

E.N.S.T

المدرسة الوطنية العليا للتكنولوجيا
Ecole Nationale Supérieure de Technologie



Department of Industrial
Engineering & Maintenance

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Département : Génie Industriel Et Maintenance

Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention

du diplôme d'ingénieur d'état

Spécialité

Génie industriel

- Thème -

Contribution à la réduction des défauts de qualité par le Lean Six Sigma

Cas MFG

Présenté par

GAOUAOUI Rania & BOUGHAR Ilhem

Les membres de Jury

SI AHMED Boualem	Président
BOUGHICHE Fazia	Encadreur
RAHMOUNE Mehdi	Co-Encadreur
REZGUI Wail	Examineur

Alger, le 12/07/2022

Année universitaire 2021 – 2022

Dédicaces

Nous dédions ce travail à Nos chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de nos études.

À Nos chers frères et sœurs pour leur appui et leur encouragement permanent, et leur soutien moral.

À toute Nos familles pour leurs soutien tout au long de Nos parcours que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien infailible.

Nous dédions ce travail aussi à tous les professeurs de la filière Génie Industriel.

À Tous ceux que cette liste ne peut contenir.

Merci d'être toujours là pour moi.

Rania & Ilhem

Remerciements

Nous remercions tout d'abord le bon Dieu qui nous a donné le courage, la volonté et la santé afin d'accomplir ce travail.

*Nous remercions tout particulièrement nos promoteurs
au sein de MFG, **Mr B. MOKERFI** et **Mr***

***R. HAMAMOUCHE** En tant que maîtres de stage, ils
nous ont beaucoup appris et n'ont pas hésité à partager
leurs connaissances avec nous. Nous les remercions
également pour avoir consacré leurs temps et leurs
efforts pour nous aider à bien mener notre travail.*

*Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements et notre profonde
gratitude à **Mr. RAHMOUNE Mehdi** qui a consacré
tout son temps pour la réalisation de ce travail, ses conseils et ses
observations nous ont été d'une aide bénéfique.*

Par ailleurs nous remercions tous les enseignants de l'école qui ont participé à notre formation.

Liste Des Symboles

LISTE DES ABREVIATIONS

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

AFNOR : Association Française de NORmalisation.

AMM : Autorisation de Mise sur le Marché

CTQ : critical-to-quality

CQ : Contrôle Qualité

DMAIC : Définir, Mesurer, Analyser, Innover/Améliorer, Contrôler

DPMO : Défauts par million d'opportunités

DPU : Défauts par unité

DA : Dinar algérien

DMADV: Define, Measure, Analyze, Design, Verify

DFLSS: Design for Lean Six sigma

FTA :FaultTreeAnalysis

H2: Le gaz d'hydrogène

ISO : Organisation Internationale de Normalisation

ISO 9001 : Systèmes de management de la qualité - Exigences

ISO 9000 :Systèmes de management de la qualité - Principes essentiels et vocabulaire

LSS: Lean Six Sigma

MCDM : méthode de prise de décision multicritère

MSP : Maîtrise Statistique de Processus

MP : Matière Première

NC : Non Conforme

N2 : le gaz Azote

PDCA : Plan Do Check Act

PF : ProduitFini

PMEs: petite et moyenne entreprises

QFD :Qualityfunctiondeployment

SIPOC : suppliers, inputs, process, outputs, customer

QP : Qualification de Performance

QQOQCCP : Quoi-Qui-Où-Quand-Comment-Combien –Pourquoi

SMQ : Système Management de la Qualité

TPM : Total Productive Maintenance

TPS : Toyota Productive System

TQM : Total Quality Management

Sommaire

Sommaire

Introduction générale.....Erreur ! Signet non défini.

Chapitre1 : Généralités sur Lean, Six Sigma et Lean Six Sigma

I.1 Introduction.....	3
I.2 Management de la qualité totale	3
I.2.1 Définition	3
I.2.2 Principes de la TQM.....	4
I.2.3 Objectifs du TQM	5
I.3 Lean Manufacturing.....	5
I.3.1 Définition	6
I.3.2 Principaux éléments du lean manufacturing	6
I.3.3 Démarche du lean manufacturing.....	7
I.4 Six sigma	8
I.4.1 Définition	8
I.4.2 Historique du Six Sigma.....	9
I.4.3 Pourquoi le Six Sigma	10
I.4.4 Démarche du Six Sigma	11
I.5 Concept Lean Six Sigma	11
I.5.1 Principe de Lean Six Sigma	13
I.5.2 Domaine d'application du Lean Six Sigma	13
I.5.3 Apports du Six Sigma aux entreprises.....	13
I.5.4 Outils du Lean Six Sigma.....	14
I.5.4.1 Cartographie des processus	Erreur ! Signet non défini.4
I.5.4.2 Modèle QOQCP.....	15
I.5.4.3 Diagramme de causes-à-effets	15
I.5.4.4 Histogrammes	16
I.5.4.5 Diagramme de Pareto.....	17
I.5.4.6 Charte de projet	17
I.5.4.7 Brainstorming	18
I.5.4.8 Cartes de contrôles	18
I.6 Conclusion	19

Sommaire

Chapitre2 : Etat de l'art des différents contextes d'utilisation des approches Lean Manufacturing et Six Sigma

II.1 Introduction.....	21
II.2 État de l'art.....	21
II.2.1 Travaux relatifs aux application du LSS	21
II.2 .2 Travaux relatifs à l'amélioration des outils du LSS	24
II.3 Conclusion.....	25

Chapitre3 : Mise en œuvre de la méthode LSS pour le traitement des pertes de qualité au sein d'entreprise MFG

III.1 Introduction	27
III.2 Présentation de l'entreprise.....	27
III.2.1 Processus de fabrication du verre float :	28
III.2.2 Pertes de qualité :	29
III.3 Démarche DMAIC.....	30
III.3.1 Etape définir (Define).....	30
III.3.1.1 Formulation du problème par un QQQQCP.....	31
III.3.1.2 Charte de projet.....	Erreur ! Signet non défini.2
III.3.1.3 Cartographie de processus (Boite noire)	Erreur ! Signet non défini.3
III.3.2 Etape Mesurer.....	Erreur ! Signet non défini.3
III.3. 2.1 Calcule des indicateurs de performance	Erreur ! Signet non défini.3
III.3. 2.1.1 Taux de rendement.....	Erreur ! Signet non défini.3
III.3. 2.1.2 Taux de perte de qualité.....	Erreur ! Signet non défini.4
III.3. 2.1.3 Perte d'énergies.....	Erreur ! Signet non défini.4
III.3.2.1.4 Coût de perte de qualité	Erreur ! Signet non défini.4
III.3.2.2 Mesure d'occurrence des défauts de qualité	Erreur ! Signet non défini.5
III.3.2.3 Mesure du niveau SIGMA.....	Erreur ! Signet non défini.6
III.3.2.4 Diagramme de Pareto.....	Erreur ! Signet non défini.7
III.3. 3 Etape Analyser	40
III.3. 3.1 Causes des Pierres de Quartz (Tridymite)	40
III.3. 3.2 Causes des Taches d'Oxyde d'Etain	40
III.3. 3.3 Causes des Pierres de Corindon	41

Sommaire

III.3. 3.4 Causes des Bulles d'air de Sulfate.....	41
III.3. 3.5 Causes des Bulles d'air.....	42
III.3.4 Etape Améliorer.....	44
III.3.4.1 Partie I.....	44
III.3.4.2 Partie II.....	45
III.3.4.2.1 Définir :.....	46
III.3.4.2.1.1 Poudre de verre.....	46
III.3.4.2.1.2 Utilisation de la poudre de verre dans les milieux industriels	47
III.3.4.2.2 Mesurer.....	47
III.3.4.2.2.1 Machine pour le broyage du verre	47
III.3.4.2.1.2 Clients et fournisseurs de la poudre de verre	48
III.3.4.2.1.3 Revenus de nouveaux processus.....	48
III.3.4.2.3 Analyser.....	49
III.3.4.2.4 Design.....	49
III.3.4.4.1 Schéma de processus de production de verre	49
III.3.4.5 Contrôler	50
III.4 Conclusion	50
Conclusion générale	53

Listes des Figures Et Tableaux

LISTE DES FIGURES

Figure I.1: Six Sigma et la réduction de la variabilité

Figure I.2: Complémentarité des méthodes Lean et Six Sigma

Figure I.3: Piliers du concept Lean Six Sigma

Figure I.4: Boîte Noire

Figure I.5 : Diagramme d'Ishikawa

Figure I.6: Histogramme

Figure I.7: Modèle du diagramme de Pareto

Figure I.8: Charte de projet Six Sigma

Figure I.9: Carte de contrôle

Figure II.1: Méthodologie de recherche

Figure III.1: Réseau de distribution MFG

Figure III.2 : Schéma illustratif du processus de production du verre float

Figure III.3: Photos de l'automate de détection des défauts

Figure III.4: Démarche DMAIC

Figure III.5 : Pourcentage des pertes par catégorie (Février et Mars 2022)

