

Année Universitaire : 2020-2021



Master Sciences et Techniques en Génie Industriel



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES
Pour l'Obtention du Diplôme de Master Sciences et Techniques

**Mise en place d'une démarche Lean Manufacturing pour
l'amélioration de la performance d'une unité de
production**

SOTHERMA

Lieu : Société de thermalisme marocain SOTHERMA Fès
Référence : 24 /21-MGI

Présenté par:

JEBBOURI Hind

Soutenu Le 14 Juillet 2021 devant le jury composé de:

- **Mme. RZINE Bouchra (encadrante)**
- **Mr. ERRACHKI Anas (encadrant Société)**
- **Mr. HADDOUCHE Abdellatif (encadrent Société)**
- **Mr. KAGHAT Fahd (examinateur)**
- **Mr. CHAMAT Abderrahim (examinateur)**

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

وَقَالَ

رَبِّ زِدْنِي عِلْمًا

Dédicaces

*«Le fruit le plus agréable et le plus utile
au monde est la reconnaissance. »*

Ménandre.

*Tout d'abord, je remercie Allah pour m'avoir donné la force
d'accomplir ce travail, qu'Allah soit loué, par la grâce duquel
s'accomplissent les bonnes œuvres.*

Avec tout respect et amour je dédie cet humble travail,

*À ma chère mère, source de gentillesse, de tendresse, générosité et
de force, la plus belle créature d'Allah.*

*À l'âme de mon cher père, qui a formé la base de la personne que je
suis aujourd'hui, j'aurais souhaité qu'il soit à mes côtés, Que Dieu ait
pitié de vous, mon père.*

À mes sœurs bien-aimées,

À mon cher beau-frère,

À mon adorable neveu Ahmed Taha,

*Pour leurs présence dans ma vie, leurs soutien moral, leurs conseils
précieux tout au long de mes études.*

A tout mes amies et camarades, pour leur entente et sympathie.

*A la direction de la FSTF (le doyen, et le groupe professoral et
administratif).*

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

Sincère gratitude.

*A tous les personnes qui m'aiment, et ceux qui me détestent, grâce
à vous je suis arrivée ici, et je continuerai.*

HIND JEBBOURI.

Remerciements

Au terme de ce projet, j'adresse mes vifs remerciements et ma profonde gratitude à Mr. Mustapha IJJAALI, Doyen de la Faculté de science et techniques de Fès, tout le cadre administratif et professoral pour leurs efforts considérables spécialement le département Génie Industriel.

Et puisqu'il n'était pas facile de trouver un stage de PFE, notamment dans les conditions de la pandémie de COVID 19, je tiens à remercier, la direction de la Société du Thermalisme Marocain pour m'avoir accueilli lors de mon stage. Celle-ci a fait de ce stage un exercice performant agréable, enrichissant et formateur.

J'ai le plaisir d'exprimer ma profonde gratitude et mes remerciements les plus intenses à toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce rapport et plus particulièrement je remercie :

***Mme. Rzine Bouchra**, mon encadrante pédagogique qui a eu l'amabilité de m'encadrer et qui n'a pas cessé de m'encourager, m'orienter et fournir les explications nécessaires, les conseils et les renseignements qui m'étaient utiles pour la réalisation et la rédaction de ce rapport.*

***Mr. A. ERRACHKI**, et **Mr. A. HADDOUCHE**, mes encadrent industriel, pour leur aide, leur disponibilité, leur bienveillance, leur grand professionnalisme ainsi que leur générosité.*

Aussi, je tiens à remercier et à témoigner toute ma reconnaissance à tout le personnel de SOTHERMA, pour l'expérience enrichissante et pleine d'intérêt qu'ils m'ont fait vivre, toutes les explications qu'ils ont mis à ma disposition.

*J'exprime mes sincères remerciements aux membres du jury **Pr. KAGHAT Fahd** et **Pr. CHAMAT Abderrahim** qui ont accepté de juger ce modeste travail.*

Résumé :

Le marché industriel nécessite une production de haute qualité à des prix compétitifs, tout comme l'industrie de l'embouteillage d'eau minérale. L'impact des temps d'arrêt sur la productivité est un phénomène complexe et la maîtrise de ce phénomène est toujours une étape importante pour les industriels. Le but de ce projet est d'analyser et de déterminer les raisons spécifiques conduisant à la dégradation des performances de l'unité de production. Le processus de résolution de problèmes proposé dans notre recherche s'inspire de la démarche Lean Manufacturing au plus juste pour améliorer le TRS.

L'application de la méthode DMAIC dans notre étude nous aidera à organiser correctement le travail.

La surveillance de l'indicateur TRS montre que la non-performance est causée par des temps d'arrêt non planifiés de la machine. Afin de résoudre ce problème, il est nécessaire de contrôler la qualité des intrants et d'éliminer les dysfonctionnements de la ligne de production. Cela doit garantir la disponibilité opérationnelle de la machine grâce à la mise en œuvre d'une stratégie TPM.

Les mots clés: Lean Manufacturing, TRS, DMAIC, TPM.

Abstract:

The industrial market requires high quality production at competitive prices, as does the mineral water bottling industry. The impact of downtime on productivity is a complex phenomenon, and searching ways to control it is always a very important step for manufacturers.

The aim of this project is analyzing and determining the specific reasons leading to the degradation of the production unit's performance. The problem-solving process proposed in our research is inspired by the Lean manufacturing approach to improve TRS.

DMAIC is the method that will help us to organize our study correctly.

TRS indicator tracking shows that non-performance is caused by unplanned machine downtime. In order to solve this problem, it is necessary to control the quality of inputs and eliminate the malfunctions of production line. This should ensure the operational availability of machines through the implementation of a TPM strategy.

Key words: Lean Manufacturing, TRS, DMAIC, TPM.

ملخص:

يتطلب السوق الصناعي إنتاجًا عالي الجودة وبأسعار تنافسية، و نفس الشيء ينطبق على صناعة تعبئة المياه المعدنية. يعد تأثير وقت التوقف عن العمل على الإنتاجية، ظاهرة معقدة، كما أن التحكم فيها دائمًا ما يكون خطوة مهمة للمصنعين.

و بالتالي فالهدف من هذا المشروع هو تحليل وتحديد الأسباب التي تؤدي إلى تدهور أداء وحدة الإنتاج.

عملية حل المشكلات المقترحة في هذا البحث مستوحاة من نهج التصنيع الخالي من الهدر - lean manufacturing - لتحسين TRS.

سيساعدنا تطبيق طريقة DMAIC في دراستنا على تنظيم العمل بشكل صحيح.

تتبع مؤشر TRS أظهر أن عدم الأداء ناتج عن تعطل الآلات غير المخطط له. و لحل هذه المشكلة، من الضروري التحكم في جودة العناصر المدخلة والقضاء على الأعطال في خط الإنتاج. يجب أن يضمن هذا العمل التوافر التشغيلي للآلة من خلال تنفيذ إستراتيجية TPM.

الكلمات المفتاح: التصنيع الخالي من الهدر - lean manufacturing - TRS، DMAIC، TPM.

Table de matière :

Dédicaces :.....	i
Remerciements :	ii
Résumé :.....	iii
Table de matière :.....	iv
Liste des tableaux :.....	vi
Liste des figures :.....	vii
Liste des annexes:.....	viii
Liste des abréviations :.....	ix
Introduction générale :.....	1
CHAPITRE I : Présentation de l’entreprise d’accueil et du cahier de charge	
1. Présentation de l’entreprise d’accueil :.....	2
1.1. Présentation de SOTHERMA :.....	2
1.2. Certifications SOTHERMA :	2
1.3. Fiche technique de SOTHEMA :.....	3
1.4. Organigramme de SOTHERMA :.....	3
1.5. Gamme de produits :.....	3
2. Etapes de la production :.....	4
3. Cahier de charge :	9
CHAPITRE II : Lean manufacturing et outils utilisés	
1. Introduction :.....	11
2. Lean manufacturing :.....	11
3. Démarche DMAIC :.....	11
4. Présentation de TRS:.....	12
5. Présentation du TPM :	14
5.1. Définition du TPM :	14
5.2. TPM, une méthode globale :.....	14
5.3. Objectifs du TPM :.....	14
5.4. Piliers du TPM :.....	15
6. Présentation de la SMED :.....	15
6.1. Identification des réglages internes et externes :.....	16
6.2. Séparation des réglages internes et des réglages externes.....	16
6.3. Transformation des réglages internes en réglages externes.....	17
6.4. Réduction de la durée d’exécution des opérations	17
7. Présentation de la méthode des 5S :.....	17
7.1. Définition des 5S :.....	17

7.2.	Applications de la méthode 5S	17
7.3.	Mise en œuvre d'une opération 5S.....	18
8.	Présentation de la méthode AMDEC :.....	18
8.1.	Définition :.....	18
8.2.	Types de l'AMDEC :.....	18
8.3.	Application de l'AMDEC :.....	19
8.3.1.	Préparation	19
8.3.2.	Décomposition fonctionnelle :	19
8.3.3.	Analyse AMDEC et Définition des actions :	19
9.	Présentation de la méthode Pareto :.....	21
10.	Présentation de diagramme d'ISHIKAWA :	21
11.	Présentation de la méthode de brainstorming :	22
12.	Présentation de la méthode QQQCP :.....	23
13.	Présentation de la méthode JIDOKA :.....	23
14.	Présentation du Takt time :	23
15.	Conclusion :	24
CHAPITRE III : Diagnostic de l'état actuel, Définition, Mesure et Analyse		
1.	Introduction :.....	25
2.	Définition du Problème, Indicateur et Objectif :	25
2.1.	Définition du problème :.....	25
2.2.	Définition de l'indicateur :	25
2.3.	Définition de l'objectif :	25
3.	Prise des Mesures:.....	26
3.1.	Problème dans le calcul du Tp!	26
3.2.	Suivi du TRS :	27
4.	Analyse de la situation :.....	30
4.1.	Causes racines de baisse de la Do et du Tp :.....	31
4.2.	Analyse de PARETO :.....	33
5.	Conclusion :	35
CHAPITRE IV : Innovation et Contrôle		
1.	Introduction :.....	36
2.	Innovation et proposition des améliorations :.....	36
2.1.	Amélioration du Tp :	36
2.2.	Amélioration de la Do :	37
2.2.1.	Propositions :.....	37
2.2.2.	Problème de la souffeuse :	37

2.2.3. Maitrise de l’opération de la désinfection :	42
3. Contrôle et maitrise :	44
3.2. Contrôle de l’application de l’AMDEC :	44
3.3. Mise en place de la SMED :	45
3.4. Application des 5S :	46
4. Conclusion	48
Conclusion générale :	50
Bibliographie.....	
Annexes 1, 2, 3, 4 et 5	

Liste des tableaux :

Tableau 1: Fiche technique de SOTHERMA FES.....	3
Tableau 2: Composition d'AS et SH.....	4
Tableau 3: Méthode des 5S.....	17
Tableau 4 : Classement des effets de défaillance selon la gravité	20
Tableau 5: Classement des défaillances selon la Fréquence d'apparition	20
Tableau 6 : Classement des défaillances selon la capacité de détection	20
Tableau 7 : Actions à entreprendre selon la criticité.....	20
Tableau 8 : Méthode QQQQCP	25
Tableau 9: Exemple du calcul du Tp.....	26
Tableau 10: Calcul du TNU	26
Tableau 11: Suivi du TRS de la ligne 2	28
Tableau 12 : Intervalle de variation des taux	30
Tableau 13 : Causes de baisse du TRS.....	31
Tableau 14 : Suivi des arrêts de production	33
Tableau 15: Analyse AMDEC du groupe four.....	40
Tableau 16: Pareto des éléments critiques dans la souffleuse.....	41
Tableau 17: Identification des réglages internes et externes.....	43
Tableau 18 : Temps de désinfection 5 étapes et évaluation de TRS	43
Tableau 19 : Temps des opérations	43
Tableau 20 : Etapes de désinfection 5étapes.....	45
Tableau 21: Evaluation du TRS après suppression du temps gaspillé.....	45

Liste des figures :

Figure 1: Entrée de Sotherma Fès	2
Figure 2: Produits de Sotherma	4
Figure 3: Filtre à poche	5
Figure 4: Filtres 0.1 micron.....	6
Figure 5: Souffleuse SMI	7
Figure 6: Préforme et bouteille après soufflage	8
Figure 7: Etiqueteuse.....	8
Figure 8 : Diagramme d'ISHIKAWA.....	22
Figure 9: Variation du TRS du mois Février.....	29
Figure 10: Variation du Tp.....	29
Figure 11: Variation de la Do.....	29
Figure 12: Variation du TQ.....	30
Figure 13: Diagramme d'ISHIKAWA de la variation de la Do	32
Figure 14: Diagramme d'ISHIKAWA de la variation du Tp	32
Figure 16: partie de l'historique d'enregistrement des arrêts	34
Figure 15: Courbe de PARETO des arrêts de production.....	34
Figure 17: Découpage fonctionnel de la souffleuse	38
Figure 18: Courbe PARETO de l'étude AMDEC	42
Figure 19: Avant application 5S.....	46
Figure 20: Après application 5S.....	47
Figure 21: Moules de la ligne 2.....	47
Figure 22: Elimination des déchets	47
Figure 23: Résultat final.....	47
Figure 24: Avant application 5S.....	48
Figure 25: Après application 5S.....	48

Liste des annexes:

Annexe 1 : Organigramme de l'entreprise

Annexe 2 : Exemple de l'historique d'enregistrement des arrêts et documentation machine

Annexe 3 : Suivi du TRS avant fiabilisation des données

Annexe 4 : Analyse AMDEC de la souffleuse (suite)

Annexe 5 : Calcul de la Do et le TRS avant et après SMED

Liste des abréviations :

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

AS: Ain Saiss

BT: brat de transfert

DMAIC: Define, Measure, Analyze, Improve, Control

Do : disponibilité opérationnelle

KPI: Key Performance Indicator (indicateur clé de performance)

5M : méthode, matière, milieu, matériel, main-d'œuvre

NEP/ CIP: nettoyage en place/ Clean in Place

PET : Polytéraphthalate d'éthylène

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

RS : roue de soufflage

5S: Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu, Shitsuke (Méthode d'organisation des postes de travail)

SH: Sidi Harazem

SMED: single minute exchange of die

ST: Système de transmission

TF : Temps de Fonctionnement

TN: Temps Net

TNU : temps non utile

TO : Temps d'ouverture

Tp : taux de performance

TPM: total productive maintenance

TQ : taux de qualité

TR : Temps Requis

TRS : taux de rendement synthétique

TT : Takt Time

TU: Temps Utile

Introduction Générale

Dans un monde industriel de plus en plus compétitif, les entreprises cherchent à améliorer leur performance et garantir la disponibilité de leurs machines.

C'est le cas aussi du secteur agro-alimentaire plus précisément le secteur de l'embouteillage des eaux minérales qui connaît une grande concurrence. Et pour garder sa place entre les meilleures, la société du thermalisme marocain cherche à améliorer son sens proactif en effectuant des actions d'amélioration continue.

Dans le cadre de notre stage de fin d'étude qui a duré quatre mois au sein de SOTHERMA Fès, nous avons traité un sujet intitulé « Mise en place d'une démarche lean manufacturing pour l'amélioration de la performance d'une unité de production » dans le but de participer au développement de la productivité de l'entreprise, en améliorant celle de la ligne 2 par le biais des outils Lean Manufacturing.

La variabilité du taux de rendement synthétique (TRS) -étant calculé au début sans utilisation des indicateurs de performance (taux de Qualité (TQ), taux de performance (TP), disponibilité opérationnelle(Do))- est la problématique principale sur laquelle se base ce projet.

Pour la résoudre, nous allons adopter comme méthodologie la démarche DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control).

Le présent rapport comporte quatre chapitres :

Le premier chapitre présente un aperçu sur l'entreprise SOTHERMA et un descriptif de ses activités et sa structure interne à savoir ses certifications, son organigramme, les étapes de production et les gammes de produits. Il présente aussi le cahier de charge qu'on a établi, dont la problématique et la démarche de résolution.

Le deuxième chapitre aborde une présentation de la méthode Lean Manufacturing et tous les outils que nous avons utilisé dans le développement du sujet.

Le troisième chapitre concerne les trois premières étapes de la démarche de DMAIC, il s'agit de Define, Measure et Analyze. Il présente le problème, l'indicateur à suivre, l'objectif, les mesures et les analyses nécessaires pour la compréhension de l'état actuel de la productivité.

Dans le quatrième chapitre, nous avons introduit les deux dernières étapes de la démarche DMAIC, qui sont Innover (Improve) et Contrôler (Control).

Et finalement nous terminons par une conclusion générale.

CHAPITRE I : Présentation de l'entreprise d'accueil et de la problématique



Ce chapitre présente un aperçu sur l'entreprise SOTHERMA, un descriptif de ses activités, sa structure interne à savoir ses certifications, son organigramme, les étapes de production et les gammes de produits. Il présente aussi le cahier de charge du projet dont la problématique et la démarche de résolution.



1. Présentation de l'entreprise d'accueil :

1.1. Présentation de SOTHERMA :

La société du thermalisme marocain, Créée en 1968, plus connue sous le nom de SOTHERMA (figure 1) est une société qui exerce son activité autour :

- Du captage des eaux minérales à partir de leurs sources, et de leur acheminement jusqu'à l'usine d'embouteillage.
- De la fabrication des bouteilles, leur remplissage et leur conditionnement.
- De la distribution à travers tout le Maroc et la commercialisation à l'export.
- De l'innovation et du Marketing.



Figure 1: Entrée de Sotherma Fès

Sotherma est un acteur majeur sur le marché des eaux minérales embouteillées au Maroc au travers de ses marques : Sidi Harazem depuis 1968 et Ain Saiss depuis 2002.

Sotherma poursuit une stratégie d'innovation continue sur ses 2 marques. Elle lance la première eau minérale embouteillée au Maroc en 1968.

Dès 1997, Sotherma adopte pour Sidi Harazem le nouvel emballage PET (Polytéréphtalate d'éthylène) bien plus respectueux de l'environnement.

