 85                       |
| Total            | 6020               | 882                      |

*Tableau 24: résultat de calcul de dépenses de machine d'injection*

En appliquant le plan de maintenance préventive, le coût de passation de commande sera diminué car le nombre de commandes par an sera diminué. Puisqu'on n'a pas encore appliqué la stratégie de gestion de stocks de pièces de rechange, ce coût ne sera pas considéré.

Concernant le coût d'achat **Ca**, il reste le même avec ou sans plan de maintenance préventive. Cependant, le coût de possession **Cp** est l'investissement à faire pour mettre en place le plan de maintenance.

D'après l'historique des interventions (comporte les prix des pièces changées) et d'après le plan de maintenance proposé (comporte les éléments critiques et la périodicité de changement) pour les deux machines on obtient le coût total de possession  $C_p=3517$  DH.

Ainsi les gains possibles si l'on avait appliqué le plan de maintenance durant cette période est donné par la formule suivante :

$$\text{Gain} = G_{tot} - C_p = 262846,57 \text{DH}$$

## II. Calcul estimatif des gains l'application de SMED

### II.1. Calcul des gains

Or le nombre de jours d'ouverture par semaine est donc en tenant compte des jours fériés, des vacances et des congés, on a le temps d'ouverture annuel qui est de **270** jr/an.

Alors une heure d'arrêt de presse coûte **980** Dhs d'après le service de production, et puisque le changement s'effectue une fois par deux jr.

Donc le gain annuel obtenu est :

$$(270/2) * 980 * 2.88 = 381024 \text{ Dhs.}$$

## III. Conclusion

Finalement, nous avons déterminé les différents gains de notre projet et nous avons conclu que toutes les actions d'améliorations effectuées ont permis de réaliser des gains importants.

Nous avons calculé le gain apporté par notre plan d'action pour le service maintenance et qui est à l'ordre de **321166.57** Dhs. Donc nous pouvons conclure que le projet est justifié économiquement, vu les gains financiers qu'il permet de réaliser.

## *CONCLUSION GÉNÉRALE*

Le présent projet avait comme finalité l'augmentation du taux de rendement synthétique pour améliorer la productivité de la zone FORD à STANDAD PROFIL Tanger.

En premier lieu, nous avons mené une analyse de l'existant afin de déceler les principales causes qui affectent la baisse de la productivité, elle comporte une description du système de production et une étude sur les indicateurs de suivi qui existaient et que nous avons ajouté. Cette étude nous a permis de déterminer l'ensemble des chantiers d'amélioration à réaliser.

Dans le chapitre approche organisationnelle, Nous avons développé une application par EXCEL VBA pour l'enregistrement et le saisi des pannes des équipements. Elle a été améliorée ensuite par l'ajout d'un tableau de bord interactive et dynamique avec la base de donnée .Nous avons élaborée le manuel d'intervention pour les défauts de qualité de la presse d'injection afin de réduire le MTTR.

Ensuite nous avons élaboré le plan de maintenance préventive de la machine de coupe et la presse à l'aide d'outil AMDEC pour évaluer leurs criticités et proposer les actions correctives et préventives et à l'aide de la loi de WEIBUL.

Et enfin nous avons présenté le chantier SMED qui avait comme objectif l'optimisation du temps de changement de série, augmentation de la productivité, et la disponibilité de la machine d'injection.

Finalement, et grâce aux améliorations apportées, nous avons amélioré la disponibilité de ma chine de coupe et la machine d'injection et nous avons réalisé un gain annuel total de : 321166.57Dhs/an.

En guise de perspectives, il faut veiller sur la continuité du suivi des fichiers de TRS dans l'objectif d'une éventuelle amélioration. Nous proposons aussi d'élargir l'étude sur les autres lignes de production, dans le but d'augmenter au maximum TRS et notamment le taux de disponibilité des machines. Nous proposons aussi élaborer un manuel d'intervention pour tous les défauts de qualité de projet FORD.

# BIBLIOGRAPHIE

## Ouvrage :

Jean HENG – *Pratique de la maintenance préventive* – Ed. Dunod, Paris, 2002.

Michel RIDOUX – *AMDEC-Moyen*, AG 4 220, traité L'entreprise industrielle, Techniques de l'ingénieur.

F. CASTELLAZZI, D. COGNIEL, Y. GANGLOFF – *MEMOTECH Maintenance Industrielle*, Ed. Casteilla, Paris, Septembre 1998.

PIERRE VOYER – *Tableaux de bord de gestion et indicateurs de performance*, 2<sup>ème</sup> édition.

Marc St-Marseille, Jean-Bruno Lapointe– *la gestion des équipements vers l'entretien préventif*.

Documentation technique de la société STANDARD PROFIL.

## Rapports et supports de cours

M.Anas CHAFI – *Gestion de la maintenence*, cours de la 4<sup>ème</sup> année, FST FES, 2014/2015.

M.MUSTAPHA ZEKRAOUI – *Gestion de la maintenance*, cours de la Maîtrise Es-Sciences et Techniques, Génie Mécanique, FST-Béni mellal, 2008/2009.

PFE R. ABAKOU, T. ESSOUABNI – *Elaboration d'un plan de maintenance préventive pour la machine d'extraction du puits central de la mine d'IMITER*, SMI MANAGEM, 2007/2008.

PFE A.EL RHARBI, B.ZARAGUIT – *Amélioration de la maintenance conditionnelle de la ligne sulfurique (PSIII) à Maroc-Chimie en se basant sur la thermographie infrarouge*, 2009/2010.

## Webographie :

- STANDADR PROFIL. [Enligne]. Disponible sur : [www.STANDARDPROFIL.COM](http://www.STANDARDPROFIL.COM).
- RC Management – *Performance de la maintenance : Améliorer les performances opérationnelles et financières de votre maintenance*, Paris, 2010. Disponible sur : [www.rcmanagement.fr](http://www.rcmanagement.fr).
- Fiabilisation des équipements-Faire évoluer votre maintenance, disponible sur : [www.ingexpert.com](http://www.ingexpert.com).
- Le Tableur EXCEL La Programmation en VBA

[www.agroparistech.fr/IMG/pdf/cours\\_excel\\_vba.pdf](http://www.agroparistech.fr/IMG/pdf/cours_excel_vba.pdf)