Figure III.6: les éléments de processus de la production

Figure III.7: Pourcentage des défauts par jours en Mars 2022

Figure III.8: Fréquence des défauts

Figure III.9: Diagramme de Pareto totale des défauts

Figure III.10: Diagramme d'Ishikawa pour les Pierres de quartz (tridymite)

Figure III.11: Diagramme d'Ishikawa pour les Taches d'Oxyde d'Etain

Figure III.12: Diagramme d'Ishikawa pour les Pierres de Corindon

Figure III.13: Diagramme d'Ishikawa pour les Bulles d'air de Sulfate

Figure III.14: Diagramme d'Ishikawa pour les Bulles d'air

Figure III.15 : Les points de mesure à observer

Figure III.16: La démarche DMADV

Figure III.17: De calcin non conforme vers une poudre de verre

Figure III.18 : Poudre de verre « Marque Clirik »

Figure III.19 : Broyeur de verre

Figure III.20: Machine à nettoyer le verre

Figure III.21: Processus de production « poudre de verre

LISTE DES TABLEAUX

Tableau II.1: Comparaison Lean Manufacturing et Six Sigma

Tableau III.1: Formulation de problème par un QQQQCP

Tableau III.2: La charte de projet

Tableau III.3: Perte en gaz

Tableau III.4: Valeur monétaire des pertes qualité

Tableau III.5: Nombre de défaut par jour

Tableau III.6: Totale des défauts par type

Tableau III.7: Les défauts prioritaires a traité

Tableau III.8: Valeur monétaire de la poudre

Introduction Générale

Ces dernières années, l'accès à tout bien de consommation est grandement facilité par l'attractivité des prix et la possibilité d'acheter sur internet grâce au développement du e-commerce. Aujourd'hui l'entreprise doit s'adapter, réellement, aux besoins du client pour espérer se maintenir en vie.

Ainsi, rester compétitif passe par de nouvelles méthodes d'organisation dans laquelle l'entreprise s'adapte aux clients. Et, l'approche Lean Six Sigma vient offrir des opportunités de l'excellence opérationnelle. En effet, cette démarche est la rencontre de deux méthodes distinctes visant à accroître les performances globale d'une entreprise tout en améliorant la qualité du produit.

Plusieurs travaux de recherche, comme (Zu et al, 2008)et(Schroeder et al, 2008), ont tenté d'identifier les facteurs clés qui augmenteraient l'efficacité de la méthode six sigma. Grâce à la démarche DMAIC (Define, Measure, Analyse, Improve), sur laquelle se base la méthode du Lean Six Sigma (LSS), on s'assure d'être systémique dans l'analyse qu'on entreprend. Cela nous assure de bien contenir le problème étudié en tenant compte des différentes parties prenantes ainsi que des interactions entre elles.

En outre, grâce à son aspect générique la DMAICS a une fonction similaire que celles des méthodes et modèles existants relatifs à la résolution des problèmes en production. Comme le Plan-Do-Check-Act et la méthode des sept étapes du Juran et Gryna(Balakrishnan et al, 1995).

Initialement décrite comme une méthode de maitrise des processus, DMAICS est pratiquement appliquée comme une méthode de résolution générique des problèmes et une approche d'amélioration (McAdam et Lafferty, 2004). Elle contribue à la mise en œuvre des méthodes Lean et Six Sigma comme une méthodologie d'amélioration des processus (Chakravorty, 2009).

L'objectif de ce mémoire sera de présenter l'apport de la méthodologie LSS au sein d'une entreprise MFG. La première partie présentera l'approche LSS et ses apports dans un contexte d'amélioration continue en entreprise. En plus, des outilspermettant d'optimiser le fonctionnement del'entreprise seront décrits. Dans un second temps, un état de l'art illustre quelques études qui illustrent des applications de LSS dans les différents contextes de l'amélioration continue.Enfin, la troisième partie proposera le déroulement d'une démarche de résolution de problème appliquée suite à une non-conformité observée dans la qualité des produits au cours de production au sein de l'entreprise MFG.

Au total, dans ce travail, nous tenterons de démontrer la nécessité de la mise en œuvre des outils de l'amélioration continue dans l'industrie algérienne avec une préparation d'un environnement d'adaptabilité et aussi des perspectives permettant de découvrir d'autres ambitions pour le développement et la pérennité des entreprises en Algérie.

Chapitre 1

Généralités sur Lean, Six Sigma et Lean Six Sigma

I.1 Introduction

Dans le passé, la demande des clients était supérieure à l'offre des entreprises dans tous les domaines d'activité. Que ce soit dans le secteur de l'industrie ou celui des services. Les entreprises avaient le monopole sur le marché (l'entreprise reine). C'est-à-dire, le prix, le délai et la qualité sont des critères imposés au client par l'entreprise.

Actuellement, l'offre étant devenue supérieure à la demande, la tendance du marché se trouve donc inversée. Le prix, le délai et la qualité sont alors des critères imposés à l'entreprise par le client (le client est roi). L'apparition de la concurrence, les développements technologiques et la modification profonde des politiques de production ont remis en cause le fonctionnement même des entreprises qui sont alors contraintes de réagir et de repenser leur organisation et leurs stratégies.

Pour relever ce nouveau défi, toutes les organisations de production et de services cherchent à atteindre l'excellence dans la performance et la satisfaction des clients par l'adoption des actions d'amélioration et des concepts du management de la qualité totale TQM. Parmi les nouveaux concepts, nous nous intéressons au Lean Management et le Six Sigma et des modèles d'excellence opérationnelle dans le but de parvenir aux meilleurs niveaux de productivité.

Ce chapitre a pour objectif de présenter le concept TQM, Lean Management et Six Sigma. Nous allons faire un focus sur l'approche Lean Six Sigma et l'intégration de cette approche pour la résolution d'un problème dans un processus de production. Ensuite, une présentation détaillée de la démarche DMAIC avec ces différents outils et leur intégration qui permet d'améliorer la qualité et la création de valeur.

I.2 Management de la qualité totale

Le management de la qualité est défini comme un ensemble d'activités coordonnées permettant d'orienter et de contrôler un organisme en matière de qualité. En pratique, le concept T.Q.M est né aux USA mais appliqué au Japon dès l'année 1949. Le fondateur de Toyota, en l'occurrence M. Toyota, a confié une mission à Taiichi Ohno de trouver une autre version de la méthode Ford plus adaptée au nouvel environnement social et économique du Japon. Ce dernier a développé une méthode dont un de ces principes fondamentaux est de réduire les pertes en réalisant une parfaite qualité (Toyotisme). Depuis le début des années 80, la méthode est alors devenue plus populaire surtout dans les pays développés (ISO, 2000).

I.2.1 Définition

La qualité totale (Total Quality Management, TQM en anglais) est une démarche de gestion de la qualité dont l'objectif est l'obtention d'une très large mobilisation et l'implication de toute l'entreprise pour parvenir à une qualité parfaite en réduisant au maximum les gaspillages et en améliorant en permanence les éléments de sortie. La qualité totale, pour une entreprise, résulte d'une politique qui tend à la mobilisation permanente de tout le personnel pour améliorer la qualité de ses produits et services, l'efficacité de son fonctionnement, la pertinence et la cohérence de ses objectifs, en relation avec son environnement (LONGIN et DENET, 2008).

I.2.2 Principes de la TQM

Les référentiels des prix de la qualité japonais, américain et européen représentent les fondements des principes du TQM.(SIDDIKI, 2008, Apics1992 ,Afnor, 2000). Ils sont considérés comme un savoir implicite réel en matière de management. Ils correspondent en fait, en phase de démarrage, aux politiques majeures autour desquelles s'articulent l'ensemble des politiques de mise en œuvre du management de la qualité totale. Ces principes sont résumés comme suit :

1. Adopter une approche intégrée

L'approche intégrée consiste à assurer la cohérence à court, moyen et long terme de la mise en œuvre d'une approche TQM intégrée. Elle se matérialise notamment par la formalisation, le déploiement et l'intégration de la structure de pilotage et des systèmes de management du TQM dans les pratiques quotidiennes dans toutes les entités et à tous les niveaux. Ce déploiement est vital pour la réussite d'une approche du TQM intégrée. Leur mise en œuvre constitue la validation de l'engagement des dirigeants dans une telle approche.

2. Engagement total des dirigeants

Cette politique consiste à s'assurer de l'engagement total des dirigeants et de la structure d'encadrement dans la mise en œuvre de cette approche intégrée. Outre la mise en place des structures et des systèmes de management, l'engagement visible des dirigeants est mis en évidence par l'adoption des plans suivants :

- Plan de développement de TQM à court, moyen et long terme (système de déploiement de politiques), qui a pour but de coordonner l'ensemble des politiques d'amélioration et de transformation transversales de l'entreprise;
- Système de gouvernance de l'entreprise (vision, mission, valeurs, principes d'action, choix stratégiques) ;
- Politique de transformation culturelle (université interne, formation en cascade, communication interne) ;
- Evaluer les progrès réalisés dans la recherche de l'excellence en matière d'efficacité et d'efficience opérationnelle, sur la base d'un référentiel standardisé adopté par les grandes entreprises ;
- Système de reconnaissance et récompense adapté aux changements.