En 2002, l'eau Ain Saiss est lancée ouvrant ainsi de nouvelles perspectives de développement de la consommation d'eau au Maroc, et tout récemment le lancement du format 5 litres Ain Saiss confirme cette volonté d'apporter toujours aux consommateurs de nouvelles offres correspondant mieux à leurs attentes, et depuis 2005 Sotherma a lancé le nouveau produit qui est l'eau aromatisée Ain Sais Fraise et Ain Sais Maint.

1.2. Certifications SOTHERMA :

Pour des raisons de qualité et sécurité et pour garantir la satisfaction de client Sotherma a été engagée dans des projets de certification, qui sont les suivants :

- Certification ISO 9002, version 1994 décernée par le ministre de l'industrie et de commerce.
- 1^{er} renouvellement du certificat selon les exigences de la norme ISO 9001, version 2000 en juin 2002 par l'AFAQ.
- Mise en place et l'évaluation par l'AFAQ du système HACCP en juillet 2003.
- 2^{ème} renouvellement du certificat « avec zéro écart » selon les exigences de la norme ISO 9001 version 2000 en juillet 2005 par l'AFAQ.
- Certification ISO 9001 version 2008.

1.3. Fiche technique de SOTHEMA :

Le tableau 1 présente la fiche technique de SOTHERMA FES :

Raison sociale	Société de Thermalisme Marocain.
Date de mise en service	1968
Forme juridique	Société Anonyme (SA)
Actionnariat	Groupe AL-MADA
Adresse	Km. 15, route de Taza - Sidi Harazem – Maroc
Effectif du personnel	Environ 200
Activité	embouteillage et vente en gros des eaux minérales de sidi Harazem et Ain Saiss
Capital	3, 760,000.00 DH
CHIFFRE D'AFFAIRE	De 50, 000,000 à 100, 000,000 DH

Tableau 1: Fiche technique de SOTHERMA FES

1.4. Organigramme de SOTHERMA :

L'organigramme de l'entreprise SOTHERMA se trouve dans l'annexe 1.

1.5. Gamme de produits :

Sotherma Fès assure l'embouteillage de deux eaux minérales qui sont Sidi Harazem (SH) et Ain Saiss (AS).

Les gammes de produits selon les lignes de production sont les suivants :

Ligne 1: AS PET (L) (3/2, ½, 0.33, 3/2 aromatisée citron, ½ aromatisée citron, 0.33 aromatisée fraise) et SH PET (L) (3/2, ½, 0.33)

La ligne 2 est destinée à la production des bidons 5L AS et SH.

Ligne 3 : PET (L) (3/2, ½, 0.33) et SH PET (L) (3/2, ½, 0.33)

Ligne 4 de verre (L) : 1 verre plat.

Ligne 4 Gaz PET (L) : 1 gaz, ½ gaz

Remarque : l'eau aromatisée est à base de l'eau minéral AS, en lui ajoutant des ingrédients notamment les arômes (citron et Fraise).



Figure 2: Produits de Sotherma

- **Composition de SH et AS :**

La composition des eaux minérales AS et SH est présentée dans le tableau 2 :

<i>Eau/composition (mg/l)</i>	Sidi Harazem	Ain Saïss
<i>Bicarbonate</i>	335	372
<i>Sulfate</i>	20	3,8
<i>Chlorure</i>	220	19,8
<i>Calcium</i>	70	63,5
<i>Magnésium</i>	40	35,5
<i>Sodium</i>	120	8
<i>Nitrate</i>	–	7
<i>Potassium</i>	8	1

Tableau 2: Composition d'AS et SH

Le bicarbonate est utile pour la digestion, le sulfate a un effet laxatif, le calcium rentre dans le renforcement des os, le magnésium aide à gérer le stress, le sodium est utile pour récupérer suite aux efforts physiques intenses.

Le potassium participe au bon fonctionnement des reins et à la production d'énergie par le corps, le nitrate est un produit naturel de la dégradation de l'azote.

La consommation d'eau minérale en bouteille est bonne pour la santé dans la mesure où elle est une source de magnésium, qu'elle aide à réguler la pression artérielle, à faciliter la circulation du sang dans le corps, la fortification des os, ainsi qu'à prévenir les troubles digestifs. Mais une fois de plus, il faudrait consulter un médecin afin de savoir quel type d'eau est approprié pour son corps.

2. Etapes de la production :

Avant qu'elle soit embouteillée, l'eau minérale passe par des différentes étapes:

➤ *Captage :*

• **SH :**

Captée à 100 mètres de profondeur, située au pied du Moyen Atlas près de Fès, dans une zone naturellement protégée, La source émerge à une température moyenne entre 32°C et 33°C, le pompage de l'eau se fait avec un forage artésien. La zone est parfaitement clôturée et protégée (2,5 hectares de superficie), ainsi, elle est strictement interdite au grand public pour éviter toute contamination de la source.

SH est tout de suite acheminée par une conduite en Inox, directement au bâtiment d'embouteillage de SOTHERMA, sans jamais entrer en contact avec l'air extérieur.

▪ **AS :**

La source étant située à 14Km du site de SH à une altitude de 600m au niveau du bassin Fès-Meknès. L'eau d'AS est captée à plus de 700m de profondeur à une température de 17°C à 18°C, les apports annuels en pluie et neige permettent une régénération des eaux souterraines.

➤ *Filtration :*

L'eau de AS et SH sont des eaux naturelles minérales, c'est pour ça elles ne subissent aucun traitement lors de leur embouteillage, par contre elles passent par des étapes de filtration physique dès leur entrée à l'usine :

▪ **Filtre à poche :**

Le but de cette pré-filtration est d'assurer la rétention des grosses particules en suspension : sable, bouts... Cette opération est effectuée grâce à un filtre à poche.



Figure 3: Filtre à poche

▪ **Bac de réception 1 :**

Après le filtre à poche, l'eau est reçue dans un bac de réception qui le garde toujours en circulation en cas d'arrêt de la production pour stabiliser la pression et la courbe de fonctionnement de la pompe.

▪ **Filtre à 10µm :**

Le rôle de cette filtration est d'éliminer les particules de petite taille et les micros organismes dont la dimension est supérieure à 10µm.

▪ **Filtre à 1µm :**

Le rôle de cette filtration est d'éliminer les particules de petite taille et les micros organismes dont la dimension est supérieure à 1µm.

- **1^{er} traitement par rayonnement ultra-violet :**

Le générateur de rayonnement UV est un appareil ayant la particularité de détruire toute matière vivante et agissant contre les micro-organismes contenus accidentellement dans l'eau.

- **1^{ère} Filtration absolue à 0,2µm :**

Cette opération est assurée par un filtre qui permet de retenir les impuretés dont la taille est supérieure à 0,2 µm.

- **Bac de soutirage :**

Après filtration physique de l'eau, l'eau est reçue dans le bac de soutirage qui alimente les salles de remplissage.

- **2^{ème} traitement par rayonnement ultra-violet entrée machine :**

Avant le remplissage dans les bouteilles, l'eau passe par la dernière barrière de traitement UV pour éliminer toute particule susceptible d'être attachée à l'eau lors de son déplacement dans la conduite.

- **2^{ème} Filtration absolue à 0,2µm entrée machine**

Pour s'assurer que l'eau ne contient aucun micro-organisme, elle passe par un filtre 0.2 µm, il y a encore un filtre dans l'entrée de la remplisseuse.



Figure 4: Filtres 0.1 micron

➤ *Réception des préformes :*

Les préformes sont en plastique PET (Polyéthylène téréphtalate), dont le grammage diffère d'une forme à une autre. Ces formes sont chargées dans une trémie qui alimente la souffleuse à l'aide d'un élévateur de préformes.

➤ *Soufflage*

La souffleuse utilisée dans la ligne 2 de production est type SMI, elle est présentée dans la figure 5:



Figure 5: Souffleuse SMI

- **Alimentation en préformes :**

A l'aide d'un élévateur, les préformes sont transportées de la trémie d'alimentation vers un module de chauffage à travers un guide incliné, d'où elles tombent par gravité dans l'étoile de transfert, située à l'entrée du module de chauffage. L'étoile alimente la chaîne des mandrins rotatifs, à travers lesquels les préformes sont "capturées" et entrent dans le module de chauffage.

[1]

- **Chauffage des préformes :**

Au niveau de l'entrée du module de chauffage, chaque préforme subit un premier contrôle, qui permet de vérifier la position verticale et les dimensions en éliminant celles qui ne correspondent pas aux paramètres du système. Un deuxième contrôle à la sortie du module permet de vérifier la température des préformes et bloque l'étireuse-souffleuse au cas où cette température dépasse la limite permise pendant la procédure de chauffage, les préformes tournent avec une vitesse réduite autour d'elles-mêmes afin de garantir une distribution optimale et symétrique de la chaleur. [1]

- **Étirage des préformes :**

Cette opération s'effectue grâce à une tige d'élongation qui permet aux préformes de prendre la longueur voulue.

- **Près-soufflage /soufflage des préformes :**

A l'aide d'un groupe rotatif des pinces qui permet de prélever les préformes situées à la sortie du module et les place dans la zone d'étirage-soufflage. Le pré-étirage (11 bars) et l'étirage (40 bars) sont deux opérations successives qui se déroulent avec une haute vitesse et par la descente de la barre d'étirage et l'introduction d'air comprimé à basse pression.

Pour le soufflage, la préforme est enfermée dans un moule de soufflage selon la forme désirée, le moule est formé de deux demi coquilles qui permettent d'avoir des formes complexes assurant les fonctions de Rigidifiassions de la bouteille et l'esthétique de la bouteille, et aussi d'un fond amovible qui permet d'avoir un fond concave, ce qui assure une bonne stabilité de la bouteille.

A la fin de cette étape les bouteilles prennent enfin la forme des futures bouteilles plastiques en PET. [1]



Figure 6: Préforme et bouteille après soufflage

➤ *Remplissage :*

Les bouteilles soufflées sont transférées par un autre groupe rotatif de pinces vers la remplisseuse. Lors de cette étape la bouteille est remplie d'eau, à partir d'une étoile de manutention vers une autre équipée d'électrovannes, pendant un tour de cette dernière la bouteille se remplit complètement et passe à la bouchonneuse. [1]

➤ *Bouchage :*

A côté de la bouchonneuse on trouve une trémie qui a pour rôle d'alimenter la machine par des bouchons qui sont chargés par un opérateur lorsque le seuil est atteint. A l'aide d'un souffleur positionné sur la partie haute de l'élévateur de la trémie les bouchons sont poussés vers le système de bouchage lié à la machine.

➤ *Étiquetage :*

Cette opération est assurée par l'étiqueteuse qui a pour rôle de coller les étiquettes sur les bouteilles.

L'opérateur fait la charge des packs des étiquettes manuellement.



Figure 7: Etiqueteuse

➤ *Marquage en douane*

A la sortie de l'étiqueteuse les bouteilles passent par un système de marquage qui permet de jeter une encre sur le bouchon portant un code de douane.

➤ *Dateage*

Grace à une cellule photoélectrique les bouteilles sont datées à l'aide d'une encre injectée automatiquement par la dateuse sur la partie supérieure en mentionnant la date de production et la date d'expiration.

- ✓ P : jour/mois/année heure
- ✓ E : jour/mois/année

➤ *Fardelage :*

Les bouteilles datées lors de l'étape précédente, sont transférées grâce au convoyeur qui se situe entre la dateuse et la fardeleuse.

A l'entrée de la fardeleuse les bouteilles pénètrent dans un couloir pour former des rangées de quatre, de trois, ou de deux bouteilles pour former un pack de douze, de six, ou de deux bouteilles, ensuite elles sont enroulées dans un film en plastique rétractable par la chaleur grâce à la fardeleuse.

➤ *Palettisation :*

Cette étape consiste à garantir un transport et un stockage plus faciles du produit fini, cependant les packs sont disposés sous forme de couches, qui sont séparées par des intercalaires selon le format de la bouteille.

➤ *Banderolage :*

A l'aide d'un convoyeur à rouleaux, les palettes sont transférées dans la zone de banderolage au centre de la machine. Avec un film étirable, la stretcheuse permet de banderoler les palettes grâce à un chariot porte-bobine qui commence à monter, et qui enveloppe la palette et crée un banderolage en spirale pour garantir leurs stabilités et diminuer tous les contacts entre les bouteilles et les désagréments extérieurs (poussière, soleil...). La stretcheuse permet également le maintien des bouteilles sur leur support en étant rétractée autour.

➤ *Identification et stockage :*

La traçabilité de chaque palette est assurée par l'opérateur de la stretcheuse qui remplit une fiche d'identification de la palette qui contient les informations suivantes :

- produit
- Nombre de packs
- Date & heure de production
- Ligne / Usine
- Date de péremption

3. Cahier de charge :

Le cahier de charge que nous allons adopter est le suivant :

- **Maître d'ouvrage :**

Le maître d'ouvrage est le service production SOTHERMA FES, représentée par Mr. A. ERRACHKI et Mr. A. HADDOUCHE.

▪ **Maître d'œuvre :**

La Faculté des Sciences et Techniques de Fès, Filière Génie Industriel, représentée par : Hind JEBBOURI sous l'encadrement de Mme. Bouchra RZINE.

▪ **Problématique :**

Le taux de rendement synthétique est un indicateur qui mesure l'efficacité des moyens de production.

Il fait la synthèse de trois facteurs importants qui sont :

- La disponibilité de la machine.
- La cadence de production.
- La qualité des produits.

On doit non seulement pouvoir les mesurer, mais aussi les analyser, les corrélérer avec d'autres informations et mesures issues de l'atelier.

Et puisque Sotherma est une entreprise qui cherche l'excellence opérationnelle, son objectif est d'améliorer sa performance, et garantir un taux de rendement synthétique stable et meilleur autant que possible.

Dans le cadre de notre projet, nous devons améliorer le TRS de la ligne de production 2, car c'est la ligne qui souffre de plus de problèmes.

Pour ce faire, on propose de mettre en place une démarche Lean manufacturing qui englobe l'ensemble des mesures à suivre pour stabiliser le TRS.

- ❖ Alors, dans quelles mesures le lean manufacturing permet d'améliorer la performance de la productivité de la ligne 2?

▪ **Objectif :**

Notre objectif principal est l'amélioration de la performance de production par le biais de l'amélioration du TRS [75% - 80%]. Pour atteindre cet objectif, les principales missions à réaliser sont les suivantes:

- ❖ Définition de l'objectif et collecte des données nécessaires.
- ❖ Fiabilisation des données.
- ❖ Analyse de l'état actuel de production.
- ❖ Proposition et suivi des améliorations.
- ❖ Contrôle et maîtrise.

▪ **Contraintes:**

Le temps consacré au projet est limité, puisque la durée de stage ne dépasse pas quatre mois.

CHAPITRE II : Lean manufacturing et outils utilisés



Dans ce chapitre, On va faire une présentation de toutes les méthodes qu'on va utiliser dans le développement de notre projet.



1. Introduction :

L'environnement économique actuel incite les entreprises à une recherche rapide de compétitivité pour rester concurrentes dans le secteur industriel.

Dans ce contexte, SOTHERMA, cherche à améliorer la performance de ses unités de production à travers l'implémentation d'une démarche lean manufacturing.

Nous allons donc présenter le lean manufacturing et les outils utilisés qui vont contribuer à l'amélioration du TRS.

2. Lean manufacturing :

Produire plus et mieux sans investissement productif supplémentaire est possible si l'on s'attaque aux causes de gaspillage de la capacité installée. Ce constat imprègne toutes les méthodes japonaises, et ramené à la conduite de machines, cela signifie chercher à maximiser le temps productif, réduire le temps non productif du aux arrêts et pannes, conserver les cadences optimales et réduire la non qualité.

Le concept de Lean Manufacturing est né dans les ateliers de Toyota, après la seconde guerre mondiale, sous l'impulsion de Kiichiro Toyoda, président de Toyota Motor Corporation.

C'est une méthode d'organisation d'optimisation de la performance industrielle qui vise à mieux respecter les exigences du client en matière de coût- qualité- délai, en utilisant moins de ressources.

Il s'agit d'analyser de manière détaillée les différentes étapes qui constituent le processus de production puis, à chasser tous les gaspillages identifiés tout au long du processus de fabrication permettant alors d'être plus efficace et plus rentable.

Et lorsqu'on parle du gaspillage, on parle des activités qui n'apportent pas de valeur au produit fini.

Donc, pour optimiser le processus de l'entreprise on doit identifier les gaspillages.

Sept grandes catégories de gaspillage sont reconnues : la surproduction, les traitements ou étapes du processus de fabrication inutiles, le surstock et les stocks inutiles, les opérations et mouvements inutiles, les temps d'attente, les transports inutiles et déplacements, les erreurs, défauts et rebuts, ainsi que la sous-utilisation des compétences. [2]

3. Démarche DMAIC :

En fait, l'amélioration de la performance, très liée à l'amélioration continue, est une démarche dans laquelle s'inscrit le système de production tout entier. Une façon simple de la décrire est le modèle DMAIC.

Il s'agit d'une méthode scientifique de résolution de problèmes découpée en 5 étapes dont « DMAIC » est en fait l'acronyme : Define / Measure / Analyze / Improve / Control.

On pourrait d'ailleurs le transposer en français presque mot pour mot : Définir / Mesurer / Analyser / Innover (au sens Améliorer) et Contrôler.

Pour bien appliquer la méthode et en récolter les fruits, il convient d'impliquer tous les acteurs du projet, et notamment la direction, autour des 5 étapes suivantes : [3]

➤ **Définir :**

Tout projet DMAIC démarre avec la rédaction d'un mandat de projet, appelé aussi « charte de projet » qui recense les différents éléments : la problématique soulevée, les personnes ou les clients concernés, les indicateurs clés et les objectifs à atteindre, le périmètre, le planning et l'équipe, sans oublier les gains attendus du projet. On peut d'ailleurs utiliser la méthode QQQCP pour apporter des éléments de réponse.

➤ **Mesurer :**

Il s'agit à cette étape de déterminer les mesures pertinentes à collecter pour connaître parfaitement le processus de référence et l'ampleur du problème à résoudre.

➤ **Analyser :**

Les données collectées suite à la phase précédente pourront alors être examinées, décortiquées afin d'analyser le processus en question et de déterminer les causes du problème qui doivent être ajustés ou éliminés.

➤ **Innover / Améliorer :**

Une fois la ou les cause(s) du problème identifiée(s), il sera temps de réfléchir aux solutions possibles.

Il peut en exister plusieurs et il conviendra d'effectuer un arbitrage afin de choisir celle(s) à mettre en place pour permettre d'atteindre les objectifs visés.

➤ **Contrôler :**

Nous parlons ici d'amélioration continue et d'excellence opérationnelle, il sera donc essentiel de mettre en place un programme de suivi et de pilotage des plans d'actions mis en œuvre. Cela permettra de mesurer le niveau et la pérennité des améliorations obtenues.

4. Présentation de TRS:

Le taux de rendement synthétique (ou TRS) est un indicateur destiné à suivre le taux d'utilisation des machines.

Le TRS est défini par la formule:
$$\text{TRS} = \frac{\text{Production réelle}}{\text{Production maximum théorique}} \quad (1)$$

La définition du TRS est un standard propre à chaque organisation qui le définit. Ainsi, pour une situation donnée, le TRS calculé sera différent selon les organisations qui le calculent.

Le TRS décompose et met en évidence les pertes de production en différentes catégories sur lesquelles un plan d'action est mis en place.

Ainsi, on retrouve trois taux dans le calcul théorique du TRS :

- le taux de disponibilité opérationnelle (notamment influencé par les pannes et les changements d'outils). Celui-ci se définit comme un rapport entre le "temps disponible" et le "temps utile" ou "temps de production" (ou tout autre terme équivalent). Ce taux est un de ceux qui font l'objet des plus grandes divergences entre les organisations.

Ce taux est calculé par la formule suivante:
$$Do = \frac{TF}{TR} \quad (2)$$

- le taux de performance (notamment influencé par les micro-arrêts et les baisses de cadences). Ce taux représente les pertes dues à un fonctionnement non optimal de la machine.

Il est calculé par la formule suivante:
$$Tp = \frac{TN}{TF} \quad (3)$$

- le taux de qualité (notamment influencé par les défauts et les pertes aux redémarrages). Il représente les pertes dues à une mauvaise fabrication.

Le TQ est calculé par la formule suivante:
$$TQ = \frac{TU}{TN} \quad (4)$$

Avec :

- $TO : (2*8 \text{ h} / 3*8\text{h} / \text{Journée} / \dots)$
- $TR = TO - \text{Temps d'arrêts planifiés (arrêts liés à l'organisation)}$ (5)

- $TF = TR - \text{Temps non planifiés (arrêts Propres)}$ (6)

- $TN = \frac{\text{Nombre total de pièces produites}}{\text{cadence par minute}}$ (7)

- $TU = \frac{\text{Nombre de pièces conformes produites}}{\text{cadence par minute}}$ (8)

Le TRS correspond à la multiplication de ces trois taux. $TRS = TQ * Tp * Do$ (9)

Chacun des trois taux étant compris entre 0 et 100 %, le TRS doit donc être compris entre 0 et 100 %. Plus un indice de TRS est proche de 100 %, meilleure est l'efficacité de la ligne.

Pratiquement, le TRS est souvent calculé comme le rapport entre le nombre de pièces bonnes produites pendant une certaine période et le nombre de pièces théoriquement produites durant la même période. [4]

5. Présentation du TPM :

5.1. Définition du TPM :

Originaire du Japon, le TPM, total productive maintenance, est une démarche d'amélioration des performances. C'est une méthode mise en place dans le milieu industriel permettant d'accroître les résultats d'une entreprise.

Le TPM est effectué à partir d'un constat terrain qui s'appuie sur les aléas et dysfonctionnements de la mise en œuvre et des équipements. Il consiste en une opération corrective, en vue de parfaire l'organisation et la productivité de l'entreprise. [5]

5.2. TPM, une méthode globale :

Le TPM se présente sous les aspects suivants : [5]

- amélioration de la productivité d'une entreprise en appliquant des procédés visant à réduire les pertes et gaspillages.
- exploitation de la maintenance autonome : des outils sont utilisés afin de solutionner les anomalies du système.
- organisation des maintenances planifiées en favorisant la prévention afin de pallier les éventuels dysfonctionnements qui pourraient nuire à la santé de l'entreprise.
- développement des compétences du personnel en adaptant des plans de développement des compétences qualité (ex-plans de formation).
- proposition de plans d'actions pour rendre les services fonctionnels.
- garantie de la sécurité dans la structure de l'entreprise.

5.3. Objectifs du TPM :

Le TPM répond à plusieurs critères, à savoir : [5]

- ✓ perfectionner le TRS en employant du matériel de plus en plus performant.
- ✓ améliorer la réactivité grâce à la méthode SMED: cela consiste à changer de procédé de fabrication dans le but de répondre rapidement à la demande du marché sans augmentation du coût de production.
- ✓ rendre le processus de fabrication et les équipements plus fiables.
- ✓ motiver le personnel en lui accordant plus d'autonomie.
- ✓ Optimiser les coûts d'exploitation des équipements.
- ✓ Diminuer les coûts de revient des produits.
- ✓ Développer également les autres secteurs de l'entreprise.

5.4. Piliers du TPM :

Les piliers d'un programme de maintenance productive totale permettent aux organisations d'atteindre des objectifs d'utilisation de la machine et de productivité accrues. Parmi les piliers que nous allons utilisés on trouve : [5]

➤ Amélioration au cas par cas :

Dans cette activité, l'équipe découvrira les pannes d'équipement et fixera des objectifs d'amélioration dans le cadre de ce qu'on appelle l'amélioration continue. L'étape la plus importante est de s'assurer que les équipes interfonctionnelles travaillent ensemble pour trouver la cause profonde des problèmes et appliquer des solutions pour une amélioration continue.

➤ Maintenance autonome :

La deuxième activité se caractérise par des opérations de maintenance autonomes, où l'opérateur d'une machine donnée est responsable du réglage et de l'entretien mineur de ces équipements (par exemple: nettoyage, lubrification et inspection). Le résultat de cette activité est de motiver les employés, de les rendre plus capables, d'avoir une meilleure compréhension des objectifs de l'organisation lean et de réduire les coûts grâce à la surveillance continue et à la maintenance de la fiabilité des équipements.

➤ Maintenance planifiée :

La maintenance planifiée comprend des routines de maintenance préventive et prédictive basées sur la surveillance de l'état de l'équipement, l'historique de maintenance et les données collectées par les capteurs. La maintenance planifiée vous permet de prévoir les pannes majeures, de réduire les temps d'arrêt imprévus et ainsi d'augmenter la capacité des activités de production.

➤ Amélioration des connaissances et des savoir-faire :

L'événement s'est concentré sur l'amélioration continue des compétences des employés en lançant des programmes de formation et de coaching. Par exemple, les opérateurs de machines développeront des compétences de maintenance autonome, les professionnels de la maintenance apprendront des techniques de maintenance préventive, prédictive et prescriptive, et les managers recevront une formation sur les stratégies d'amélioration telles que Kaizen et la maintenance productive totale.

6. Présentation de la SMED :

SMED signifie « Single Minute Exchange of Dies », c'est-à-dire « changement d'outil en moins de 9 minutes », ce qui veut dire « changement rapide d'outillage ». Le but de cette

méthode est de diminuer le temps de réglage ou le temps de préparation entre 2 séries de production.

L'idée est de réduire au minimum, le temps perdu entre le passage d'un produit A et un produit B. Cette méthode peut aussi s'appliquer à tout processus de production et administratif.

Le but du SMED est le gain de temps, la réduction voir l'élimination des stocks de pièces détachées, et l'augmentation de la productivité. Pour cela, il faut mettre en place une organisation flexible et réactive.

Voici, très schématiquement comment procéder :

- Identifier les réglages internes (hors production) et externes (pendant la production).
- Séparer les réglages internes et externes.
- Transformer les réglages internes en réglages externes.
- Réduire la durée d'exécution des opérations internes et des opérations externes. [6]

6.1. Identification des réglages internes et externes :

C'est un stade préliminaire mais il reste très important.

Dans les réglages traditionnels, les réglages internes et externes sont mélangés : ce qui pourrait être fait en externe est fait en réglages internes. Il est nécessaire d'étudier dans le détail les conditions réelles de l'atelier.

Une analyse continue de production avec un chronomètre est une bonne approche. Une approche plus efficace encore est d'utiliser une ou plusieurs caméras vidéo, dont les bandes pourront être analysées en présence des opérateurs eux-mêmes. [6]

Il faut identifier les opérations lors du changement de production :

- ✓ Préparation de la machine, du poste de travail, des outillages.
- ✓ Vérification de la matière et des instruments de mesures.
- ✓ Démontage / montage de l'outillage.
- ✓ Réalisation et Contrôle des pièces d'essai.
- ✓ Nettoyage.
- ✓ Rangement du poste de travail.

6.2. Séparation des réglages internes et des réglages externes

C'est l'étape la plus importante. Les réglages internes, ou « temps propres », sont les opérations qui nécessitent obligatoirement un arrêt de production (par exemple un changement d'outil).

Les réglages externes, ou « temps externes », regroupent les opérations qui peuvent avoir lieu pendant la production (telles par exemple la préparation des outils et outillages, les pré-réglages, ou le préchauffage, le rangement des outillages). [6]

6.3. Transformation des réglages internes en réglages externes

C'est le troisième stade de la méthode SMED, il a pour objectif la transformation des réglages internes en réglages externes. Par exemple : préchauffage, pré-assemblage, utilisation d'un banc de pré-réglage, etc. [6]

6.4. Réduction de la durée d'exécution des opérations

C'est le quatrième stade de la méthode.

Pour réaliser cette opération les outils méthodologiques suivants peuvent être utilisés : [6]

- Supprimer les réglages
- Réduire les temps de changement.
- Réduire les temps des autres opérations

7. Présentation de la méthode des 5S :

7.1. Définition des 5S :

La méthodologie des 5S provient de 5 verbes d'action japonais résumant les tâches essentielles à mener pour améliorer son environnement (tableau 3).

Japonais	Français	Les actions
<i>Seiri</i>	Débarrasser	L'idée est de se débarrasser du superflu. Ce qui n'est pas utilisé régulièrement est rangé, voire jeté.
<i>Seiton</i>	Ranger	Concevoir un espace de travail efficace où chaque chose a une place bien définie facilitant son utilisation.
<i>Seiso</i>	Nettoyer	La propreté est un élément important du principe. Le nettoyage permet d'éviter des dysfonctionnements pour ce qui concerne les biens de production, sécurise les lieux et rend le cadre de travail organisé.
<i>Seiketsu</i>	Maintenir l'ordre	Une fois que tout est trié, rangé et nettoyé, il convient de maintenir ce nouvel ordre.
<i>Shitsuke</i>	Etre rigoureux	Cette méthode n'est efficace que si ses préceptes illustrés par les 4S précédents sont respectés. C'est le sens de ce 5ème S.

Tableau 3: Méthode des 5S.

La mise en place de cette méthode permet d'obtenir un espace de travail optimisé où le désordre n'a plus sa place, tout document est facilement et rapidement trouvable.

Cet environnement permet de travailler plus rapidement sans se perdre des tâches sans valeur ajoutée, de réduire les accidents de travail pour les ateliers (pas de pièces qui traînent sans raison), de se concentrer sur l'essentiel. [7]

7.2. Applications de la méthode 5S

Conçu originalement pour l'organisation des ateliers de production, cet outil est aujourd'hui utilisé pour l'optimisation de tout espace professionnel. En premier lieu, les bureaux. Il est

applicable à tout type d'entreprise, quel que soit sa taille ou son secteur d'activité. Même pour les services. [7]

7.3. Mise en œuvre d'une opération 5S

Tout commence par une formation aux 5 étapes. Un stade important pour comprendre ce que les collaborateurs vont devoir faire par la suite.

Les managers fixent des règles et principes de rangement comme l'affectation de zones de stockage, les outils de classement à disposition, voire même des objectifs de mise en rebus.

Pour impliquer ses employés, ces actions prennent généralement la forme de "grandes messes" pour créer une certaine émulation. [7]

8. Présentation de la méthode AMDEC :

8.1. Définition :

L'AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité) est une méthode d'analyse prévisionnelle de la fiabilité qui permet de recenser les modes de défaillances potentielles dont les conséquences affectent le bon fonctionnement du moyen de production, de l'équipement ou du processus étudié, puis d'estimer les risques liés à l'apparition de ces défaillances, afin d'engager les actions correctives ou préventives à apporter lors de la conception, de la réalisation ou de l'exploitation du moyen de production, du produit ou du processus. [8]

Il s'agit d'une technique d'analyse exhaustive (qui permet d'analyser à la fois les causes, les effets et leurs modes de défaillances) et rigoureuse de travail en groupe. Cette méthode est très efficace dès lors que l'on met en commun l'expérience et la compétence de chaque participant du groupe de travail.

L'AMDEC peut s'appliquer à tous les systèmes risquant de ne pas tenir les objectifs de fiabilité, maintenabilité, qualité du produit fabriqué et/ou de sécurité. [8]

8.2. Types de l'AMDEC :

On différencie plusieurs types d'AMDEC :

- ✓ **L'AMDEC produit** : Elle sert à assurer la fiabilité d'un produit en améliorant sa conception.
- ✓ **L'AMDEC processus** : Assure la qualité d'un produit en améliorant les opérations de production de celui-ci.
- ✓ **L'AMDEC moyen de production** : Elle assure la disponibilité et la sécurité d'un moyen de production en améliorant sa maintenance.

Pour réaliser une AMDEC, il faut bien connaître le fonctionnement du système, du processus ou du produit analysé ou, à défaut, avoir les moyens de se procurer l'information auprès de ceux qui la détiennent. [8]

8.3. Application de l'AMDEC :

La méthode AMDEC se déploie en 4 étapes :

- 1) Préparation
- 2) Décomposition fonctionnelle
- 3) Phase d'analyse
- 4) Mise en place et suivi des plans d'actions

8.3.1. Préparation

A ce stade, il convient de définir le périmètre et les objectifs de l'analyse ainsi que les participants (typologie, nombre, niveau de compétence, etc.) et leur niveau de contribution (participation aux réflexions, suivi des plans d'actions etc.).

La phase de préparation est aussi le moment où l'on met en place les outils nécessaires à l'analyse. [8]

8.3.2. Décomposition fonctionnelle :

Il s'agit d'identifier clairement les éléments à étudier et les fonctions / phases à étudier :

- les fonctions de la machine, dans le cas d'une AMDEC Moyen de production.
- les fonctions du produit, dans le cas d'une AMDEC Produit.
- les phases du processus, dans le cas d'une AMDEC Processus.

Le but étant d'analyser, pour chaque fonction, les risques de dysfonctionnement.

L'analyse fonctionnelle facilite grandement l'analyse des défaillances et permet au groupe de travail d'adopter un langage commun et d'obtenir un découpage clair des fonctions ou phases sujettes à analyse. [8]

8.3.3. Analyse AMDEC et Définition des actions :

A partir de chaque fonction du produit ou du moyen de production ou phase du processus identifiée, pour chaque défaillance possible, le groupe de travail doit noter sa criticité selon des critères à définir ensemble, basés la plupart du temps sur une cotation préalablement définie.

Voici les critères que nous allons adopter (pour une AMDEC Moyen de production) : [8]

- *Gravité des effets de la défaillance (G) :*

Niveau	Valeur	Définition
Mineure	1	La défaillance arrête le composant mais pas l'installation qui continue à fonctionner en mode dégradé
Moyenne	2	La défaillance arrête l'équipement mais pas la production qui continue à fonctionner en mode dégradé
Majeure	3	La défaillance arrête la production et nécessite une intervention de maintenance
Importante	4	La défaillance arrête la production impliquant des problèmes graves pour les hommes ou l'installation

Tableau 4 : Classement des effets de défaillance selon la gravité

➤ Fréquence d'apparition de la défaillance (F) :

Niveau	Valeur	Définition
Exceptionnel	1	Pas de mémoire de participant
Rare	2	Cela est déjà arrivé 1 ou 2 fois par semaine
Fréquent	3	Cela est déjà arrivé plusieurs fois dans la semaine
Certain	4	Cela arrivera à coup sûr chaque semaine

Tableau 5: Classement des défaillances selon la Fréquence d'apparition

➤ Capacité de détection de la défaillance (D) :

Niveau	Valeur	Définition
Evident	1	Détection certaine
Possible	2	Détectable par l'opérateur
Improbable	3	Difficilement détectables
Impossible	4	Indétectable

Tableau 6 : Classement des défaillances selon la capacité de détection

➤ Criticité (C) :

La combinaison (multiplication) de ces critères permet ensuite d'obtenir un niveau de criticité (C) et selon ce niveau on décide des actions (et des délais) à entreprendre :

Valeur	Définition
$1 < C < 8$	Négligeable : on les laisse de coté
$8 < C < 14$	Moyenne : on se pose les questions de les laisser ou conserver
$14 < C < 27$	Élevée : il faut trouver des actions à mettre en œuvre et regarder l'importance de mettre en stock les composants ou organes
$27 < C < 64$	Interdit : il faut trouver des actions à mettre en œuvre et mettre obligatoirement en stock les composants ou organes

Tableau 7 : Actions à entreprendre selon la criticité

En conclusion, L'analyse AMDEC est une recherche longue mais fructueuse qui s'intègre parfaitement dans une démarche d'analyse et de prévention des risques. En outre, la formalisation induite par la grille d'analyse permet de conserver et de capitaliser les informations relatives aux caractéristiques des moyens de production, des produits et des processus.

9. Présentation de la méthode Pareto :

Le principe de Pareto, aussi appelé loi de Pareto, principe des 80-20 ou encore loi des 80-20, est un phénomène empirique constaté dans certains domaines : environ 80 % des effets sont le produit de 20 % des causes. Il a été appliqué à des domaines comme le contrôle qualité.