3. Instauration d'un processus d'amélioration continue

Ce principe consiste à impliquer l'ensemble du personnel, à tous les niveaux et dans toutes les entités, dans les activités d'amélioration des capacités de l'entreprise.

4. Systématiser le management par les faits

Ce principe vise à faire adopter et appliquer systématiquement par tous, à tous les niveaux, les méthodes de mesure, les standards et les meilleures pratiques du TQM.

5. Impliquer tout le personnel

Ce principe consiste à développer la capacité de tout le personnel à agir et décider par soi-même. Et ce, pour que chacun puisse s'impliquer, avec le maximum d'efficacité, dans les projets d'amélioration.

6. Orienter l'entreprise vers ses clients

L'une des hypothèses de la TQM est la satisfaction des attentes des clients qui sont, pour une entreprise, les meilleurs moyens pour la conduire au succès.

Ce dernier principe consiste à développer les capacités de l'entreprise à percevoir et à satisfaire les attentes de ses parties permanentes et à créer la valeur ajoutée pour les clients.

I.2.3 Objectifs du TQM

Le TQM est dédié à rechercher de l'excellence dans le management de l'efficacité et de l'efficience opérationnelles. Cette vision nous conduit à préciser la signification de l'excellence, de l'efficacité et de l'efficience :

- La recherche de l'excellence est le moteur de la performance industrielle qui cherche à tirer le meilleur de ses ressources (installations, machines, hommes), dans un contexte donné, tout en assurant une pérennité de fonctionnement à court et moyen terme. Un client engendre essentiellement ses décisions d'achat sur la qualité de l'entreprise à lui Fournir des produits et des services de plus haut niveau d'excellence et non pas sur sa Capacité à respecter un système standard. Pour atteindre l'excellence, il est nécessaire d'évaluer et améliorer constamment le résultat attendu ainsi que le chemin pour y parvenir. Ce qui oblige l'introduction des notions de l'efficacité et l'efficience opérationnelles ;
- L'efficacité opérationnelle désigne la capacité d'une entreprise, d'un processus ou d'une entité opérationnelle à satisfaire, à chaque fois et du premier coup, les exigences et les attentes des clients. Elle se mesure par référence à des facteurs externes à l'entreprise ;
- L'efficience opérationnelle désigne la capacité d'une entreprise à utiliser les ressources, les moyens et les approches les plus pertinentes et optimales pour assurer ce résultat, à chaque fois et du premier coup. L'efficience opérationnelle se mesure par référence à des facteurs internes à l'entreprise.

I.3 Lean Manufacturing

Le Lean trouve son origine dans le Toyota Production System (TPS) au Japon. Le modèle toyotisme fait donc suite au fordisme et au taylorisme et s'articule sur le concept de la « Maison de Toyota ». Cette dernière a été créée par Taiichi Ohno et Eiji Toyota qui ont choisi la forme d'une maison car c'est une forme familière, qui véhicule une idée de stabilité (OLIVIER, 2009). Le symbole utilisé par ses fondateurs a pour but d'expliquer la cohérence et l'harmonie du système Lean.

Le développement du Toyota commence par la compréhension que l'efficacité d'un système dépend de trois critères essentiels : la qualité, le coût et les délais. Cette efficacité peut être influencée par trois contraintes à tout système de production : le *gaspillage*, l'*instabilité* et la *variabilité*.

Le Lean Manufacturing a pour but d'améliorer la compétitivité des entreprises en agissant sur ces trois types de contraintes.

I.3.1 Définition

Le terme Lean (de l'anglais lean, « maigre », « sans gras », « dégraissé ») sert à qualifier une théorie de gestion de la production qui se concentre sur la « gestion sans gaspillage », ou « gestion allégée » ou encore gestion « au plus juste » (Wikipedia).

Selon Christian Hohmann, le mot anglais «lean» signifie littéralement «Maigre». Le Lean Manufacturing, le plus souvent traduit par «production au plus juste», est fondé sur la recherche du minimalisme, du juste nécessaire pour produire, et plus largement pour satisfaire le client (HOHMANN, 2009).

Le LM est une méthode d'optimisation de la performance industrielle qui permet, grâce à une analyse détaillée des différentes étapes d'un processus de production, d'optimiser chaque étape et chaque fonction de l'entreprise. Elle repose sur le principe de la chasse aux gaspillages tout au long du processus, et permet donc de réduire les déchets et les coûts associés à chaque étape.

I.3.2 Principaux éléments du Lean Manufacturing

1. **La fondation:** la stabilité est la fondation du monument Lean, elle s'applique particulièrement à l'organisation et se traduit notamment par la stabilité des équipes, la standardisation des méthodes et le suivi de la stratégie dans le temps.
2. **Le socle :** le socle du monument Lean, sur lequel tout le reste est bâti, est constitué de deux éléments : le dynamisme Kaizen (l'amélioration continue) et l'élimination des Mudras (gaspillages), tous deux mettent le système en mouvement.

Le Muda correspond à toute opération consommant des ressources et ne générant pas de valeur ajoutée. Il existe sept gaspillages ou Mudras identifiés par le Lean Management :

- **Le Muda de traitement :** il s'agit de toute opération non strictement nécessaire (quin'apporte pas de valeur au produit). Le Muda de traitement est en général imputable à une technologie, à une conception inadéquate ou à une défaillance dans la synchronisation des processus.
- **Le Muda de rebuts /rejets ou réparation :** concerne toute non qualité générant des pièces défectueuses. Les rejets interrompent la production et exigent des retouches ou une mise au rebut coûteuse.
- **Le Muda de déplacement :** concerne tout déplacement d'une personne non directement liée à une création de valeur ajoutée ; en particulier, toute action inutile exigeant de l'opérateur un grand effort physique.
- **Le Muda de stock :** concerne toute matière ou tout composant présent dans l'usine et non nécessaire à la réalisation du travail. Les stocks de produits finis, de produits semi finis, de pièces détachées et de fourniture ne créent aucune valeur ajoutée et génèrent de la perte d'espace, des encours de production et des immobilisations financières.
- **Le Muda d'attente :** ce type de Muda se présente quand les mains de l'opérateur sont inoccupées, quand son travail est mis en attente du fait d'un déséquilibre de la chaîne, d'une absence de pièces, de l'immobilisation d'une machine (défaillance ou changement de série) ou quand il contrôle simplement une machine effectuant une tâche créatrice de valeur ajoutée.

Chapitre1 : Généralité sur Lean, Six Sigma et Lean Six Sigma

- **Le Muda de transport** : est le transport de l'information ou de matériel d'une place à l'autre. Le transport constitue une partie essentielle des opérations mais le déplacement des matières premières ou des produits ne crée aucune valeur ajoutée. Des dommages se produisent souvent durant le transport, il faut donc le limiter en plaçant stratégiquement les ressources.
- **Le Muda de surproduction** : ce type de Muda résulte de l'avance prise sur le planning de production. Toute production supérieure à la quantité nécessaire se traduit par un énorme gaspillage : matières premières consommées prématurément, personnel et accessoires introduits inutilement, machines ajoutées, espace supplémentaire servant à entreposer les stocks en excès, transport supplémentaire, il faut donc ajuster la production le plus précisément possible. Pour ce faire, une grande attention doit être portée à la planification.

I.3.3 Démarche du Lean Manufacturing

La démarche Lean est le véritable remède au gaspillage, elle permet de définir la valeur pour le client, d'organiser les actions génératrices de valeur ajoutée dans l'ordre optimum, de conduire les activités sans interruption selon la demande et de les exécuter avec une meilleure efficacité. Cette démarche permet d'accroître la production en réduisant les moyens mis en œuvre (ressource humaines, machines, temps, espace) tout en répondant de plus en plus précisément aux attentes des clients.

Jones (BEDRY, 2012) établit les cinq étapes fondamentales d'une démarche Lean dont les principes sont les suivants :

Etape 01- Définir la valeur :

La voix du client doit être présente au niveau du centre de décision de l'entreprise. C'est une condition pour définir la valeur. En effet, l'entreprise ne survit que grâce à ses clients. Le client doit savoir quoi acheter et pourquoi acheter. La valeur est définie comme étant le service ou produit fourni au client au juste prix, au bon moment et tel que défini par lui. Aucun client n'accepterait de payer le surcoût des produits et/ou services qu'il achète pour compenser l'inefficacité, les gaspillages et ratés de son fournisseur. La définition de la valeur appartient seule au client (Hohmann, 2009).

Etape 02 : Identifier la chaîne de valeur

Une chaîne de valeur est l'ensemble des actions (à valeur ajoutée et sans valeur ajoutée) à entreprendre pour qu'une matière première passe par les différents flux nécessaires à sa transformation en produit fini. Et ce, soit par le flux conceptuel : depuis la définition du concept jusqu'au lancement du produit ; soit par le flux de production (depuis l'état de matière première jusqu'à sa prise en charge par le client).

Etape 03 : Favoriser l'écoulement des flux

Favoriser l'écoulement du flux. Cela signifie, la garantie que les opérations créatrices de valeur s'enchaînent sans interruption le long du processus. Et que les produits porteurs de cette valeur ne subissent pas d'attentes ni de retours en arrière, ni circulation erratique.

L'organisation en flux peut s'appliquer à n'importe quelle activité car les principes sont toujours les mêmes :

- Se concentrer sur la gestion de la chaîne de valeur pour le produit ou le service considéré,
- Eliminer les barrières structurelles en créant une entreprise Lean ;
- Revoir l'implantation et la taille des outils ;

Chapitre1 : Généralité sur Lean, Six Sigma et Lean Six Sigma

- Appliquer l'ensemble des techniques Lean afin que le flux soit continu.

Etape 04 : Tirer la production

Tirer les flux signifie ne produire les biens ou les services que si le client l'a explicitement demandé. L'entreprise produit en « tirant » sa production en fonction de la demande et non en « poussant » en fonction des capacités locales de la production. Il faut attendre, pour être sûr de vendre, une sollicitation de la part du client afin de produire exactement selon ses vœux.

Etape 05 : Viser la perfection

Une fois la dynamique de la transformation lancée, les opportunités d'éliminer de nouveaux gaspillages se dégagent, chemin faisant, de nouvelles idées d'amélioration émergent. C'est l'entrée dans les cycles vertueux du progrès permanent, qu'il faut s'employer à pérenniser. La démarche du Lean Manufacturing se développe progressivement au sein des entreprises industrielles et se traduit par la mise en place d'un ensemble de techniques visant à éliminer toutes les activités à non-valeur ajoutée afin d'améliorer la productivité. La chasse aux mudas amène au déploiement d'un certain nombre d'outils tels le SMED (Single Minute Exchange or Die), le Kanban, les 5S ou encore la TPM.

I.4 Six sigma

Si on applique le Six Sigma comme **méthode statistique**, on peut alors mettre en avant la définition suivante: La lettre grecque sigma désigne l'écart type. Six Sigma signifie donc « six fois l'écart type ».

Pour atteindre ce niveau d'excellence, le groupe Motorola s'appuie sur les outils de Maîtrise Statistique des Procédés (M.S.P) qu'il applique à tous les processus et crée sa démarche d'amélioration connue sous le nom de « Six Sigma ». Les résultats de la démarche sont impressionnants puisque dans les années qui suivent, Motorola améliore ses niveaux de qualité de 4 à 5,5 sigma et permet l'économie de 2,2 millions de dollars.

I.4.1 Définition

Six Sigma est une méthode rigoureuse, ciblée et très efficace dans l'implémentation des principes et techniques de la qualité (Pyzdek T et Keller P, 2010). Elle vise une performance avec le moins d'erreur. La méthode Six Sigma emploie pour chaque étape des outils statistiques et managériaux (Bounazef, 2012) afin de regrouper le maximum de données mesurables (des données chiffrées, des rapports) et de données qualitatives (problèmes, analyses et idées d'amélioration).

Six Sigma est une méthode de l'amélioration de la qualité des produits et services rendus aux consommateurs. Il faut s'intéresser à ce que souhaite réellement le client. Non pas à ce qu'on pense qu'il souhaite. Il faut être capable de déterminer les caractéristiques critiques pour la qualité (CTQ, pour Critical To Quality) afin de fixer une cible et une plage de tolérance (Azzabi, 2010). Elle contribue à l'accroissement de la rentabilité de l'entreprise par la diminution des coûts de non qualité et l'amélioration de la performance (Mechenene H et Aouag A, 2014). Le principe est d'éliminer les variations et les défauts d'un processus de fabrication.

Cette méthode est aussi une culture qu'une entreprise doit faire adopter dans les différentes fonctions de son organisation. Et ce, afin de sensibiliser tout le personnel des différents niveaux hiérarchiques. Cette approche globale se décline de plusieurs façons.

Six Sigma, c'est :

- Une certaine philosophie de la qualité tournée vers la satisfaction totale du client.
- Un indicateur de performance permettant de savoir où se situe l'entreprise en matière de qualité.
- Une méthode de résolution de problèmes en cinq étapes Définir, Mesurer, Analyser, Innover/Améliorer, Contrôler.
- Une approche qui permet de réduire la variabilité et d'atteindre la cible sur les produits ou dans les services.
- Une organisation des compétences et des responsabilités des hommes de l'entreprise.

I.4.2 Historique du Six Sigma

Six Sigma est non seulement une méthode, mais aussi un système de management centré sur une puissante méthodologie de résolution de problème et d'optimisation des processus. Développée par Mikel Harry chez Motorola au milieu des années 80, la méthodologie n'est devenue bien connue qu'après que Jack Welch, le président de General Electric, l'ait placée au cœur de sa stratégie d'entreprise en 1995. Depuis, de nombreuses entreprises ont fait connaître leur attachement à la démarche Six Sigma (Bounazef, 2012) :

- 1987 : Motorola (inventeur de la méthode) ;
- 1990 : IBM ;
- 1991 : Texas Instruments ;
- 1994 : Allied Signal (Honeywell) ;
- 1996 : Kodak, General Electric ;
- 1998 : Sony, 3M, Toshiba, Nokia, Ford, Dupont ;
- 2000 : Johnson Controls, Cameron, Pioneer Hi Bred International ;
- 2001 : Caterpillar, 3M, Schneider Electric, Delphi ;
- 2002 : Groupe AXA, RCI Banque (Renault), Nissan, Société générale, Textron, RCI, Ingram Micro ;
- 2003 : SFR, CHEP, Home Depot, Tyco Fire & Security, ADT, AXA Investment Managers, Freudenberg, Pitney Bowes, CALETEC, Hager, GC Partner ;
- 2004 : Xerox, Monsanto, Plasticomnium ;
- 2005 : BNP Paribas, MasterCard Worldwide, Nortel, IneumConsulting ;
- 2006 : Orange -France Télécom Group, Eli Lilly, MERIAL ;
- 2007 : DHL et Groupe Deutsche Post ;
- 2008 : Burner System International, Freyssinet, SAFRAN, BELAMBRA ;
- 2009 : Faurecia, Zoomici SA, Renault ;
- 2010 : Groupama Banque, INSIDE Contactless, Metro Cash & Carry France.

I.4.3 Pourquoi le Six Sigma?

Tous les procédés, quels que soit leur degré de précision, sont incapables de produire toujours exactement le même produit. Il y aura toujours une petite variation entre les produits réputés identiques, et ce sont ces variabilités qui conduisent au non qualité. Quelle que soit la machine étudiée et la caractéristique observée, on note toujours une dispersion dans la répartition de la caractéristique (AZZABI L. et al 2008).

Un des principes de base de Six Sigma est la réduction de la variabilité (Figure 1). En effet, l'insatisfaction d'un client résulte toujours d'un écart entre une situation attendue et une situation réelle. Cet écart provient en grande partie de la variabilité des processus, qui trouve son origine, notamment, dans :

- les variabilités sur les matériaux ;
- les variabilités dans les procédures ;
- les variabilités sur les conditions dans lesquelles évolue le processus (Pillet, 2004).

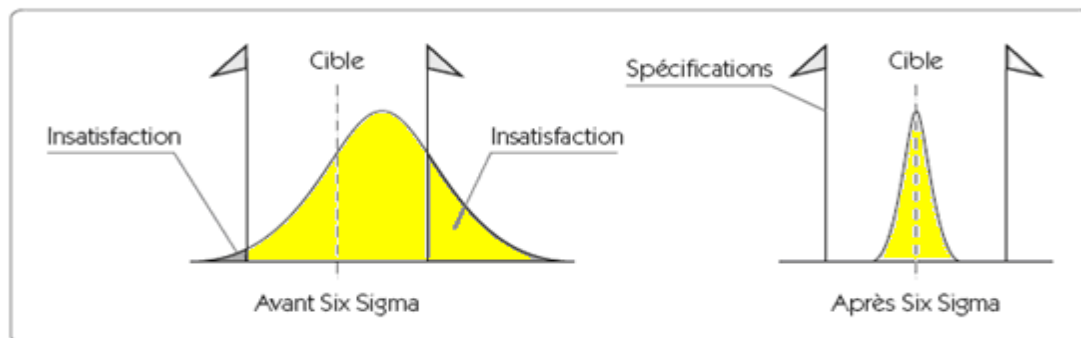


Figure I.1: Six Sigma et la réduction de la variabilité (Pillet, 2004)

Le but d'un projet Six Sigma est de trouver les bonnes solutions et adéquates pour éliminer les causes des défauts et non conformités. Après l'application de la méthode, le processus doit être capable de fabriquer de bons produits (sans rebuts). Ce qui a un impact positif sur le coût des produits (Aouadi, 2016) et améliore directement la productivité de l'entreprise. L'un des points forts de la méthode, est qu'elle exige la fabrication des produits qui répondent aux attentes du client (Pillet, 2004). Et ce, puisqu'elle est fondée sur la réponse aux besoins du client la voix du client et sur des données mesurables et fiables (Aouadi, 2016).