Le diagramme de Pareto est un outil graphique d'analyse, de communication et de prise de décision très efficace.

Cette courbe nous permet d'identifier les défauts et les pannes les plus urgents selon une analyse statique. [9]

C'est une courbe 20/80 distinguée en trois classes :

- Zone A ($\leq 80\%$) : priorité importante.
 - Zone B (entre 80% et 95%) : priorité moyenne.
 - Zone C ($> 95\%$) : priorité faible.
- Comment utiliser la loi de PARETO?

La méthode « pas à pas » ci-dessous vous explique comment faire votre première analyse :

- ✓ Définir le sujet à analyser,
- ✓ Collecter et rassembler les données,
- ✓ Classer les données en quelques catégories principales,
- ✓ Regrouper les catégories avec peu de données dans une catégorie « Autres » (plus cette catégorie est vide, plus votre analyse sera efficace)
- ✓ Faire le total des données de chaque catégorie,
- ✓ Déterminer les pourcentages par rapport au total et les classer par valeur décroissante,
- ✓ Calculer le pourcentage cumulé.

10. Présentation de diagramme d'ISHIKAWA :

Le diagramme d'Ishikawa, aussi appelé diagramme de causes et effets ou encore diagramme en arêtes de poisson, est un outil de résolution de problème dans les entreprises.

Conçu par Kaoru Ishikawa, ce diagramme prend la forme d'un arbre avec plusieurs branches (ou d'une arête de poisson). On y retrouve l'effet, le problème que rencontre l'entreprise, à la tête et les causes sont modélisées par des branches. Ces causes, les « 5 M », représente chacune une composante de l'entreprise, nous reviendrons sur ces 5 M au cours de l'article.

Le principal intérêt du diagramme d'Ishikawa est d'identifier l'ensemble des causes qui ont une influence, plus ou moins directe, sur un problème observé. Les causes identifiées sont ensuite hiérarchisées, permettant à l'entreprise de prioriser les efforts à mener pour résoudre le problème. [9]

La force du diagramme d'Ishikawa est d'être un outil très visuel, une représentation graphique facilite grandement la communication autour du problème. Ceci offre aussi au dirigeant une vision globale, à la fois synthétique et précise, de l'effet néfaste identifié. Le diagramme de causes et effets est applicable pour tout type d'entreprise qui rencontre un dysfonctionnement, quel que soit sa taille ou son domaine d'activité.

 Les 5M de diagramme d'ISHIKAWA :

Les causes d'un problème peuvent être regroupées en cinq catégories, les 5 M :

- **Méthode** : Processus de production du produit ou service. La recherche et développement.
- **Matière** : Les matériaux utilisés pour la production du bien.
- **Milieu** : environnement (température, hygrométrie, ...)
- **Matériel** : Les machines, le parc informatique et les logiciels. L'ensemble des équipements qui servent à apporter de la valeur ajoutée au matériau de base.
- **Main-d'œuvre** : Les collaborateurs et l'ensemble des interventions humaines (la RH).

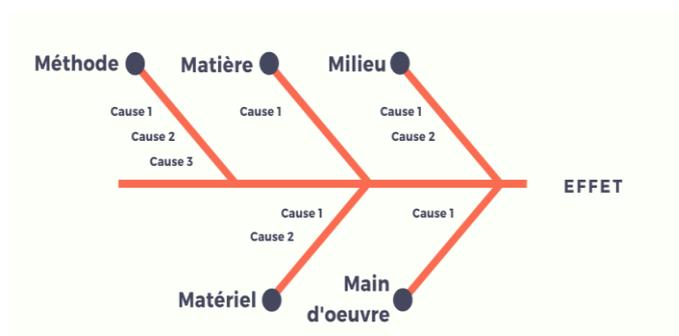


Figure 8 : Diagramme d'ISHIKAWA

11. Présentation de la méthode de brainstorming :

Le brainstorming, littéralement tempête de cerveaux ou remue-méninges, est une méthode participative de résolution de problèmes s'appuyant sur la créativité spontanée des participants. En fait, c'est bien la spontanéité qui est recherchée. Voyons la démarche ou plutôt le protocole à suivre si l'on souhaite parvenir à un résultat. Nous poursuivrons avec la "Critique Constructive", une alternative particulièrement efficace. Lors d'une session, toutes les idées sont notées sans n'y apporter aucun jugement.

Au contraire même, il est plutôt demandé aux participants de ne pas critiquer, et de ne pas hésiter à rebondir pour construire et laisser progresser la réflexion. Ainsi, par association d'idées successives, on collecte de nombreuses pistes. [9]

12. Présentation de la méthode QQQQCP :

La méthode QQQQCP permet de mener une analyse fine de la situation. Et ce d'une manière constructive, basée sur un questionnement systématique de façon à tourner le problème dans tous les sens, le décomposer dans toutes ses dimensions, décaler les regards et ouvrir le champ des possibles en matière de solution.

Sa version anglaise est connue sous le nom des "5 W's" – Who, What ? Where, When et Why? Son nom français "QQQQCP" vient de l'acronyme qui la définit : [9]

- **Q - Quoi** : objet, action, phase, opération.
- **Q - Qui** : parties prenantes, acteurs, responsables.
- **O - Où** : lieu, distance, étape.
- **Q - Quand** : moment, planning, durée, fréquence.
- **C - Comment** : matériel, équipement, moyens nécessaires, manières, modalités, procédures.
- **P - Pourquoi** : motivations, motifs, raisons d'être, etc.

13. Présentation de la méthode JIDOKA :

Jidoka offre aux opérateurs et aux machines la possibilité de détecter les problèmes et d'arrêter immédiatement les opérations.

Cela garantit un fonctionnement de haute qualité et sépare le personnel des machines pour améliorer l'efficacité du travail.

Le Jidoka est parfois appelé « Autonomation », ce qui signifie « automatisation avec intelligence humaine ». [10]

Les 4 étapes du Jidoka sont :

- Détection de défaut
- Arrêtez immédiatement
- Réparation immédiate ou action corrective
- Recherchez la cause première et prenez des mesures préventives pour que le problème ne se reproduise plus.

14. Présentation du Takt time :

Le takt time est un terme associé au lean management, employé dans le milieu de la production industrielle désignant la durée idéale de production d'un bien, lorsque celle-ci correspond exactement au besoin du client. C'est le rythme de production qu'il faut respecter pour produire exactement le nombre d'unités demandé par le client. [11]

❖ **Le takt time TT** se définit par la formule suivante :

Takt time = Temps disponible/Nombre d'unités voulues.

Temps de performance = Nombre de pièce produite * TT

Temps non utile = Temps d'ouverture – temps de performance

❖ **Le temps de cycle TC** correspond à la durée moyenne réellement nécessaire pour produire une unité :

$$TC = \text{Temps disponible} / \text{Nombre d'unités produites}$$

Contrairement au takt time, le temps de cycle prend également en compte le temps de fabrication des pièces défectueuses ou de réglages nécessaire à la fabrication du nombre de pièces bonnes voulues.

Pour produire exactement la quantité désirée dans le temps imparti, on doit avoir $TC = TT$.

- Si $TC > TT$, la production est en sous-capacité.
- Si $TC < TT$, la production est en sur-capacité.

15. Conclusion :

L'amélioration de la productivité consiste à chercher les causes de perte de productivité pour pouvoir les résoudre. Alors, il faut définir un indicateur à suivre pour savoir l'état de la production.

Le lean manufacturing est un esprit qu'on va appliquer pour éliminer les gaspillages.

Ishikawa, Pareto, 5S, QOQCP, SMED, TPM, AMDEC, JIDOKA, DMAIC, brainstorming, sont les outils d'analyse et de résolution de problèmes que nous allons utiliser dans notre étude.

Chapitre III : Diagnostic de l'état actuel, Définition, Mesure et Analyse



Dans ce chapitre, on va appliquer les trois premières étapes de la démarche DMAIC. Il s'agit de « Define », « Measure » et « Analyze »



1. Introduction :

Dans ce chapitre, on va définir le problème, l'indicateur à utiliser et l'objectif. Après, nous allons quantifier l'ampleur du problème par la prise des mesures nécessaires. Ensuite, nous allons faire l'analyse de l'état actuel de la productivité de la ligne 2 par la détermination des causes.

Il s'agit des trois premières étapes de la démarche DMAIC ; Define, Measure et Analyze.

Notons que la collecte des informations se fait soit à partir de l'historique du rapport journalier de production, ou en utilisant un brainstorming avec les techniciens production et maintenance aussi que les chefs d'équipes production et chefs d'équipes maintenance.

2. Définition du Problème, Indicateur et Objectif :

2.1. Définition du problème :

Lorsqu'une entreprise cherche l'excellence, elle cherche en premier lieu à améliorer sa productivité, réduire toutes les sources de pertes ainsi qu'améliorer son chiffre d'affaire.

Une instabilité dans la productivité, implique qu'il y a un/ des problème(s) qu'il faut trouver pour les résoudre.

Pour ce faire, il faut définir un indicateur clé de performance (KPI) à suivre pour savoir l'état de son système de production.

2.2. Définition de l'indicateur :

Les indicateurs peuvent être des indicateurs de productivité, comme le célèbre TRS, des indicateurs de rentabilité, des indicateurs sur les consommations, l'énergie, ou même des indicateurs environnementaux.

Dans notre cas on va prendre comme indicateur de performance le TRS.

2.3. Définition de l'objectif :

Notre objectif est de minimiser voir 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 ainsi que l'amélioration et la stabilisation du TRS.

Pour mieux expliciter ces données, on utilise la méthode QQQQP :

<i>Qui</i>	Qui est concerné par le problème ?	service de la production.
<i>Quoi</i>	C'est quoi le problème ?	La performance de la production attendue non atteinte.
<i>Où</i>	Où apparait le problème ?	Les lignes de production de Sotherma.
<i>Comment</i>	Comment mesurer le problème pour proposer des solutions ?	Par le suivi de l'indicateur de performance TRS.
<i>Quand</i>	Quand apparait le problème ?	Début 2021.
<i>Pourquoi</i>	Pourquoi il faut résoudre ce problème ?	Pour améliorer le TRS ainsi que la performance de la production.

Tableau 8 : Méthode QQQQP

3. Prise des Mesures:

Le TRS est certainement un des indicateurs les plus suivis en entreprise. Son intérêt principal réside dans sa faculté à fournir une vision synthétique et sévère de la performance, en un seul chiffre.

On considère l'étude suivante qui concerne la ligne 2, dans laquelle se produisent les bidons 5 litres d'AS et SH.

3.1. Problème dans le calcul du Tp!

Nous avons fait le calcul du Tp pendant le mois Février, et nous avons trouvé un problème dans ce niveau (les calculs se trouvent dans l'annexe 3).

Parfois on trouve un Tp supérieur à 1 ! Ce qui est anormal, car un taux doit toujours être inférieur à 1. Le tableau 9 présente un exemple de calcul du TRS où le Tp est supérieur à 1.

jour (Février)	arrêts planifiés (min)	Tr	Nombre de pièces conformes produites	Nombre total de pièces produites	sommes d'arrêts non programmés (min)	TN	TU	TF	TQ	TP	Do	TRS
1	40	1400	24158	24223	946	484	483	454	100%	107%	32%	35%

Tableau 9: Exemple du calcul du Tp

Pour comprendre la cause de cette augmentation anormale, nous avons fait recours à la méthode Takt Time qui nous a montré qu'il y avait un écart entre le temps non utile(TNU) enregistré et le temps non utile théorique.

En utilisant les formules citées dans 13 du chapitre II, et en exploitant les données suivantes :

CADENCE=3000 cols/h, nombre d'unité voulues par jour= 72000, To = 1440min

Nous avons trouvé la valeur de Takt Time suivante :

$$TT=1440/72000 = 0,02.$$

Aussi, nous avons pu calculer le TNU et le TNU réellement enregistré dans la documentation de SOTHERMA, et nous avons trouvé les résultats montrés dans l'annexe 2. Le tableau 10 montre un exemple de ces calculs.

jour du mois Février	Nombre total de pièces effectivement produites	temps de performance en min	TNU	TNU réellement enregistré	Ecart entre TNU et TNU réellement enregistré	Tc	TP	TRS	Comparaison entre Tc et TT
1	24223	484,46	955,54	986	30,46	0,018	107%	34%	la production est en sur-capacité.

Tableau 10: Calcul du TNU

Nous avons trouvé un écart entre le TNU et le TNU réellement enregistré ! Or en réalité, il n'y avait pas une sur-capacité.

Nous avons analysé la documentation qui est sous forme d'un fichier EXCEL (annexe 2), et nous avons trouvé qu'il y avait une cellule d'arrêt induit qui n'était pas incluse dans le calcul. Après rectification de cette erreur, nous avons pu obtenir des résultats logiques et fiables qui seront présentés à la section suivante.

3.2. Suivi du TRS :

Pendant le mois Février, on a fait le suivi et le calcul du TRS. Nous avons obtenu les résultats qui se trouvent dans le tableau 11.

Et voici un exemple de calcul de TRS pour le jour 20/02/2021.

Pour le calcul du TRS, on utilise les données suivantes [12]:

- ❖ L'entreprise prend comme **cadence** de production 50cols/min.
- ❖ **Le nombre de pièces produites** du jour 20/02/2021 est 25605 cols.
- ❖ **Nombre de pièces bonnes produites** du jour est 25552 COLS.
- ❖ **TO** : 1440min.
- ❖ Les arrêts enregistrés dans ce jour sont les suivants :
 - Désinfection : 140min (arrêt qualité)
 - Manque palettes : 45min (arrêt induit)
 - Changement de format : 40min (arrêt programmé)
 - Elévateur préforme : 28min (arrêt technique)
 - Palettiseur : 174min (arrêt technique)
 - Clarcks : 15min (arrêt opérationnel)

Pour calculer les TR, TF, TN, TU, Do, TP, TQ et le TRS nous allons exploiter les expressions de (2) à (9) se trouvant à la section 4 du chapitre II.

On commence par le calcul des temps requis, de fonctionnement, net et utile.

- ❖ $TR = 1440 - 180 = 1260 \text{min.}$
- ❖ $TF = 1260 - (45 + 28 + 174 + 15) = 998 \text{ min}$
- ❖ $TN = 25605 / 50 = 512 \text{min}$
- ❖ $TU = 25552 / 50 = 511 \text{min}$

On passe maintenant au calcul des taux :

- ❖ $Do = TF / TR * 100 = 79\%$
- ❖ $TP = TN / TF * 100 = 51\%$
- ❖ $TQ = TU / TN * 100 = 100\%$

Donc le TRS est :

- ❖ $TRS = Do * TP * TQ = 41\%.$

jour du mois Février	arrêts planifiés (min)	temps requis (min)	Nombre de pièces conformes produites	Nombre total de pièces effectivement produites	sommes d'arrêts non programmés (min)	TN	TU	TF	TQ	TP	Do	TRS
1	40	1400	24158	24223	946	484,4	483,16	484	99,73%	100%	35%	35%
2	140	1300	23200	23309	190	466,1	464	1110	99,53%	42%	85%	36%
3	40	1400	45026	45216	495	904,3	900,52	905	99,58%	100%	65%	64%
4	40	1400	35580	36078	674	721,5	711,6	726	98,62%	99%	52%	51%
5	230	1210	31240	31540	520	630,8	624,8	690	99,05%	91%	57%	52%
6	0	1440	6820	6820	1218	136,4	136,4	222	100,00%	61%	15%	9%
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00%	0%	0%	0%
8	66	1374	20 830	21 254	949	425,0	416,6	425	98,01%	100%	31%	30%
9	90	1350	674	800	960	16	13,48	390	84,25%	4%	29%	1%
10	35	1405	21040	21941	963	438,8	420,8	442	95,89%	99%	31%	30%
11	60	1380	49200	49318	394	986,3	984	986	99,76%	100%	71%	71%
12	160	1280	33430	33955	598	679,1	668,6	682	98,45%	100%	53%	52%
13	16	1424	15455	15455	635	309,1	309,1	789	100,00%	39%	55%	22%
14	30	1410	11000	11317	224	226,3	220	1186	97,20%	19%	84%	16%
15	60	1380	49302	49552	376	991,0	986,04	1004	99,50%	99%	73%	71%
16	60	1380	55430	55625	267	1112	1108,6	1113	99,65%	100%	81%	80%
17	60	1380	59 060	59 760	183	1195	1181,2	1197	98,83%	100%	87%	86%
18	60	1380	61 600	62 011	139	1240	1232	1241	99,34%	100%	90%	89%
19	300	1140	37 460	38 206	375	764,1	749,2	765	98,05%	100%	67%	66%
20	180	1260	25 552	25 605	262	512,1	511,04	998	99,79%	51%	79%	41%
21	405	1035	6 152	6 200	249	124	123,04	786	99,23%	16%	76%	12%
22	60	1380	49 071	49 071	399	981,4	981,42	981	100,00%	100%	71%	71%
23	0	1440	7 280	7 600	100	152	145,6	1340	95,79%	11%	93%	10%
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00%	0%	0%	0%
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00%	0%	0%	0%
26	122	1318	39 240	39 333	516	786,6	784,8	802	99,76%	98%	61%	60%
27	52	1388	43 549	43 549	516	870,9	870,98	872	100,00%	100%	63%	63%
28	60	1380	36 212	36 274	639	725,4	724,24	741	99,83%	98%	54%	52%
Moyenne									87,85%	68,87%	55,64%	41,76%

Tableau 11: Suivi du TRS de la ligne 2

Le suivi du TRS du mois Février nous a permis d'obtenir les résultats illustrés dans le tableau 11, à partir duquel nous avons eu la courbe qui montre la variation du TRS (figure 9) :

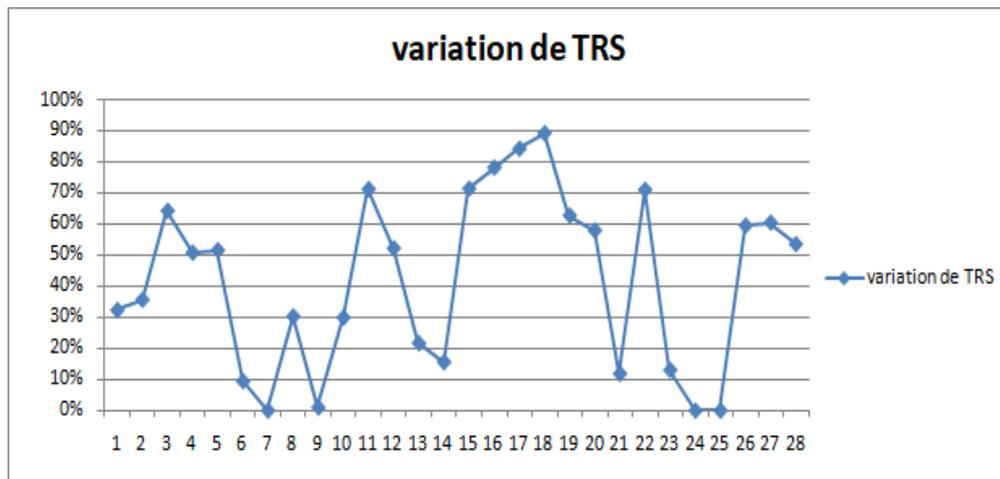


Figure 9: Variation du TRS du mois Février

Nous pouvons extraire aussi la courbe de variation du Tp (figure 10) :

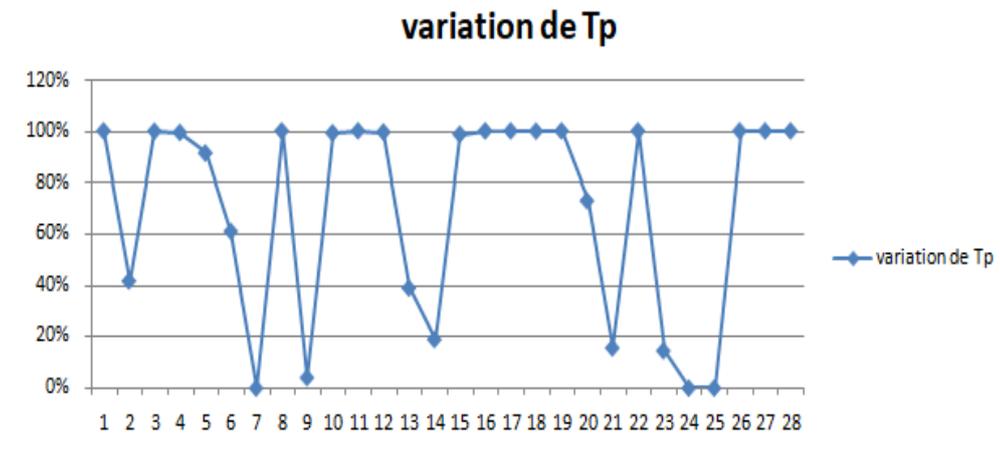


Figure 10: Variation du Tp

La courbe de variation de la Do (figure 11) :

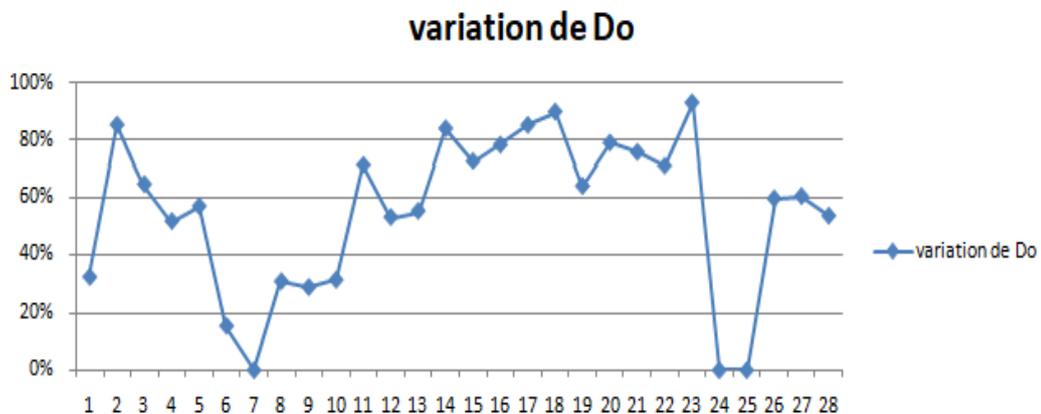


Figure 11: Variation de la Do

Et la courbe de variation du TQ (figure 12) :

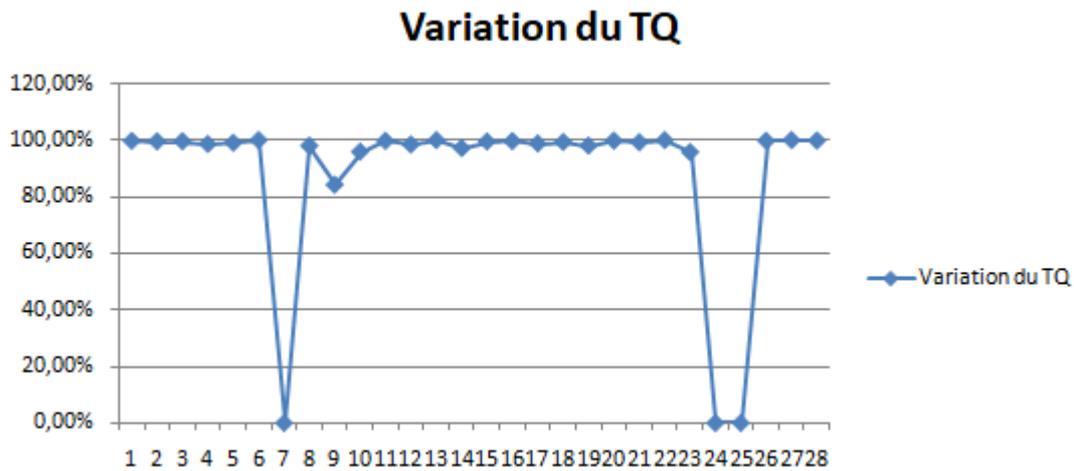


Figure 12: Variation du TQ

Le tableau 12 récapitule les valeurs des différents taux influençant sur le TRS :

	TQ	Tp	Do	TRS
MIN	84%	4%	15%	1%
MAX	100%	100%	93%	89%
MOYENNE	88%	70%	55%	42%

Tableau 12 : Intervalle de variation des taux

4. Analyse de la situation :

Dans la figure 9, pour les jours où le TRS est nul, il s'agit d'un arrêt planifié de la production dans la ligne 2.

Donc, si on néglige ces jours là, on remarque que le TRS varie entre une valeur minimale égale à 1% et une valeur maximale égale à 89%, avec une moyenne aux alentours de 42 % pendant les jours d'observations.

Cette progression irrégulière de TRS nous permet de déceler sa fluctuation dans la ligne 2.

Nous espérons à la fin du projet améliorer le TRS, et éliminer les baisses considérables (1%). Nous allons donc étudier les causes de sa variabilité.

A partir de la figure 10, on peut remarquer la grande fluctuation du taux de performance, qui passe d'une valeur maximale égale à 100% à une valeur minimal égale à 4%.

C'est le cas aussi pour la disponibilité opérationnelle, qui fluctue entre une valeur maximale égale à 91% à une valeur minimale égale à 15%.

Le taux de qualité est généralement stable (figure 12), donc on n'a pas besoin des actions pour l'améliorer.

On peut déduire que la baisse du TRS est principalement due à la baisse du Tp et de la Do. Par conséquent, **l'amélioration du TRS revient à l'amélioration du Tp et de la Do.**

Ainsi, améliorer la productivité d'un moyen consiste à réduire les sources de pertes de chacun des ratios participant à la dégradation du TRS.

En générale, les causes responsables de la baisse du TRS sont regroupées dans le tableau 13

[11] :

TRS	Qualité	savoir faire	Instruction	Gravité		
		Variabilité	Matière			
			Outillage			
	Disponibilité	Pannes	Durée			
			Fréquence			
		Programmation				
		Planning				
		Synchronisation				
		Approvisionnement				
		Arrêts	changement de séries, outil			
			Essais			
			Entretien			
			Réglages			
		Attentes	Rechargement			
			Personnel			
			Outils			
			Matières			
	Instruction					
	Performance	ordre de fabrication				
		Vitesse				
Variabilité						
Cadence						
Surconsommation						
Gamme		savoir faire				
			Méthode			
	facteur humain					

Tableau 13 : Causes de baisse du TRS

4.1. Causes racines de baisse de la Do et du Tp :

Pour mettre en évidence les points à vérifier, on propose l'utilisation des diagrammes ISHIKAWA (figure 13 et 14), pour organiser les causes racines de variation de la Do et du Tp selon les 5 M.

- **Pour la Do :**

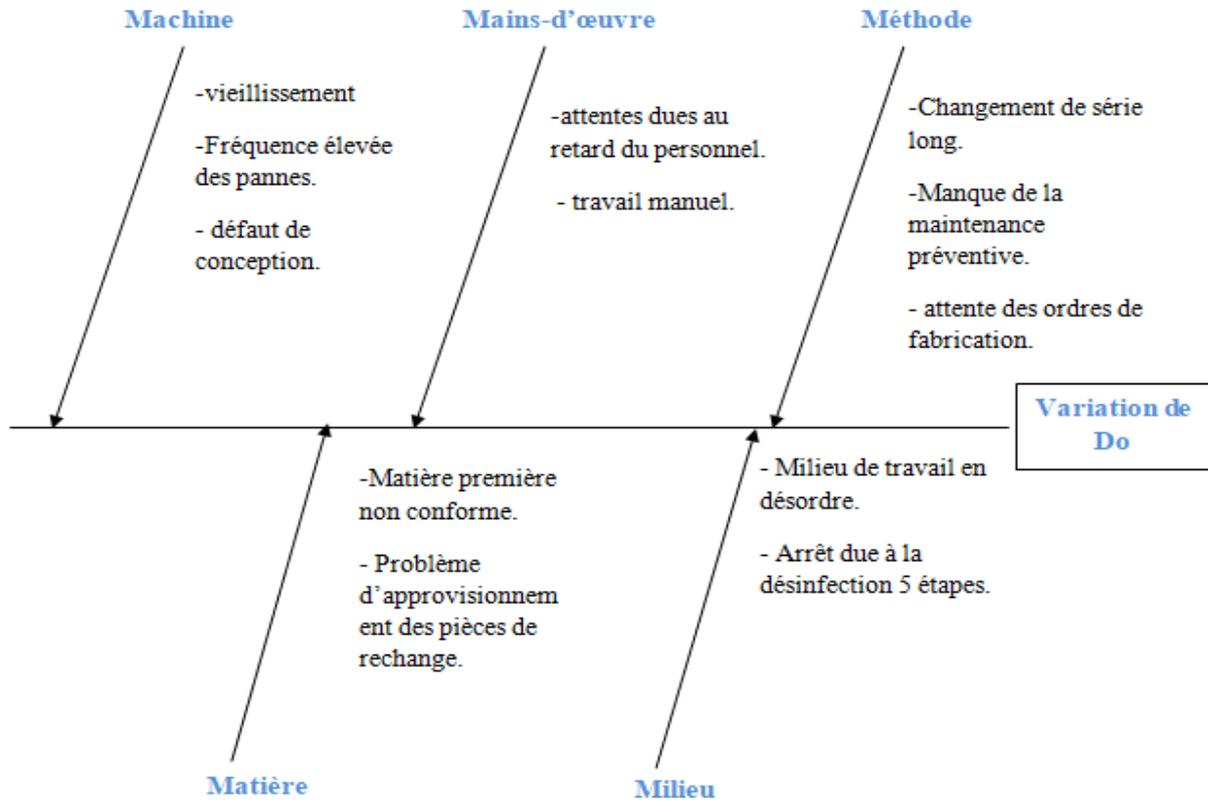


Figure 13: Diagramme d'ISHIKAWA de la variation de la Do

• Pour le Tp :

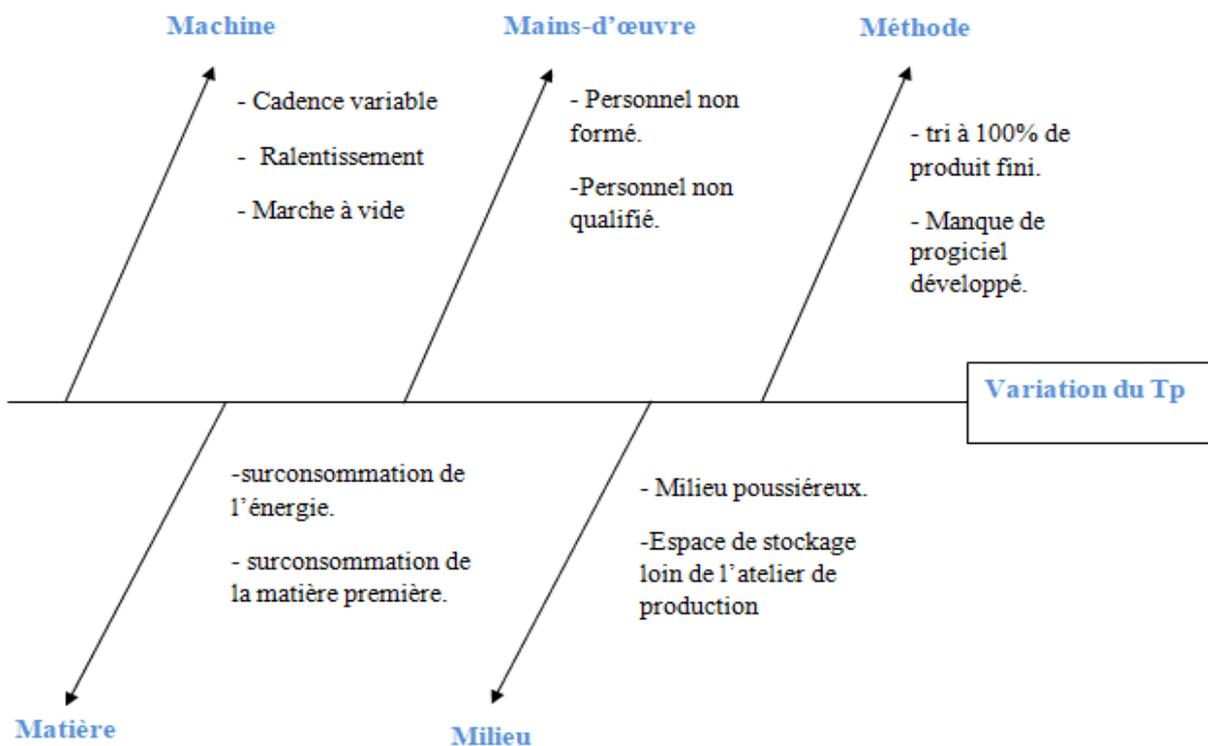


Figure 14: Diagramme d'ISHIKAWA de la variation du Tp

Dans notre cas, et d'après l'historique de l'entreprise (enregistrement des arrêts dans annexe 2), nous avons trouvé que ce sont le plus souvent :

- Des problèmes organisationnels :
 - Manque de pièces ou matière.
 - Absence ou retards de personnel.
 - Des changements de séries trop longs...
- Des arrêts (planifiés ou non) :
 - Entretien.
 - Changements de série.
 - Approvisionnements.
 - Des arrêts pour pannes ou défauts d'énergie...