La formalisation d'une démarche structurée à l'intérieur d'une entreprise offre plusieurs avantages :

- Permet de servir de guide dans l'avancement de la résolution du problème ;
- Permet de se doter d'un langage commun à tous les acteurs de l'entreprise ;
- Favorise la démultiplication des actions à un coût de formation réduit.

Cependant, le fait de mieux formaliser une démarche de résolution de problème ne suffit pas à créer une stratégie d'entreprise. Il faut être capable de démultiplier les chantiers pour atteindre

Chapitre1 : Généralité sur Lean, Six Sigma et Lean Six Sigma

l'aspect stratégique. La démarche Six Sigma intègre, donc, tous les aspects de cette démultiplication, au travers :

- Du rôle et de la formation des hommes ;
- De la formalisation de la démarche ;
- De la gestion de projets ;
- Des objectifs stratégiques qui seront fixés.

Six Sigma est une des stratégies les plus puissantes jamais développée pour accélérer les améliorations dans les processus, produits et services, pour réduire de manière radicale les coûts de production et d'administration, et pour améliorer la qualité. On y arrive par une incessante concentration sur l'élimination des gaspillages, sur la réduction des défauts et de la variabilité.

I.4.4 Démarche du Six Sigma

Nous avons vu que six sigma repose sur des notions liés au client et de processus de mesure. La démarche s'appuie en particulier sur :

- Les attentes mesurables du client ;
- Des mesures fiables de la performance du processus ;
- Des outils statistiques pour analyser les causes sources influant la performance ;
- Des solutions attaquant ces causes sources ;
- Des outils pour contrôler que les solutions ont bien l'impact escompté sur la performance.

La démarche se base ainsi sur 5 étapes qui se contractent dans l'acronyme : DMAIC ou DMADV

- **DMAIC**: Define, Measure performance, Analyze, Improve performance, Control.

Méthode utilisé pour améliorer un processus existant.

- **DMADV**: Define, Measure, Analyze, Design, Verify.

Méthode utilisée pour mettre en place de nouveaux processus.

I.5 Concept Lean Six Sigma

Le concept Lean Six Sigma (LSS) a été publié pour la première fois en 2002 dans le livre de M. George « Lean Six Sigma: combining Six Sigma with Lean Speed » (George et al. 2006). Mais en fait, le LSS réalise l'intégration et la synthèse d'une longue histoire de l'industrie manufacturière.

LSS sont de plus en plus appréciés par les grandes entreprises grâce à leur influence favorable sur la productivité et leurs résultats qualitatifs et financiers. Par conséquent, il participe au renforcement de leur position sur le marché. Cette approche permet une appréhension systémique des problèmes de l'entreprise. En conséquence, l'application conjointe du Lean et du Six Sigma permet à chacune de ces méthodes de se compléter et par synergie de renforcer leur efficacité mutuelle pour améliorer le fonctionnement d'une organisation (Figure 2) (Arnheiter et Maleyeff, 2005; Corbett, 2011; George, 2002; Salah et al., 2010; Snee, 2010). D'ailleurs,

Chapitre1 : Généralité sur Lean, Six Sigma et Lean Six Sigma

l'application de la démarche regroupée du LSS est plus efficace que l'emploi séparé du Lean ou du Six Sigma. (Gremyr et Fouquet, 2012; Leseure et al., 2010).

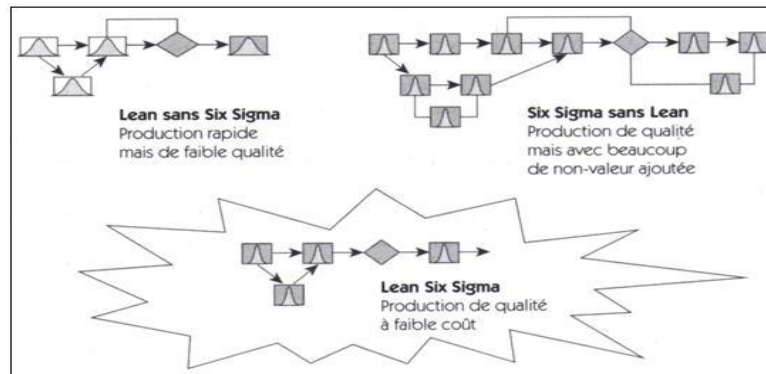


Figure I.2: Complémentarité des méthodes Lean et Six Sigma (Pillet, 2008)

Lean Six Sigma est aujourd'hui une méthode que les entreprises trouvent intéressante, car elle répond à leurs attentes en proposant d'augmenter la productivité et la qualité tout en permettant de réduire les coûts. Cette stratégie est basée sur le principe du "gagnant-gagnant" pour toutes les parties concernées (l'organisation et ses clients). Bien que l'objectif final de ces deux approches soit le même, à savoir la satisfaction du client. Néanmoins, les bases des deux méthodes sont différentes.

Le Lean se concentre sur l'exécution rapide des commandes des clients, tout en garantissant un prix abordable et en améliorant constamment la qualité de ses produits (Antony et al., 2003). L'objectif de Six Sigma est d'augmenter radicalement la qualité des évaluations de processus du point de vue du client en réduisant la variabilité du processus (Critical-To-Quality).

Le Lean ne considère la variabilité qu'en termes de qualité, alors que Six Sigma permet de mesurer et de contrôler ensuite la variation (Leseure-Zajkowska et Grudowski, 2009).

Les quatre principes directeurs du Lean Six Sigma sont résumés dans la figure 3 :

- Pour répondre aux demandes des clients, les processus organisationnels doivent être améliorés en réduisant la variabilité et le gaspillage ;
- Travailler en équipe pour trouver des solutions et être plus efficace ;
- Prendre des décisions basées sur des données ;
- Satisfaire les clients en leur fournissant rapidement des biens ou des services de haute qualité et répondant à leurs attentes (George et al., 2006 ; Karaszewski, 2006).



Figure I.3: Piliers du concept Lean Six Sigma (George et al, 2006)

I.5.1 Principe de Lean Six Sigma

Lean Six Sigma repose sur cinq principes qui permettent une application efficace (George et al. 2006) :

- Loi n°1 - la loi du marché : « Les besoins des clients définissent la qualité et constituent la priorité absolue en matière d'amélioration » ;
- Loi n°2 - la loi de la flexibilité - stipule que « la vitesse de tout processus est proportionnelle à sa flexibilité » (c'est-à-dire la facilité avec laquelle les gens peuvent passer d'une tâche à une autre) ;
- La loi n°3 - loi de la concentration - stipule que « les informations montrent que 20% des activités au sein d'un processus causent 80% des problèmes et des retards » ;
- Loi n° 4- la Loi sur la vitesse ou "Loi des petits": « La vitesse de tout processus est inversement proportionnelle à la quantité de travaux en cours » ;
- Loi n°5 - la loi sur la complexité et le coût : « La complexité d'une offre de service ou de produit ajoute généralement plus de coûts et de travail permanent qu'elle ne pose de problèmes de qualité (un sigma faible) ou de lenteur (contrairement au Lean) ».

I.5.2 Domaine d'application du Lean Six Sigma

Selon M. George (George et al. 2006) considéré comme le gourou du Lean Six Sigma, cette méthode peut apporter de nombreux avantages pour toute organisation. Il estime que LSS est efficace pour rendre une entreprise plus rentable, en augmentant ses recettes, en réduisant les coûts, le délai de livraison et les stocks et en améliorant la satisfaction client. Le concept LSS peut également servir à développer les compétences du personnel pour mieux prendre des décisions, résoudre des problèmes et travailler en équipe. L'impact du LSS peut aussi concerner l'organisation du poste de travail. Ce qui permet d'apporter des solutions d'ergonomie et d'hygiène et d'augmenter la productivité et la satisfaction du personnel (George et al., 2006).

La méthode Lean Six Sigma a été implémentée avec succès dans les grands groupes, comme par exemple Caterpillar, GE, Honeywell, International Truck, ITT Industries, NCR, Northrop Grumman, Lockheed Martin, Rockwell et Raytheon (George, 2002).

I.5.3 Apports du Lean Six Sigma aux entreprises

Les apports sont résumés par les 3P Performance, Productivité et Profits. La méthode Lean Six Sigma apporte des gains directs pour l'entreprise ainsi que la satisfaction des clients, renforçant leur fidélisation. Elle permet une meilleure exploitation des ressources humaines, financières et des outils de production afin d'améliorer la performance. Elle permet également d'accroître la productivité par la réduction de la non-qualité. Lean Six Sigma crée une ainsi dynamique de progrès continu permettant de lancer des projets de grande ampleur tel que des nouveaux produits ou nouveaux processus, augmentant ainsi la compétitivité de l'entreprise et donc de ses profits.

I.5.4 Outils du Lean Six Sigma

Résoudre un problème nécessite de s'appuyer sur un grand nombre d'outils existants, adaptés à la situation et à l'objectif recherché. Un outil de gestion de la qualité est un ensemble cohérent de dispositions pratiques mises en place dans l'entreprise en vue d'améliorer les performances d'une ou de plusieurs caractéristiques d'un produit ou service (Azzabi, 2013).

Les Outils du Management de la Qualité (OMQ) sont des outils orientés vers les activités génératrices de solutions. Ils sont un complément aux 7 outils classiques de la qualité (les outils de première génération), destinés aux données quantitatives (feuille de relevé, diagramme de Pareto, diagramme causes-effets, graphiques et histogrammes, cartes de contrôle, remue-méninges, QQCQP). Il s'agit des moyens mis en œuvre dans les actions d'amélioration. Ce sont des outils classiques de résolution des problèmes.

Par ailleurs, d'autres outils de gestion de la qualité ont vu le jour, également appelés nouveaux outils de gestion de la qualité (outils de deuxième génération) (diagrammes d'affinité, diagrammes de relations, diagrammes matriciels, diagrammes en arbre, décision, diagrammes fléchés (ou sagittaux), analyse factorielle des données). Ils ont été mis au point au Japon en complément des 7 outils classiques de la qualité.

Ils permettent de comprendre des situations complexes et d'élaborer des plans connexes.

Combiner les deux approches Lean et Six Sigma crée une boîte à outils puissante pour aborder la réduction des déchets. ci-dessous quelques outils essentiels que le chef de projet en Lean Six utilise au quotidien.

I.5.4.1 Cartographie des processus

La cartographie du processus est un moyen de réaliser une analyse de processus en illustrent les flux physiques et d'informations depuis les approvisionnements en matières premières jusqu'au client. La cartographie par la boîte noire (Figure I.4) est un moyen pour montrer les variables d'entrée (les X) et les variables de sortie (les Y) et bien aussi les facteurs bruits qui perturbent le processus en plus des facteurs de pilotage qui sont pour l'ajustations des Y.

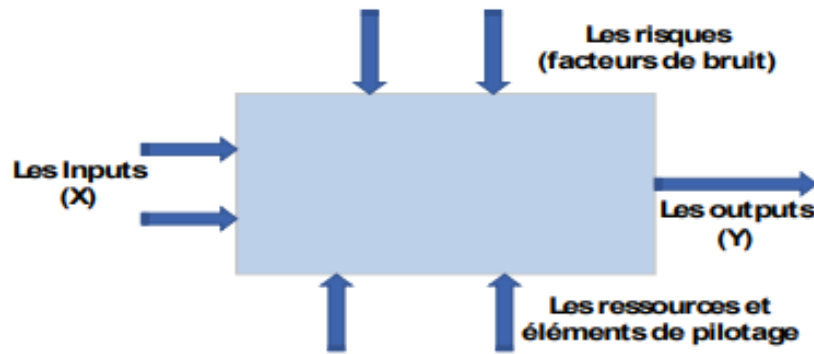


Figure I.4: Boîte Noire

I.5.4.2 Méthode QQQQCP

Cet outil permet à un groupe de travail de poser les bonnes questions visant à identifier, comprendre et cerner tous les paramètres qui influent négativement sur la performance d'un processus. Cette méthode s'élabore en 7 étapes :

- Étape Quoi ? : Cette étape permet de cerner le problème en définissant l'objet de l'aléa, le type d'opération ainsi que la nature du problème
- Étape Qui ? : Il s'agit d'identifier les acteurs concernés selon leur niveau hiérarchique, leur appartenance à une fonction, leur qualification, leur rôle et responsabilité, etc.
- Étape Où ? : Dans cette étape, il est important d'identifier le lieu où ce problème se produit. ▪ Étape Quand ? : Après la détermination du lieu, il faut savoir la fréquence et la durée d'apparition du problème
- Étape Comment ? : Cette étape permet de comprendre comment est-ce que l'équipe de travail doit procéder afin d'éliminer ce problème en définissant le matériel, les matières et méthodes adéquates
- Étape combien ? : Il s'agit de mentionner le nombre de fois où ce problème a lieu d'être dans un espace de temps donné
- Étape Pourquoi ? : Cette dernière étape permet de comprendre les raisons poussant à ce que ce problème se passe comme il se passe.

Le QQQQCP peut être utilisé aussi pour bâtir le plan d'action d'une solution proposée.

I.5.4.3 Diagramme de causes-à-effets

Le diagramme de causes-à-effets, appelé aussi diagramme d'Ishikawa, diagramme des 5M ou diagramme en arêtes de poisson. Il vise à montrer le problème (effet) d'un côté, et ses causes potentielles qui pourraient le causer de l'autre côté. Les causes de ces dysfonctionnements ou problèmes sont regroupées en 5 grandes familles, appelées 5M, afin de les représenter de manière claire et structurée :

Chapitre1 : Généralité sur Lean, Six Sigma et Lean Six Sigma

- Main-d'œuvre : analysez les acteurs (employés) impliqués dans n'importe quelle catégorie et niveau de processus primaires ou secondaires ;
- Matériel : analyse du matériel, des machines, des sites, etc. ;
- Matériaux : analyse de tous les consommables tels que les matières premières ou tout autre matériau qui sera transformé par le procédé ;
- Méthodes : analyser la gestion, la gestion et la façon dont elle est effectuée oralement ou par écrit, par exemple les procédures et les descriptions de poste ;
- Milieu : analysez l'environnement physique et humain, les conditions de travail et les aspects relationnels entre les employés tels que la résilience, les styles de leadership, la résolution de crises et de conflits, etc.

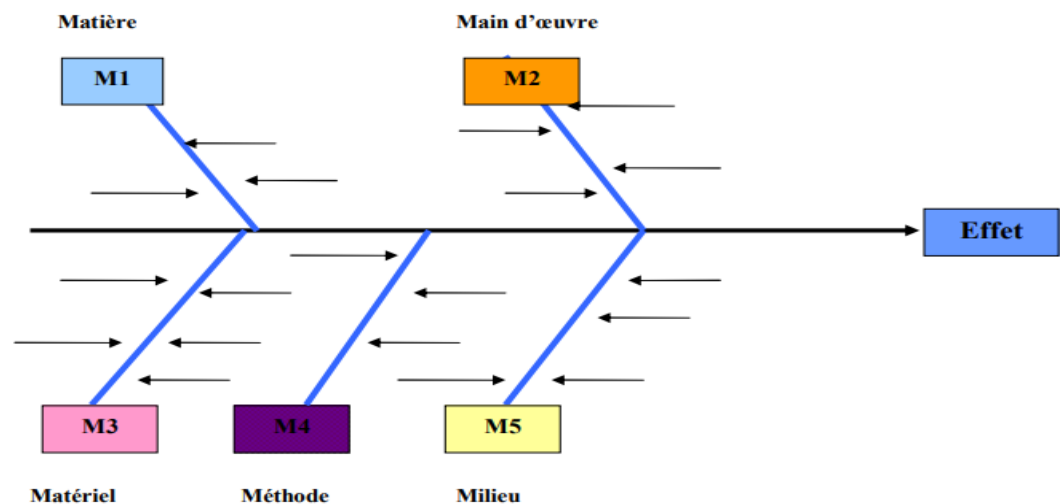


Figure I.5 : Diagramme d'Ishikawa

I.5.4.4 Histogrammes

L'histogramme permet de représenter les données sous forme graphique. Chaque barre est proportionnelle à la fréquence d'occurrence d'une valeur dans la classe. Il permet d'identifier l'existence de modèles applicables (lois normales, lois de défauts de forme, etc.). Il montre également la relation entre la valeur enregistrée et la valeur de référence (nominale, mini, maxi).

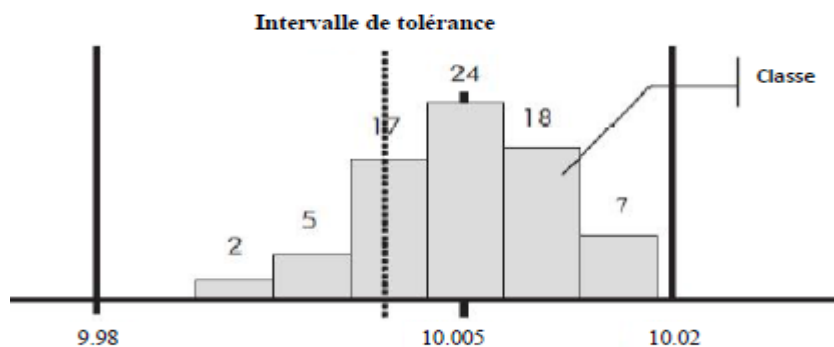


Figure I.6: Histogramme

I.5.4.5 Diagramme de Pareto

Le diagramme de Pareto est un histogramme qui classe les causes des problèmes selon l'importance de leur fréquence. Son but est de mettre en vitrine les principales causes influant sur un processus donné. Ce diagramme s'appuie sur la loi des 80/20 qui suppose que 20% des causes sont à l'origine de 80% des problèmes.