4.2. Analyse de PARETO :

Les arrêts planifiés ou non sont la principale cause de variabilité de la Do. Pour savoir les causes de cette variabilité, on va suivre les arrêts de production pendant le mois Février correspondant à la ligne 2, en utilisant la méthode de PARETO (tableau 14).

cause d'arrêt	TEMPS d'arrêt en min	Cumul	% cumulé	
Souffleuse	8834	8834	51,67%	Zone A
Désinfection	1880	10714	62,66%	
Manque d'intercalaires	1283	11997	70,17%	
Palettiseur	1024	13006	76,07%	
Manque palettes	1009	14030	82,06%	Zone B
Elévateur préformes	762	14792	86,51%	
Poinçeteuse	580	15372	89,91%	
Clarcks	437	15809	92,46%	
Etiqueteuse	256	16059	93,92%	zone C
Changement de format	250	16279	95,21%	
Compresseur HP 40 bar	220	16535	96,71%	
Filtration	166	16701	97,68%	
Remplisseuse	105	16806	98,29%	
Démarrage	75	16881	98,73%	
Fardeleuse	45	16919	98,95%	
Boucheuse	38	16949	99,13%	
Ozoneur	30	16975	99,28%	
Groupe froid	26	17020	99,54%	
Coupure d'électricité	25	17045	99,69%	
Matière première	20	17065	99,81%	
Dateuse	17	17082	99,91%	
Fin poste	16	17098	100,00%	

Tableau 14 : Suivi des arrêts de production

Les données que nous avons utilisées dans l'étude PARETO sont prises à partir de l'analyse de la documentation de l'entreprise. Un exemple de cette documentation est montré dans la figure16:

MACHINE	MACHINE	TEMPS	TYPE	TEMPS
DEMARRAGE	DESINFECTION	60	AR. PLANIF	60
ELEVATEUR PREFORMES	ELEVATEUR PREFORMES	41	AR. TECHNIQUE	111
SOUFLEUSE	POINGETEUSE	40	AR. OPERAT	8
REPLISSEUSE	GROUPE FROID	20	AR. INDUIT	20
BOUCHEUSE	CLARKS	20		
CONVOYEUR sacmi	PALETTISEUR	18		
ETIQUETTEUSE	FARDELEUSE	0		
DATEUSE	OZONNEUR	0		
POINGETEUSE	ETIQUETTEUSE	0		
FARDELEUSE	SOUFLEUSE	0		
PALETTISEUR	DEMARRAGE	0		
STRETCHSEUSE	REPLISSEUSE	0		
COMPRESSEUR HP bar	BOUCHEUSE	0		
COMPRESSEUR HP 40 bar	CONVOYEUR sacmi	0		
COMPRESSEUR BP 10 bar	DATEUSE	0		
GROUPE FROID	STRETCHSEUSE	0		
FILTRATION	COMPRESSEUR HP bar	0		
CHANGEMENT DE FORMAT	COMPRESSEUR HP 40 bar	0		
DESINFECTION	COMPRESSEUR BP 10 bar	0		
NETTOYAGE	FILTRATION	0		
CONDUITE (SH/AS)	CHANGEMENT DE FORMAT	0		
COUPEURE ELECTRICITE	NETTOYAGE	0		

Figure16: partie de l'historique d'enregistrement des arrêts

Grace au tableau 14 nous avons trouvé la courbe de PARETO suivante (figure 15):

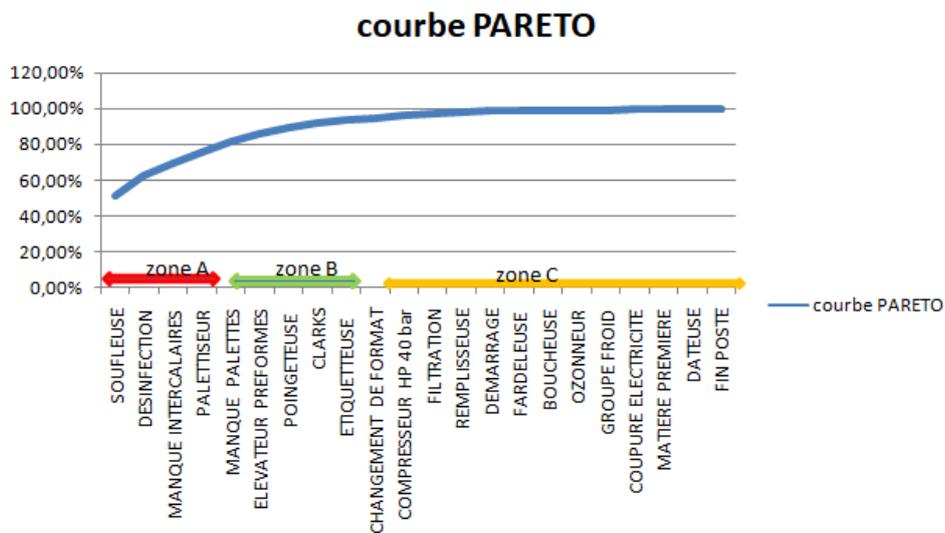


Figure 15: Courbe de PARETO des arrêts de production

On remarque que la courbe (figure 15) est caractérisée par 3 zones :

- La zone A : présente les causes d'arrêts avec une priorité importante, elle est composée de : souffleuse, désinfection, manque d'intercalaires, palettiseur. Cette zone représente les 20% des causes qui représentent 80% des arrêts, donc, on va s'intéresser à résoudre les problèmes qui causent ces arrêts.
 - ✓ La souffleuse, est une machine critique dans la chaîne de production, c'est elle qui fait la première étape de l'embouteillage, c'est-à-dire le soufflage des préformes. Si la souffleuse tombe en panne, la production s'arrête, et ça peut prendre beaucoup de temps pour sa remise en marche.
 - ✓ La désinfection est une opération primordiale pour assurer l'Hygiène et sécurité de l'eau embouteillée.
 - ✓ Les intercalaires sont considérés comme une matière approvisionnée, ou recyclée, elles sont utilisés dans l'emballage du produit fini, et leur existence dépend de l'extérieur (les agences de commercialisation).
 - ✓ Le palettiseur est une machine importante dans l'atelier de production, son arrêt (lorsque les intercalaires sont non conformes le palettiseur ne les détecte pas) introduit l'arrêt de toute la chaîne, parfois, les opérateurs travaillent manuellement pour ne pas s'arrêter, mais d'autre part, ceci implique un ralentissement de la production.

5. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons pu déterminer le problème et l'indicateur à suivre qui est le TRS, notre objectif défini est donc l'amélioration du TRS.

Nous avons fait les mesures nécessaires pour savoir l'état de TRS. Nous avons trouvé que ce sont le Tp et la Do qui influencent sur le TRS.

A l'aide des diagrammes ISHIKAWA que nous avons établi pour la Do et le Tp, nous avons déterminé les causes de variabilité de ces taux.

Et pour savoir les causes racines des arrêts, nous avons utilisé une analyse PARETO pour réduire l'intervalle de travail.

Dans la suite de notre projet, nous devons chercher les solutions convenables à appliquer pour réduire voir éliminer ces arrêts.

Chapitre IV : Innovation et Contrôle



Dans ce chapitre, on va appliquer les 2 dernières étapes de la démarche DMAIC. Il s'agit de « Improve » et « control ».



1. Introduction :

Dans ce chapitre, nous allons chercher les solutions pertinentes et contrôler leur mise en place, pour réduire voir éliminer les sources de variation de Tp et Do. Les Outils Lean manufacturing seront la base des améliorations proposées.

Il s'agit des deux dernières étapes de la démarche DMAIC, c'est-à-dire, Improve et Control.

2. Innovation et proposition des améliorations :

2.1. Amélioration du Tp :

Le taux de performance représente les pertes dues à un fonctionnement non optimal des machines, en général le Tp est bon, mais il subit parfois une diminution brusque qui peut aller vers 1%.

Et comme nous avons montré dans le diagramme ISHIKAWA du Tp (figure 14), sa diminution est influencée par la variabilité de la cadence de production, qui peut être introduite par les ralentissements, les micro-arrêts, le manque de planification aussi que le savoir-faire limité des opérateurs.

Donc, pour garantir une meilleure performance, des actions doivent être menées pour améliorer le niveau de compétence des opérateurs.

- Pour améliorer les conditions de travail dans l'atelier, on propose d'effectuer une démarche 5S, pour que les manipulations et déplacements des opérateurs deviennent plus faciles.
- Pour assurer la qualité de travail du personnel, on propose la mise en œuvre des formations techniques, notamment pour les techniciens production maintenance, pour qu'ils puissent effectuer les travaux de maintenance en temps masqué.
- On propose d'établir des modes opératoires des interventions de maintenance que les techniciens de production ou maintenance vont effectuer pour unifier le mode de travail et éviter les ralentissements. Pour assurer la sûreté de fonctionnement des équipements après chaque manipulation, avec une diminution de la quantité d'énergie consommée par les autres équipements pendant les arrêts.
- Pour une meilleure gestion des données de production, on propose l'utilisation d'un progiciel comme le SAP (progiciel de gestion intégré développé), qui effectue le calcul des différents indicateurs de performance, car l'Excel est excellent dans le calcul, mais un logiciel qui contient une base de données, sera plus efficace et plus fiable. Ce logiciel va servir à garder la traçabilité et à éviter tout risque d'erreurs ou d'oublis.
- **Application du JIDOKA :**

Parfois, la performance de la production chute à cause des arrêts considérés comme négligeable, mais en réalité, le cumul de ces arrêts construit un problème énorme qui implique la diminution du TRS.

Durant le stage, on a remarqué que le tri à 100% des palettes qui contiennent des produits non conforme présente une source de micro-arrêts qui ne doit pas être négligée.

Pour surmonter ce problème, on propose d'appliquer la méthode Jidoka, qui sert à améliorer la qualité du produit en détectant les défauts dans le processus de fabrication.

Il s'agit d'arrêter la production plutôt que de risquer à produire de mauvaises pièces. C'est une méthode plus efficace et moins coûteuse que le contrôle et la correction à posteriori en fin de chaîne.

2.2. Amélioration de la Do :

La disponibilité opérationnelle est impactée par les arrêts planifiés et non planifiés des machines. C'est le cas lors d'un entretien, d'un changement de série, d'un nouveau réglage, d'une panne ou d'une absence du personnel.

Si le taux de disponibilité est élevé, il y'aura moins de temps d'arrêt et un meilleur débit, c'est-à-dire un niveau d'efficacité élevé, et une bonne utilisation de l'équipement.

Nous cherchons à améliorer le taux de disponibilité à fin d'avoir un temps de fonctionnement suffisant pour que les machines fonctionnent à pleine capacité et générer plus de bénéfices.

2.2.1. Propositions :

D'après l'analyse des arrêts par la méthode PARETO (tableau 14), nous allons travailler sur les 20% des causes qui impliquent les 80% des effets.

- On propose pour diminuer les temps d'arrêts, d'effectuer sur **la souffleuse** un chantier TPM que nous allons présenter par une analyse AMDEC.
- En ce qui concerne la **désinfection**, nous allons suivre une démarche SMED.
- Pour surmonter le problème du **manque d'intercalaire** on propose l'utilisation d'un stock de sécurité, aussi que la réparation des intercalaires recyclable.
- Et pour le Palettiseur, il faut faire les réglages nécessaires avant son alimentation.

2.2.2. Problème de la souffleuse :

La souffleuse est la machine la plus critique représentant une source première d'arrêts.

Nous allons donc effectuer un chantier TPM pour établir un plan d'action en utilisant la démarche AMDEC qui permet de proposer les actions adéquates pour chaque composant.

➤ **Démarche AMDEC :**

Comme nous avons présenté précédemment dans la section 8 du chapitre II, l'AMDEC est une étude qui vise à Réduire le nombre de défaillances, en faisant la prévention des pannes à fin d'améliorer la maintenance préventive au sein de l'entreprise.

Pour l'appliquer, nous avons fixé le groupe de travail qui va participer dans cette démarche ainsi que le découpage fonctionnel de la souffleuse.

Groupe de travail : Hind + Chefs d'équipes production + Techniciens de production et maintenance.

Analyse fonctionnelle : nous avons pu établir le découpage fonctionnel de la souffleuse en se basant sur la documentation de la machine disponible dans l'entreprise (annexe 2). Il est présenté dans la figure 17:

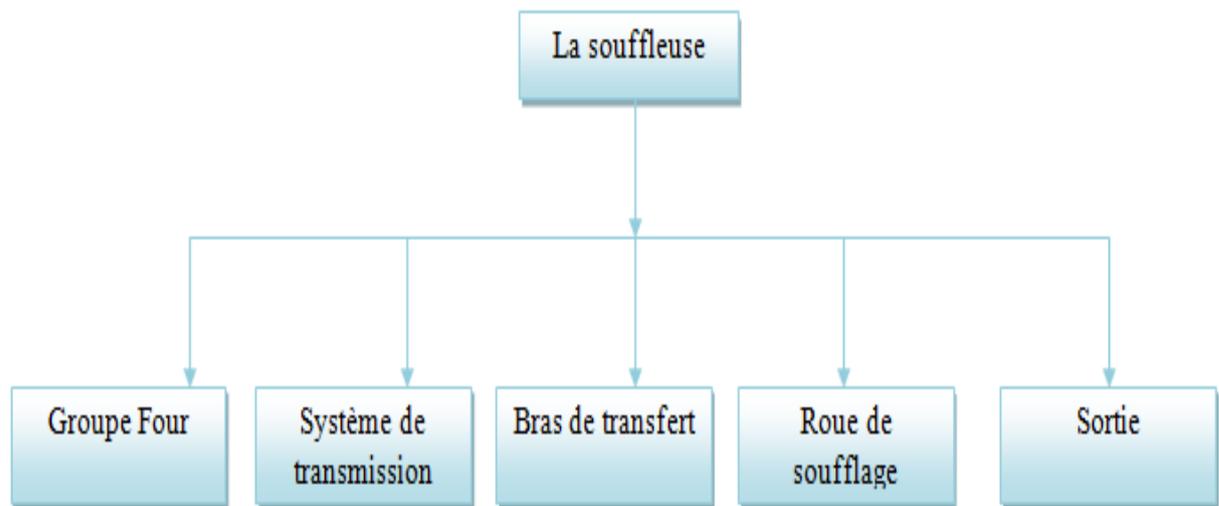


Figure 17: Découpage fonctionnel de la souffleuse

Le tableau 15 présente l'étude AMDEC du groupe four de la souffleuse.

Il regroupe les éléments de chaque constituant, leurs fonctions, leurs modes de défaillances, la cause possible de chaque mode de défaillance, leurs effets, et la possibilité de détection.

La valorisation des défaillances est faite en utilisant les indices de fréquence, de gravité et de détection (donnés dans la section 8 du chapitre II). Cette valorisation est basée sur un brainstorming que nous avons effectué avec les techniciens production et maintenance, aussi que sur l'historique de l'entreprise. [1]

Après, nous avons établi les actions recommandées pour l'amélioration du rendement de la machine, en se basant sur l'analyse des indices de criticité.

composant	Fonction	mode de défaillance	cause	effet	détection	I F	I G	I D	C	actions recommandées
Lampe infrarouge	Réchauffement des préformes	les lampes défectueuses	sur-échauffement surtension électrique	déformation des préformes -des préformes avec mauvaise température	indiquée par le poste de contrôle et de commande	4	3	1	12	contrôle régulier des lampes, remplacement des lampes.
Axe tournette	rotation et mouvement de la tournette	déformation rupture colmatage	manque de lubrification	chute des préforme mauvais transfert	constat acoustique	2	3	3	18	lubrification systématique de l'axe de tournette
Rampes de refroidissement	assurer la protection des cols des préformes	mauvaise température de l'eau circulant	fuite de l'eau	déformation des cols des préformes	indiquée par le poste de contrôle et de commande	1	4	1	4	contrôler la qualité et la température de l'eau et réparer les fuites
Ventilateur	maintien de la température optimale du four refroidissement des extrémités des lampes	-blocage des pales de l'arbre de rotation -usure des pales de ventilation	changement de la température du milieu	échauffement du four - détérioration des lampes	-constat acoustique	2	3	3	18	vérification du moteur qui entraîne le ventilateur et contrôle de l'arbre de rotation des pales
Réflecteur	-améliorer la capacité de chauffage du four	destruction -rupture -brisure	Echauffement	des préformes surchauffés ou moins-chauffés	indiquée par le poste de contrôle et de commande	2	3	1	6	dépanner ou remplacer le réflecteur
Camera infrarouge	détection de la température des préformes à la sortie du four	-épave sur l'écran de la caméra	-Poussière	non détection de la chaleur	indiquée par le poste de contrôle et de commande	1	3	1	3	nettoyage de la caméra Infrarouge

Joint	assurer l'équilibrage des préformes	dégradation de joint	Sur-échauffement Vieillessement	-éjection des préformes et cols mal formés	-constat visuel	3	3	2	18	remplacement systématique du joint
Galet	positionnement de la came	blocage usure	-déformation de la came vieillessement	déséquilibre -arrêt de la machine	-constat visuel et acoustique	4	3	2	24	remplacement systématique du galet
Ressort	assurer la traction	Cisaillement	Vibration	perte d'élasticité	constat visuel	3	3	2	18	contrôle systématique du ressort
Roulement	-assurer la liaison entre les tournettes	-grippage des bagues -usure -blocage	-échauffement	mauvais transfert des préformes blocage de la chaîne tournette	-constat acoustique	3	3	3	27	changement systématique des roulements
pignon	-assurer le mouvement de l'axe principal de la tournette	-grippage -usure des dents -écaillage	-manque de lubrification vieillessement	-pas de synchronisation	-constat acoustique	2	3	3	18	lubrification systématique du pignon
Tournette	-Prise en charge et décharge des préformes	-Blocage de mouvement -Jeu au niveau des coussinets -Perte d'élasticité des joints	-usure des bagues vieillessement De ressort -fatigue -lieu poussiéreux	-Problème au niveau de vé-tissage et dévétissage - Ejection des préformes et cols mal formés	-constat visuel	2	3	2	12	nettoyage des tournettes contrôle régulier des bagues

Tableau 15: Analyse AMDEC du groupe four

Dans l'annexe 4, vous trouverez l'AMDEC des autres composants de la souffeuse.

Suivant la démarche AMDEC, on peut constater qu'il y'a des éléments plus critique que les autres.

composant ou sous ensemble	criticité actuelle	cumul de la criticité	pourcentage cumulé
Plaquette Frein ST	36	36	7%
roulement four	27	63	12%
Courroie ST	27	90	18%
galet four	24	114	22%
Axe tournette	18	132	26%
Ventilateur	18	150	29%
Joint four	18	168	33%
ressort four	18	186	36%
pignon four	18	204	40%
Pignon ST	18	222	43%
RÉDUCTEUR ST	18	240	47%
Galet BT	18	258	50%
ressort BT	18	276	54%
amortisseur RS	18	294	57%
vérin RS	18	312	61%
galet de font de moule RS	18	330	64%
galet de levier on/of de moule	18	348	68%
Lampe infrarouge	12	360	70%
Tournette	12	372	72%
Moteur Electrique	12	384	75%
POULIE DENTÉE ST	12	396	77%
joint RS	12	408	79%
plaquet de compensation	12	420	82%
pince BT	9	429	83%
vérin de tuyère	9	438	85%
Distributeur	9	447	87%
glissière BT	8	455	89%
unité porte moule RS	8	463	90%
système de verrouillage	8	471	92%
Système fond de moule	8	479	93%
électrovanne soufflage et persoufflage	8	487	95%
Photo cellules	8	495	96%
Réflecteur	6	501	97%
tige d'élongation	6	507	99%
Rampes de refroidissement	4	511	99%
Camera infrarouge	3	514	100%

Tableau 16: Pareto des éléments critiques dans la souffleuse

La courbe obtenue est la suivante :

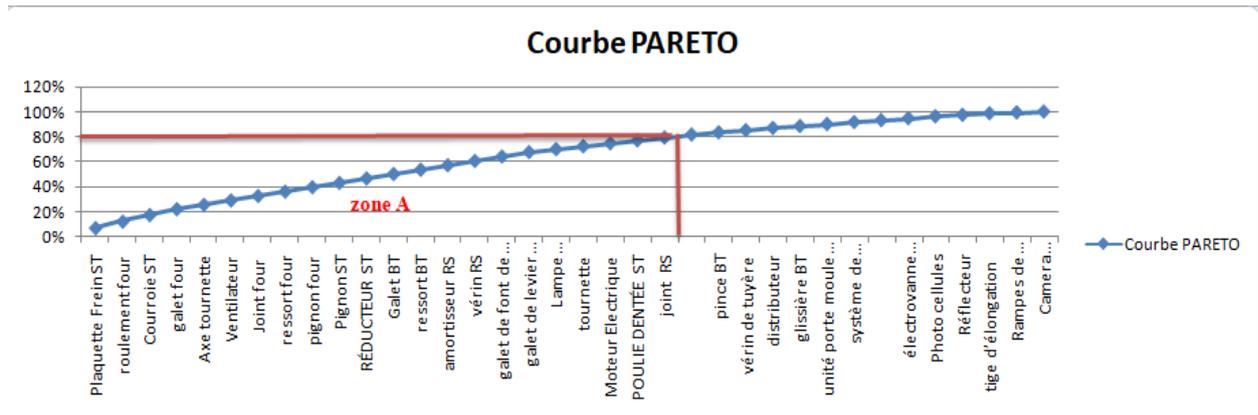


Figure 18: Courbe PARETO de l'étude AMDEC

D'après l'analyse de PARETO, les éléments se trouvant dans la zone A doivent subir une maintenance préventive systématique. Il faut améliorer la performance de ces composants en se basant sur leurs catalogues et leur durée de vie, puisqu'ils représentent 80% de la criticité.

En générale, l'établissement d'un plan de maintenance préventive doit respecter les consignes suivantes :

- Pour les équipements qui ont $8 < C < 14$, on se pose la question de les laisser ou les conserver.
- Pour ceux qui ont $14 < C < 27$, on doit appliquer des actions amélioratives et regarder l'importance de mettre en stock ces composants.
- et pour ceux qui ont $27 < C < 64$ il faut obligatoirement trouver des actions à mettre en œuvre et avoir un stock ces composants.

2.2.3. Maitrise de l'opération de la désinfection :

C'est une opération obligatoire qui précède la production pour assurer la qualité de l'eau embouteillée, mais, si l'on ne maîtrise pas le temps de désinfection il y aura des pertes énormes à cause de l'arrêt de production.

Nous allons appliquer la méthode SMED pour la désinfection 5 étapes, faite une fois par semaine, pour la mettre en place il faut arrêter la production, donc tous les réglages sont internes.

Nous avons identifié les opérations effectuées par l'opérateur du NEP, puis nous avons séparé les réglages internes des réglages qui peuvent se transformer en externes, comme le présente le tableau N° 17 :

opération interne	opération externe
Préparation de la solution dans le bac	apporter les acides à partir du magasin de stockage
Raccordement ligne avec filtration (dans la salle de filtration)	préparation des outillages (clé à molette...)
Raccordement retour avec le bac de NEP (dans la salle de filtration)	Nettoyage des filtres
Démarrage des pompes	
S'assurer du retour de NEP	
S'assurer de l'ouverture des purges	
Assurer le temps de contact	
Arrêter la pompe du NEP	
Raccorder la filtration (1/2) à l'eau de production par le rinçage	
Passer la solution du désinfectant qui reste dans les conduites vers le bac du NEP puis la décharge de l'eau du rinçage	
Rinçage de circuit jusqu'à la disparition de la trace	
Prise des échantillons pour le teste dans le laboratoire	
Raccordement avec les lignes (si l'opérateur n'est pas présent)	

Tableau 17: Identification des réglages internes et externes

Le tableau 18 montre le temps total que prend la désinfection 5étapes pour plusieurs prises de mesure à partir l'historique de service production. Il présente aussi la Do et le TRS du jour (le calcul est donné dans l'annexe 5):

Le jour	Le temps (min)	Le nombre de bidons produits du jour	Do	TRS du jour
06-janv-21	530	22840	32%	32%
20-janv-21	446	27 790	39%	39%
27-janv-21	440	33792	47%	47%

Tableau 18 : Temps de désinfection 5 étapes et évaluation de TRS

On remarque qu'en moyenne l'opération de la désinfection prend presque 472 min.

Le TRS et la Do sont calculés par les formules indiquées dans la section 4 du chapitre II.

Les temps des activités externes et internes qui doivent être effectuées en temps masqué sont présentés dans le tableau 19 :

Opération	temps (min)
Apporter les acides à partir du magasin de stockage	15
Préparation des outillages (clé à molette...)	20
Prise des échantillons pour le test dans le laboratoire (3 fois)	30
Raccordement avec les lignes (si l'opérateur n'est pas présent)	15
Nettoyage des filtres	30

Tableau 19 : Temps des opérations

En total, ces opérations prennent 110 min (autres minutes sont gaspillés à cause des micro-arrêts, et cela dépend aussi de la rapidité de l'opérateur du NEP présent), pour éliminer ce temps gaspillé, des actions à appliquer sont recommandées :

- Préparation des acides dans l'emplacement de travail avant l'arrêt de production.
- Mettre les outillages nécessaires pour les réglages dans une armoire proche à l'opérateur du NEP.
- Obligation de la présence des opérateurs de production dans leurs postes, pour qu'ils assurent le raccordement avec les lignes.
- Un représentant du laboratoire doit être présent pour prélever les échantillons, et effectuer le test en temps réel.
- Il faut préparer des filtres de changement à l'avance. C'est-à-dire, lorsque l'on enlève des filtres, il les remplace sur place par d'autres filtres qui sont déjà prêt à l'utilisation.
- Pour ne pas détruire les filtres qui se trouvent dans les salles de remplissage, l'opérateur du NEP doit les enlever, pour ne pas gaspiller le temps, on propose que cette opération soit effectuée par l'opérateur production, et qu'un aide soit disponible pour enlever les filtres de salle de filtration.

3. Contrôle et maitrise :

Dans cette dernière étape, nous devons mettre en œuvre le plan d'action. Valider, pérenniser et diffuser les résultats obtenus.

3.2. Contrôle de l'application de l'AMDEC :

Au cours de l'application de la méthode AMDEC, nous avons fait recours à la TPM, et voici les piliers de la TPM que nous avons mis en place :

- Identification des modes et causes de défaillances et par la suite la définition des actions à entreprendre pour les éviter, c'est le 1^{er} pilier de la TPM « Amélioration cas par cas ».
- Les opérations de lubrification, contrôle et nettoyage sont effectuées par les opérateurs machines, ce qui fait que le deuxième pilier de la TPM—la maintenance autonome- est appliqué.
- Dans le cadre d'un projet d'amélioration du service maintenance au sein de l'entreprise, un historique des interventions de l'équipe maintenance a été établi, il est devenu la base de la planification de la maintenance systématique. C'est le troisième pilier de la TPM —la maintenance planifiée-.

- Lors de mon stage de PFE, au sein de SOTHERMA, cette dernière a organisée des formations techniques pour les techniciens production et maintenance, et ça entre dans le cadre du quatrième pilier de la TPM-l'amélioration des connaissances et du savoir faire-.
- L'application des actions recommandées dans l'analyse AMDEC, permet d'éviter le temps gaspillés durant les pannes soudaines, et de réduire le coût de maintenance, car au lieu de subir aux pannes, on va les éliminer grâce à l'esprit de prévention.
- Quand on subit une panne, le temps d'arrêt de production augmente, mais si on effectue des interventions prévu en en temps masqué, on maîtrise le temps d'arrêt.

3.3. Mise en place de la SMED :

La mise en place de la méthode des SMED, nous a permis de découvrir que les étapes principales de la désinfection nécessitent un temps limité pour les effectuer, elles sont ceux présentées dans le tableau 20 :

Etape	temps (min)
contact des canaux avec la soude	40
rinçage	60
contact des canaux avec l'acide nitrique	40
rinçage	60
contact des canaux avec Oxonia ou Divosan	30
rinçage	60

Tableau 20 : Etapes de désinfection 5étapes

Donc normalement la désinfection 5étapes doit prendre en total 290 min et si on considère les opérations de raccordement et ouverture des purges (dans la salle de filtration) etc, on peut majorer ce nombre à 300min.

On voit clairement que 172 min est la différence entre le temps effectué dans l'opération de la désinfection 5 étapes et le temps réellement nécessaire pour la mettre en place.

Pour la ligne 2, dans 172 min on pourrait produire 8600 cols (car le Takt Time est égal à $1440/72000=0.02$ et $172/0.02=8600$), Donc la maîtrise du temps de la désinfection est très nécessaire.

Le tableau 21 présente la Do aussi que le TRS améliorés si on supprime le temps gaspillé dans l'opération de la désinfection 5 étapes (le calcul est donné dans l'annexe 5) :

Le jour	Le nombre de bidons produits du jour	Nouvelle Do	Nouveau TRS
06-janv-21	31440	51%	44%
20-janv-21	36 390	53%	51%
27-janv-21	42392	62%	59%

Tableau 21: Evaluation du TRS après suppression du temps gaspillé

3.4. Application des 5S :

Nous avons appliqué la méthode des 5S, et voici les actions qui ont été mises en place :

- SOTHERMA a adopté une politique de nettoyage et du rangement plus sévère, qui consiste à éliminer toutes les matières inutilisables, pour laisser la place aux choses importantes et faciliter leur utilisation.
- SOTHERMA Fès soustraite le service de nettoyage d'une autre société pour garantir un milieu convenable à la production de l'eau considérée comme un produit alimentaire, ceci en suivant des modes opératoires bien précises.
- SOTHERMA a fait le renouvellement de son infrastructure, dont le sol où se déplacent les Clarcks, la chambre des bureaux des chefs d'équipes, la salle de maintenance, l'emplacement de stockage produit fini et les salles de remplissage des eaux.
- Dans le cadre de notre projet, et à l'aide des chefs d'équipes production et des opérateurs, nous avons pu appliquer les 5S, à savoir ; se débarrasser des produits non utiles, le rangement, le nettoyage et le maintien de l'ordre. et puisque le principe des 5S est la rigueur, nous avons sensibilisé les opérateurs de l'importance de conservation d'un milieu propre et bien organisé.

- **Organisation de l'espace de stockage :**

L'emplacement montré dans la figure 19 est réservé à la matière première utilisée au jour le jour. Mais il y avait une mauvaise utilisation de ce milieu, en apportant un excès de matière première qui occupaient de la place sans être utilisée.



Figure 19: Avant application 5S

Nous avons placé les palettes -qui contiennent de la colle utilisée dans l'étiquetage aussi que les étiquettes- dans le magasin de matière première, et si il y'a un besoin l'opérateur va apporter la quantité nécessaire (figure 20).



Figure 20: Après application 5S

- **Organisation des moules :**

Lors de l'application des 5S, nous avons organisé les moules utilisés dans la ligne 2, en éliminant les déchets. Et pour conserver les moules en bonne état nous l'avons mis dans des papiers cellophanes (figures 21, 22 et 23).



Figure 21: Moules de la ligne 2



Figure 22: Elimination des déchets



Figure 23: Résultat final

- **Les barrières de sécurité :**

Ces barrières (figure 24) sont utilisées pour assurer la sécurité des opérateurs, ils occupaient de la place et interrompaient le déplacement des opérateurs car ils n'ont pas été installés au temps.

Nous avons contacté le chef de projet, les barrières sont fixées à leurs places, le problème est résolu.



Figure 24: Avant application 5S



Figure 25: Après application 5S

4. Conclusion

Nous aurions aimé qu'on puisse faire le calcul final du TRS après la réalisation de toutes les améliorations que nous avons proposé, mais, c'était difficile de les réaliser immédiatement vu que le temps consacré au stage n'est pas largement suffisant.

Mais l'entreprise certainement va adopter une vision d'amélioration continue en suivant la démarche Lean Manufacturing pour minimiser voir éliminer les gaspillages dans tous les niveaux.

Conclusion générale

Dans un contexte concurrentiel, les entreprises cherchent à améliorer leurs performances, ce qui leur oblige d'avoir des indicateurs de performance, qui vont permettre de suivre l'état de l'organisme de production.

Dans le cadre de mon stage de PFE, l'objectif était de définir, mesurer et analyser les causes de variabilité du TRS, considéré comme l'indicateur principal que nous avons suivi, et par la suite proposer des améliorations et contrôler leur mise en place.

Nous avons adopté comme une méthodologie de résolution de problème, les outils Lean manufacturing pour l'élimination des gaspillages résultant des arrêts successifs.

La démarche DMAIC, qui sert à résoudre les problèmes en commençant par définir les problèmes, les indicateurs à suivre, prendre les mesures avec fiabilité, analyser les résultats trouvés, proposer des améliorations et contrôler ce que nous avons appliqué, était une parmi les outils lean manufacturing utilisés dans notre projet .

Nous avons trouvé que la diminution du TRS est due principalement due à la variation du Tp et de la Do. Nous avons établi les diagrammes d'ISHIKAWA du Tp et de la Do pour déterminer les causes de leur variation.

Parmi les causes de la fluctuation du TRS, nous avons cité les arrêts imprévus ou planifiés, que ça soit des arrêts techniques ou induit ou relatifs à la qualité du produit.

A l'aide de la courbe PARETO, nous avons pu déterminer les causes racines d'arrêts qui sont les pannes de la souffleuse, pour laquelle nous avons fait une étude AMDEC,-Les piliers de la TPM étaient la solution la plus pertinente pour améliorer la disponibilité de la souffleuse.-, aussi que la désinfection, pour laquelle on a fait une étude SMED.

Pour les solutions proposées, nous avons pu réaliser certains d'entre eux, mais il y a d'autres qui seront réalisées dans le cadre d'une démarche d'amélioration continue, car leur mise en place demande du temps et de la planification.

Les outils Lean Manufacturing sont très bénéfiques pour l'amélioration d'un système de production, mais, il faut les appliquer d'une façon continue tout en suivant le développement des indicateurs clés de performance.

En conclusion, le TRS est un indicateur qui doit être analysé soigneusement, car il indique la performance de toute l'entreprise, son amélioration demande la fixation d'un objectif commun entre tous les services de l'entreprise, l'objectif sur lequel se base le Lean Manufacturing :

Maximiser la valeur client en minimisant le gaspillage.

Bibliographie :

[4] : Cours Management de la maintenance Mr. Chafi FST Fès, 2018/2019

[9] : Cours Management de la maintenance Mr. Ramadany FST Fès, 2020/2021

[12] : Documentation de SOTHERMA Fès à partir du Janvier 2021

Webographie :

[1] : http://www.smipack.it/pdf_main/pdf/smiform/smiform_fr.pdf , Mars 2021

[2] : <https://www.amalo-recrutement.fr/blog/lean-manufacturing-definition-qu-est-ce-que-c-est/>, Mars 2021

[3] : <http://www.ordinal.fr/fr/trs-et-performance-industrielle.htm> , Mars 2021

[4] : <https://www.kpi-trs.com/calcul-du-trs>, Mars 2021

[5] : <https://www.mobility-work.com/fr/blog/optimiser-maintenance-industrielle-tpm>, Mars 2021

[6] : <http://leleanmanufacturing.com/utiliser-la-methode-smed-pour-gagner-du-temps-dans-la-vie-courante/#:~:text=SMED%20signifie%20%20C2%AB%20Single%20Minute%20Exchange,entre%20%20s%20C3%A9ries%20de%20production.>

[7] : <https://qualite.ooreka.fr/comprendre/5s#:~:text=La%20m%C3%A9thode%205S%20permet%20d,5S%20est%20d'origine%20japonaise.&text=Trier%2C%20jeter%2C%20recycler%2C%20archiver,selon%20leur%20fr%C3%A9quence%20d'utilisation.>

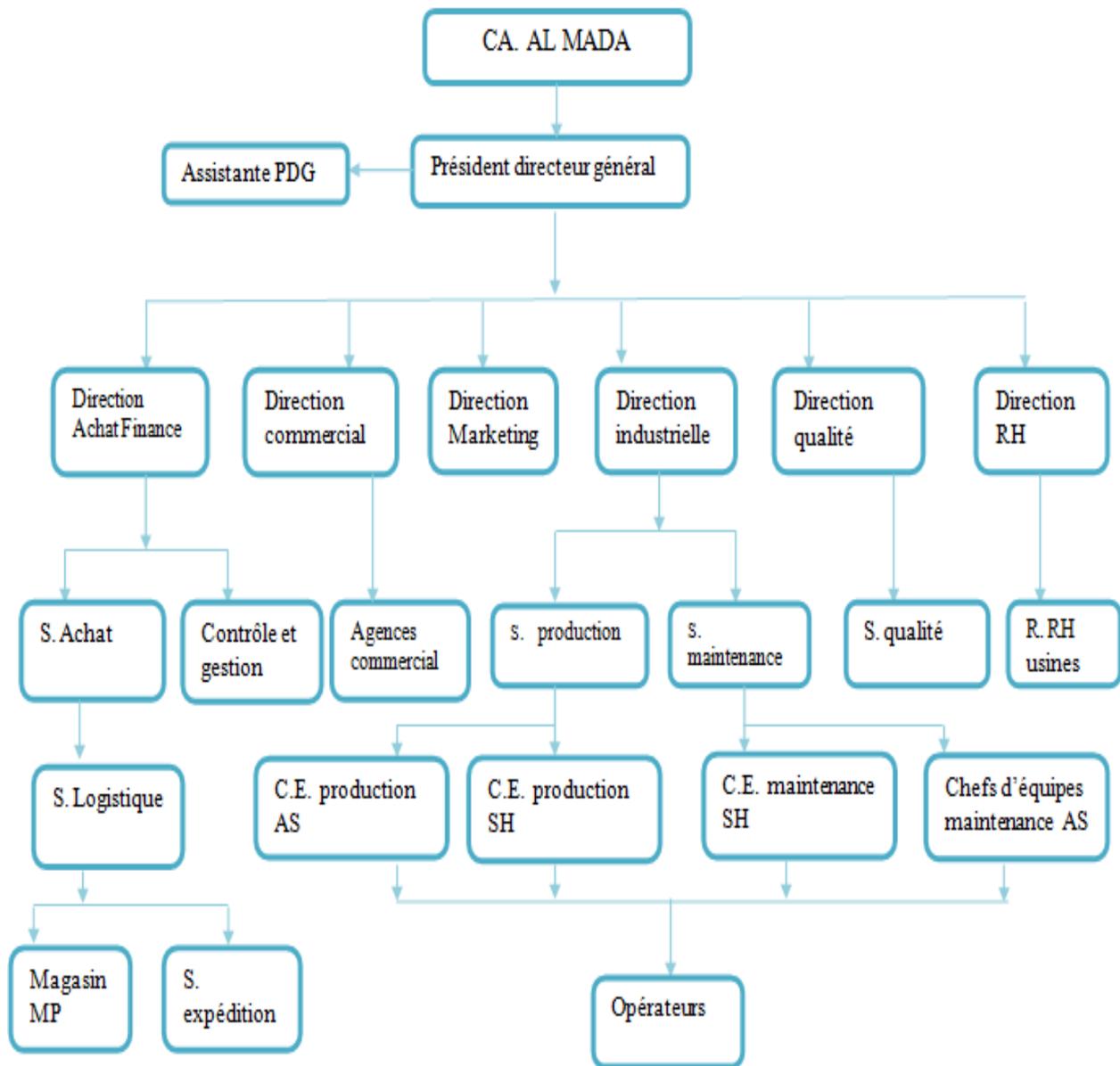
[8] : [https://qualiblog.fr/outils-et-methodes/amdec-mode-demploi/#:~:text=L'AMDEC%20\(Analyse%20des%20Modes,%20C3%A9quipement%20ou%20du%20processus%20C3%A9tudi%C3%A9%2C](https://qualiblog.fr/outils-et-methodes/amdec-mode-demploi/#:~:text=L'AMDEC%20(Analyse%20des%20Modes,%20C3%A9quipement%20ou%20du%20processus%20C3%A9tudi%C3%A9%2C) , Mars 2021