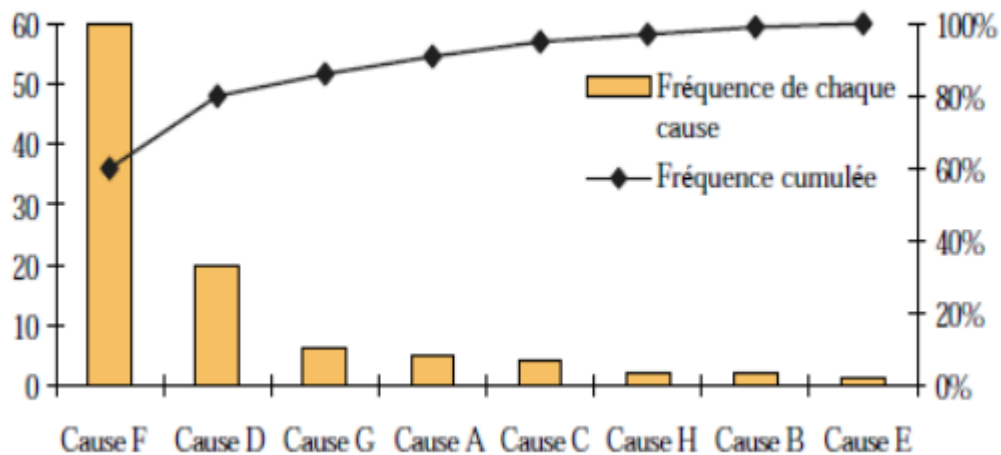


Figure I.7: Modèle du diagramme de Pareto

Pour construire un diagramme de Pareto, on suit ces étapes (Almamma W et Labadi R, 2017) :

- Étape 1 : Sélectionnez soigneusement les données qui seront utilisées (défauts, activités, produits, dimensions, dommages, etc.) ;
- Étape 2 : Décider la période qui sera couverte ;
- Étape 3 : Totaliser la fréquence de chaque type de phénomène sur la période sélectionnée, la somme de chaque type sera affichée par taille de colonne ;
- Étape 4 : Tracer le graphique à l'aide d'un logiciel statistique tel qu'Excel. Après avoir introduit les fréquences dans le tableau, le logiciel triera les colonnes par ordre décroissant ;
- Étape 5 : Tracez une ligne pour afficher l'accumulation ;
- Étape 6 : Projetez la valeur de 80 % à travers une ligne sur la colonne pour déterminer quel élément traiter.

I.5.4.6 Charte de projet

Une charte projet est utilisée pour résumer les éléments clés d'un projet Lean Six Sigma. C'est un outil très important car il permet de définir clairement les problèmes, de fixer des objectifs, de constituer des équipes de projet et des calendriers. Une charte de projet ou « project charter » en anglais est un document vivant. Il doit être revu et validé par le chef de projet à chaque étape du projet.

Projet		
Client intéresser		
Gains mesurable et non mesurable		QOQOCCP
Groupe de projet	Nom	Grade/Rôle
Planification de projet	Étape	Date
	Définir	De JJ/MM/AAAA Au JJ/MM/AAAA
	Mesurer	//
	Analyser	//
	Améliorer	//
	Contrôler	//

Figure I.8: Charte de projet Six Sigma

I.5.4.7 Brainstorming

Les séances de brainstorming, ou soi-disant déballage d'idées, consistent à réunir de nombreux employés pour trouver des solutions à un problème donné. Le brainstorming est un outil essentiel qui peut être appliqué dans plusieurs étapes d'un projet LSS. Cet outil peut être utilisé dans l'étape de mesure pour créer un plan de collecte de données. Il peut aussi générer des solutions d'amélioration créatives pendant la phase d'innovation. Les séances de brainstorming sont organisées en cinq étapes :

- 1) Sélectionnez les participants.
- 2) Rédigez votre question en une phrase. Posez le problème au groupe sous forme de questions.
- 3) Écrivez les idées au tableau. Vous pouvez utiliser différentes représentations telles que les diagrammes d'Ishikawa, FTA (FaultTreeAnalysis) ou des post-it.
- 4) Regroupez les idées par sujet.
- 5) Demandez au groupe de hiérarchiser les idées pour identifier les solutions à essayer en premier.

I.5.4.8 Cartes de contrôles

Une carte de contrôle est un outil visuel pour le suivi de la stabilité d'un processus.

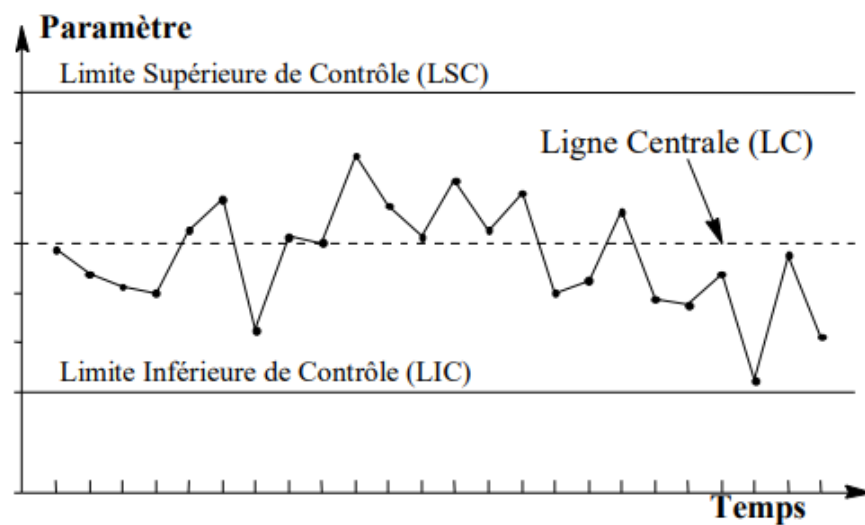
Il existe différentes formes des cartes de contrôle:

Cartes aux valeurs sont utilisées lorsque la caractéristique suivie est mesurable

- Carte ($\bar{X}$, R): on étudie la moyenne et l'étendue ;
- Carte ($\bar{X}$, S): on étudie la moyenne et l'écart type ;
- Carte (I, MR) : carte à la moyenne mobile (lorsque la taille de l'échantillon est égale à 1).

Cartes aux attributs utilisés pour suivre la qualité des unités produites selon un jugement binaire se limite à conforme/non-conforme

- Carte p : suivi des proportions de non conformes ;
- Carte np : suivi des nombres de non conformes ;
- Carte c : suivi des nombres de défauts.



FigureI.9: Carte de contrôle

I.6 Conclusion :

Dans cette section, nous avons présenté les concepts de base de la qualité en tant qu'outils d'amélioration et de management de la qualité totale. Nous nous sommes concentré sur deux méthodes de l'amélioration continue, en l'occurrence le six sigma et le Lean Manufacturing ainsi que l'importance de leur union. Les LSS a été développée, à l'origine, par Motorola qui cherchait à améliorer ses processus de fabrication. Cette méthode rencontre actuellement un grand succès dans tous les domaines. Ces outils sont constamment actualisés et mis à jour.

Chapitre 2

Etat de l'art des différents contextes d'utilisation des approches Lean Manufacturing et Six Sigma

Chapitre2 : Etat de l'art des différents contextes d'utilisation des approches Lean Manufacturing et Six Sigma

II.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter un état de l'art portant sur l'utilisation des approches LSS dans les problèmes d'amélioration de la production d'une manière générale. En outre, ce chapitre est consacré à une revue de la littérature permettant de décrire et justifier la progression et le développement de cette méthode ainsi que son utilisation dans différents contextes.

II.2 État de l'art

Les problèmes liés à l'amélioration des processus sont parmi les problèmes les plus étudiés au niveau de la littérature scientifique et managériale. Et ce, à cause des challenges auxquels fait face l'industrie actuelle sous toutes ses formes.

À cet effet, nous avons présenté une recherche bibliographique et nous avons cité quelques études et approches développées à base du LSS dans les différents contextes de l'amélioration continue. Pour donner une vision claire sur l'ensemble des lectures effectuées au cours de notre recherche bibliographique, notre état de l'art est organisé en deux parties. Chaque partie présente un contexte d'utilisation des approches LSS. Ceci est expliqué dans la Figure ci-dessous :

- Dans la première partie, nous avons présenté des travaux basés des applications approches Lean Manufacturing et Six Sigma. Ainsi que le contexte de leurs utilisations.
- Dans la deuxième partie, nous avons présenté des recherches qui mettent en valeur les outils du LSS développés pour l'amélioration des processus.