[9] : <https://www.picomto.com/pourquoi-mettre-en-place-le-takt-time/#:~:text=Le%20Takt%20Time%20est%20un,fonction%20des%20besoins%20du%20client>
Avril 2021

[10] : <http://leleanmanufacturing.com/jidoka/>

[11] : <http://christian.hohmann.free.fr/index.php/lean-entreprise/la-boite-a-outils-lean/235-analyse-du-trs-avec-les-16-pertes-tpm> Mars 2021

ANNEXE 1 : Organigramme de l'entreprise



La documentation de la souffleuse :

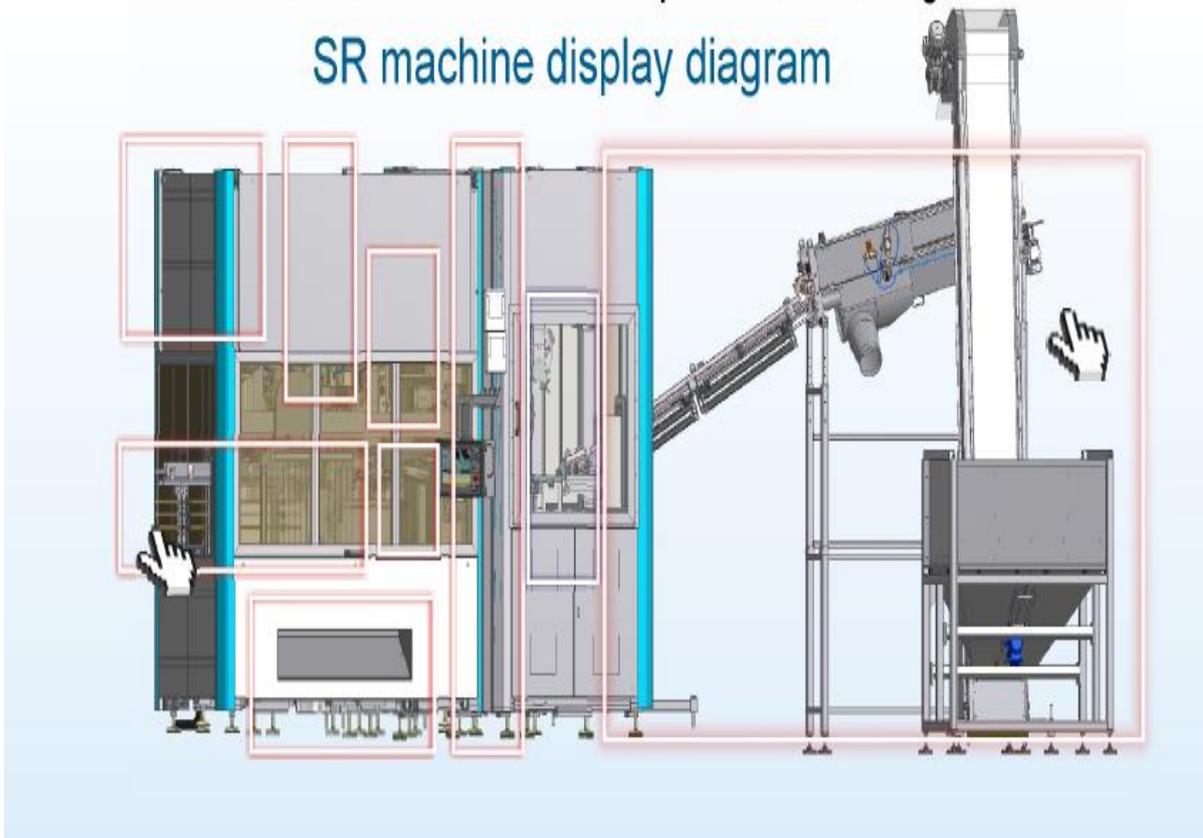


Code Manuel:DM230517
Date de création: 23.04.2014
Révision: 0

SR6

Documentation concernant les pièces de rechange

SR machine display diagram



Annexe 3 : Suivi du TRS avant fiabilisation des données

jour du mois Février	arrêts planifiés (min)	temps requis (min)	Nombre de pièces conformes	Nombre total de pièces produites	sommes d'arrêts non programmés (min)	TN	TU	TF	TQ	TP	Do	TRS
1	40	1400	24158	24223	946	484,46	483,16	454	100%	107%	32%	35%
2	140	1300	23200	23309	190	466,18	464	1110	100%	42%	85%	36%
3	40	1400	45026	45216	495	904,32	900,52	905	100%	100%	65%	64%
4	40	1400	35580	36078	674	721,56	711,6	726	99%	99%	52%	51%
5	230	1210	31240	31540	520	630,8	624,8	690	99%	91%	57%	52%
6	0	1440	6820	6820	1218	136,4	136,4	222	100%	61%	15%	9%
7	0	1440	0	0	0	0	0	1440	0%	0%	0%	0%
8	66	1374	20 830	21 254	949	425,08	416,6	425	98%	100%	31%	30%
9	90	1350	674	800	960	16	13,48	390	84%	4%	29%	1%
10	35	1405	21040	21941	963	438,82	420,8	442	96%	99%	31%	30%
11	60	1380	49200	49318	394	986,36	984	986	100%	100%	71%	71%
12	160	1280	33430	33955	598	679,1	668,6	682	98%	100%	53%	52%
13	16	1424	15455	15455	635	309,1	309,1	789	100%	39%	55%	22%
14	30	1410	11000	11317	224	226,34	220	1186	97%	19%	84%	16%
15	60	1380	49302	49552	376	991,04	986,04	1004	99%	99%	73%	71%
16	60	1380	55430	55625	297	1112,5	1108,6	1083	100%	103%	78%	80%
17	60	1380	59 060	59 760	203	1195,2	1181,2	1177	99%	102%	85%	86%
18	60	1380	61 600	62 011	139	1240,22	1232	1241	99%	100%	90%	89%
19	300	1140	37 460	38 206	410	764,12	749,2	730	98%	105%	64%	66%
20	180	1260	25 552	25 605	262	512,1	511,04	998	100%	51%	79%	41%
21	405	1035	6 152	6 200	249	124	123,04	786	99%	16%	76%	12%
22	60	1380	49 071	49 071	399	981,42	981,42	981	100%	100%	71%	71%
23	0	1440	7 280	7 600	100	152	145,6	1340	96%	11%	93%	10%
24	0	1440	0	0	0	0	0	1440	0%	0%	0%	0%
25	0	1440	0	0	0	0	0	1440	0%	0%	0%	0%
26	122	1318	39 240	39 333	531	786,66	784,8	787	100%	100%	60%	60%
27	52	1388	43 549	43 549	548	870,98	870,98	840	100%	104%	61%	63%
28	60	1380	36 212	36 274	639	725,48	724,24	741	100%	98%	54%	52%
MOYENNE									87,85%	69,63%	55,21%	41,76%

Annexe 4 : Analyse AMDEC de la souffleuse (suite)

Système de transmission :

composant ou sous ensemble	Fonction	mode de défaillance	cause	effet	détection	IF	IG	ID	C	actions recommandées
Plaquette Frein ST	-arrêter la transmission -serrage et desserrage du frein	-arrêt de circuit pneumatique -retard de freinage	-fatigue -vieillessement	-échauffement -glissement	indélectable	3	3	4	36	-lubrification systématique des engrenages
Courroie ST	-transmission de mouvement	-rupture -usure	-fatigue	-Arrêt de la machine	arrêt de la machine	3	3	3	27	-contrôle régulier -remplacement systématique des courroies
Pignon ST	-transmission de mouvement	-grippage -usure des dents - écaillage	-manque de lubrification - vieillissement	-pas de synchronisation	-constat acoustique	2	3	3	18	-lubrification régulière -changement des pignons
POULIE DENTÉE ST	-transmission de mouvement	-grippage des roulements	-vieillessement	-Arrêt de la machine	-constat visuel - arrêt de la machine	2	3	2	12	-lubrification des roulements -remplacement des poulies
RÉDUCTEUR	-assurer l'entrainement de différentes poulies et courroies de la transmission machine	-pas de transmission	-moteur défectueux -circuit de commande et de puissance défectueuse -défaut d'alimentation -défaillance interne du réducteur	-arrêt de transmission	-constat visuel	3	3	2	18	-vérification de bobinage du moteur - graissage régulier des engrenages

Bras de transfert :

composant ou sous ensemble	Fonction	mode de défaillance	cause	effet	détection	IF	IG	ID	C	actions recommandées
Galet BT	-équilibre - positionnement	-usure	-Déformation de la came -vieillessement du galet	-déséquilibre - arrêt de la machine	-constat visuel	3	3	2	18	-remplacement systématique du galet

Ressort BT	-traction -serrage	-Cisaillement	-vieillessement -vibration	-déséquilibre -arrêt de la machine	-constat visuel	3	3	2	18	-remplacement systématique du ressort
Glissière BT	-Guidage en Translation	-Glissière trop écartée	-Récupération des préformes au niveau du four -Récupération des bouteilles au niveau des moules -déformation de la came	-déséquilibre de la glissière -complexité de la translation	-constat visuel	2	2	2	8	-contrôle et dépannage de la glissière systématiquement

Roue de soufflage :

composant ou sous ensemble	Fonction	mode de défaillance	cause	effet	détection	IF	IG	ID	C	actions recommandées
joint RS	-assurer une bonne étanchéité du moule - éviter le jeu entre le joint et le moule	-défaut structurelle	-défaut de conception -usure par le temps -mauvais positionnement	-jeu entre le joint et le porte moule -mauvais contrôle des préformes	-constat visuel et acoustique	3	2	2	12	-remplacement systématique du joint
Amortisseur RS	-permet l'accostage des deux demi-moules sans choc	-cisaillement -usure	-vibration -vieillessement	-détérioration de la porte moule	-constat visuel et acoustique	3	3	2	18	-graissage de l'amortisseur changement de l'amortisseur
Vérin RS	-actionner la tige d'élongation pour l'étirage des préformes	-usure -colmatage de la tige de vérin	-surpression -absence de lubrifiant	-blocage de la tige de vérin	-constat visuel	3	3	2	18	-graissage et nettoyage du vérin remplacement du vérin
unité porte moule	-assurer le verrouillage et le déverrouillage du moule -assurer le processus du moulage	-Usure du flexible d'eau -pas d'amortissement usure des joints - pression insuffisante -Mélange d'air avec de l'eau dans le flexible	-fatigue -effort mécanique -vieillessement -Mauvais montage du flexible	-bouteille éclatée -arrêt de la machine	-arrêt critique de la machine	1	4	2	8	-vérification des amortisseurs - contrôle de la pression - changement des amortisseurs -remplacement des joints
galet de font de moule RS	-assurer le verrouillage et le déverrouillage de l'unité porte moule	-blocage -usure	-Déformation de la came	-blocage du moule -mauvais transfert de préforme	-constat visuel	3	3	2	18	-changement systématique des galets font de moule

galet de levier on/of de moule	-assurer la translation des moules	-blocage -usure	-déformation de la came	-mauvais transfert des préformes -blocage des moules	-constat visuel	3	3	2	18	changement systématique des galets
système de verrouillage	-plaquer les demis-moules l'un à l'autre	-détérioration	-vieillessement	-pas de verrouillage des demis-moule -arrêt du moulage	-constat visuel -indiquée par le poste de contrôle et de commande	2	4	1	8	-vérifier l'état du moule
plaquet de compensation	-permet au demi-moule mobile de se plaquer l'un à l'autre	-cisaillement de vis -détérioration rondelle à ressort	-vieillessement	-bouteille non conforme - défaut de verrouillage	-indiquée par le poste de contrôle et de commande -constat visuel	3	4	1	12	-remplacement des rondelles à ressort et les vis
Système fond de moule	-contrôle de la position de fond de moule	-fin de course hors service	-cisaillement de la pièce métallique qui assure le contact avec le FM. - détachement câble électrique FM : fond de moule	-écrasement de la came -remonté fond de moule en cas de moule Non fermé	-Arrêt de la machine -blocage roue de soufflage	2	4	1	8	-vérifier le réglage de l'amplitude de la fin de course - remplacement de la fin de course
électrovanne soufflage et persoufflage	-commuter les pressions de pré soufflage et de soufflage	-électrovanne défectueuse	-bobine grillé -détérioration interne	-pas de commande de la vanne	-alarme -présence d'une grande fuite	2	4	1	8	-contrôle et remplacement de l'électrovanne
vérin de tuyère	-mettre la préforme en pression pour former la bouteille	-manque de puissance -marche irrégulière du vérin -colmatage -fuite au niveau de la tige	-pas de soufflage -détérioration du piston à cause des saletés abrasives	-bouteille non conforme -niveau de la pression incontrôlé	-indiquée par le poste de contrôle et de commande - constat visuel	3	3	1	9	-graissage et nettoyage du vérin - remplacement du vérin - vérification des fuites au niveau de la tige
distributeur	-commander les vérins	-fuite -pas de transfert	-coincement du tiroir bobine grillée	-arrêt de l'unité commandé	-indiquée par le poste de contrôle et de commande	3	3	1	9	-contrôle de la bobine - changement distributeur

Sortie

composant ou sous ensemble	Fonction	mode de défaillance	cause	effet	détection	IF	IG	ID	C	actions recommandées
Photo cellules	-Détecter le passage des bouteilles	-Dépôt des débris sur le réflecteur	-Poussière -Manque de nettoyage	-Non détection des bouteilles	constat visuel	2	2	2	8	-nettoyage régulier des photocellules

Annexe 5 : Calcul de la Do et le TRS avant et après SMED

Avant SMED :

jour	sommes d'arrêts non programmés (min)	Nombre total de pièces effectivement produites	Nombre de pièces conformes produites	TR	TN	TU	TF	TQ	TP	Do	TRS
6	981	22840	21800	1440	456,8	436	459	95%	100%	32%	30%
20	884	27817	27 790	1 440	556,34	555,8	556	100%	100%	39%	39%
27	764	33792	33 658	1 440	675,84	673,16	676	100%	100%	47%	47%

Après SMED :

jour	sommes d'arrêts non programmés (min)	Nombre total de pièces effectivement produites	Nombre de pièces conformes produites	TR	TN	TU	TF	TQ	TP	Do	TRS
6	711	31440	30400	1440	628,8	608	729	97%	86%	51%	42%
20	673	36417	36 390	1 440	728,34	727,8	767	100%	95%	53%	51%
27	545	42392	42 258	1 440	847,84	845,16	895	100%	95%	62%	59%

Stage effectué à : SOTHERMA Fès



Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de Master Sciences et Techniques

Nom et prénom: JEBBOURI Hind

Année Universitaire : 2020/2021

Titre: Mise en place d'une démarche Lean Manufacturing pour l'amélioration de la performance d'une unité de production

Résumé

Le marché industriel nécessite une production de haute qualité à des prix compétitifs, tout comme l'industrie de l'embouteillage d'eau minérale. L'impact des temps d'arrêt sur la productivité est un phénomène complexe et la maîtrise de ce phénomène est toujours une étape importante pour les industriels. Le but de ce projet est d'analyser et de déterminer les raisons spécifiques conduisant à la dégradation des performances de l'unité de production. Le processus de résolution de problèmes proposé dans notre recherche s'inspire de la démarche Lean Manufacturing au plus juste pour améliorer le TRS.

L'application de la méthode DMAIC dans notre étude nous aidera à organiser correctement le travail.

La surveillance de l'indicateur TRS montre que la non-performance est causée par des temps d'arrêt non planifiés des machines. Afin de résoudre ce problème, il est nécessaire de contrôler la qualité des intrants et d'éliminer les dysfonctionnements de la ligne de production.

Cela doit garantir la disponibilité opérationnelle de la machine grâce à la mise en œuvre d'une stratégie TPM.

Abstract

The industrial market requires high quality production at competitive prices, as does the mineral water bottling industry. The impact of downtime on productivity is a complex phenomenon, and searching ways to control it is always a very important step for manufacturers.

The aim of this project is analyzing and determining the specific reasons leading to the degradation of the production unit's performance. The problem-solving process proposed in our research is inspired by the Lean manufacturing approach to improve TRS.

DMAIC is the method that will help us to organize our study correctly.

TRS indicator tracking shows that non-performance is caused by unplanned machine downtime. In order to solve this problem, it is necessary to control the quality of inputs and eliminate the malfunctions of production line. This should ensure the operational availability of machines through the implementation of a TPM strategy.

Key words: Lean Manufacturing, TRS, DMAIC, TPM.

Mots clés: Lean Manufacturing, TRS, DMAIC, TPM.