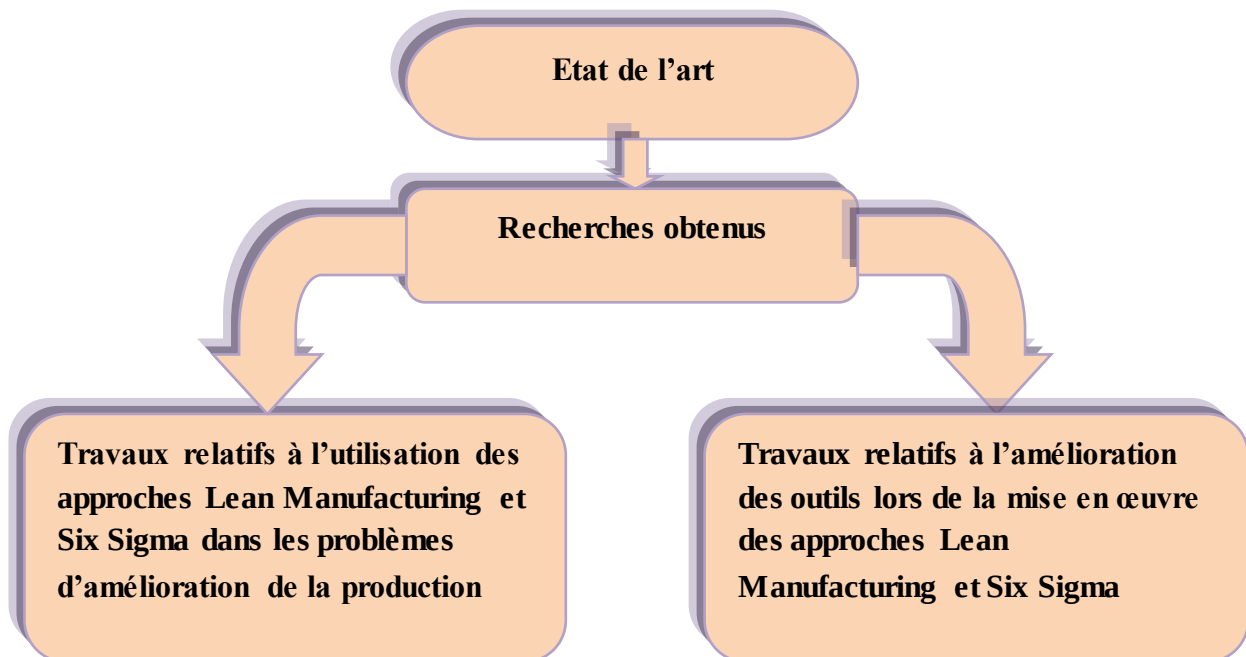


Figure II.1: Méthodologie de recherche

II.2.1 Travaux relatifs aux application du LSS

Lean Manufacturing et Six Sigma sont devenus des approches intéressantes et puissantes pour répondre aux besoins attendus par les entreprises industrielles. Et ce, en offrant des améliorations au niveau de la productivité, de la qualité, du temps de production tout en permettant des économies(Zajkowska 2012).

Chapitre2 : Etat de l'art des différents contextes d'utilisation des approches Lean Manufacturing et Six Sigma

Le tableau suivant illustre la complémentarité des deux approches par la présentation des objectifs, des outils et les résultats attendus.

LeanManufacturing	Six Sigma
Objectifs principaux : - Eliminer les gaspillages - Rapidité avec moins de ressources. Outils exploités : - 5S - Analyse de la valeur ajoutée - Juste à temps. - Kaizen. Résultats - Résultats visibles à court terme, vers pérennisation.	Objectifs principaux : - Réduire la variabilité. - Qualité. - Approche analytique et rationnelle, résolution des problèmes complexes. Outils exploités : - Voix de client(VDC). - Statistique. - Outils par étapes du DMAIC (Ishikawa, AMDEC). - Carte de contrôle Résultats - Gains relativement rapides. - Résultat à moyen et long terme

Tableau II.1: Comparaison Lean Manufacturing et Six Sigma(Nicolas. V, 2009)

C'est donc pour mieux satisfaire le client que les deux approches sont développées en parallèle dans les entreprises. De nos jours, le Lean Six Sigma connaît un grand succès dans tous les domaines.

Cette partie de notre état de l'art est effectuée selon les perspectives des approches Lean Manufacturing et Six Sigma qui concerne la réduction de gaspillage et l'amélioration de la qualité du produit dans les processus de fabrication.

BOUNAZEF (2012), a appliqué la méthode Six Sigma au sein de Chiali Tubes localisée à Sidi Bel Abbès. Elle fabrique des canalisations thermoplastiques en PVC et PE. L'application a été faite sur un réel système de management intégré, suivant la logique de l'entonnoir. Le cas choisi rentre dans le cadre des exigences de la norme ISO 14001.Elle a analysé les causes de déchets qui engendrent les arrêts machine d'un processus de production continue, en utilisant la méthode DMAIC. Le but de ce projet a été de réduire l'impact de la fonction commerciale, maintenance et technique sur la perte de production. Le résultat est que des solutions sont proposées afin de réduire l'impact de ces facteurs sur la performance du processus de production comme : la fonction commerciale doit mettre en place une classification des clients selon leurs échéances. La fonction maintenance doit former et sensibiliser ses employés aux valeurs QHSE. L'intégration de logiciels comme PICAT, MTBF et ACTIF POWER sont nécessaires dans l'amélioration du management des programmes prévisionnels et curatifs de la maintenance.

Chapitre2 : Etat de l'art des différents contextes d'utilisation des approches Lean Manufacturing et Six Sigma

Azzabi(2012), a appliqué la méthode Six Sigma dans une entreprise Tunisienne dans le secteur automobile (SIDILEC international). Et ce, afin d'améliorer son processus de production et en particulier le processus de la coupe, avec une nouvelle vue basée sur la contribution intégrée des outils multicritères d'aide à la décision ; à savoir, les méthodes élémentaires, les méthodes d'optimisation mathématique et les méthodes d'aide à la décision multicritère) dans la démarche Six Sigma :

- ✓ Le premier apport consiste à intégrer la méthode Macbeth dans l'étape « analyser » afin de hiérarchiser les causes de dysfonctionnement de système de production. Une telle hiérarchisation permet une meilleure évaluation des degrés de gravité de chaque cause.
- ✓ Le deuxième apport est l'intégration de la méthode A.H.P. pour classer les solutions dans l'étape Améliorer afin d'aider à sélectionner les solutions.

.Martinez(2014), a permis d'identifier, surtout, de prouver l'efficacité du LSS comme une démarche d'amélioration dans l'industrie de la construction navale. Le but de cette étude est de proposer une seule démarche (sans qu'elle dépende de chaque problème différent). Cette étude confirme le DMAIC comme démarche plus appropriée.

Rohani et al. (2015), ont utilisé l'outil VSM (Value Stream Mapping) pour identifier et éliminer le gaspillage au niveau d'une ligne de production. Les résultats obtenus ont montré des améliorations dans les délais de production et dans la valeur ajoutée.

Benchabib et al. (2016), ont appliqué le Lean Manufacturing au sein d'entreprise de NCA(Nouvelle Conserverie Algérienne) Rouiba. Ils ont étudié les pertes des bouteilles d'emballage. Il ont sélectionné les équipements les plus critiques par une analyse de Pareto selon leur temps d'arrêt, et la méthode de « Weibull » afin d'analyser la fiabilité d'un des équipements les plus critiques. En dernier lieu, une analyse de la flexibilité des flux physiques d'état actuel du processus est établie afin de réduire le takt time et le délai de production. Le résultat est une amélioration ciblée vers «l'état futur du système » exprimé par une cartographie VSM de l'état futur qui inclura les résultats de tous les outils utilisés dans le projet.

Bélangier (2015), a étudié l'apport de déploiement de la méthode « Design for Lean Six Sigma » dans un centre hospitalier d'un établissement de santé du Québec. L'objectif de ce déploiement est de : Valider le déploiement du LSS par une application concrète au centre de prélèvements du CSSSTR (Centre de santé et de services sociaux de Trois-Rivières). L'auteur a utilisé la méthode du DFLSS qui est une modification de la méthodologie DMAIC (pour devenir le DMADV (définir, mesurer, analyser, développer et vérifier). Le but est d'Optimiser l'utilisation du DFLSS au centre de prélèvements du CSSSTR par une combinaison des deux méthodes de simulation: la simulation à événements discrets et la simulation réelle pour soutenir le déploiement du LSS, le transfert aux opérations et à la pérennisation du processus.

Aouag(2016), a appliqué des méthodes pour améliorer la performance d'un système industriel (Dysfonctionnement du broyeur). La première se base sur la démarche DMAICS, au niveau de l'entreprise de fabrication du ciment SCIMAT de Ain Touta Batna-Algérie. Il a

Chapitre2 : Etat de l'art des différents contextes d'utilisation des approches Lean Manufacturing et Six Sigma

appliquée une deuxième méthode basée sur les coûts pour déterminer le DPMO (défauts par million d'opportunité) et le niveau de sigma correspondant, pour mesurer les niveaux des processus et justifier la compétitivité de l'entreprise. Cette application est réalisée au niveau de l'entreprise Bouteilles A Gaz (BAG) unité de Batna.

Auzémery, (2016) : a mis en place un projet d'amélioration continue au niveau la société Virbac (un laboratoire pharmaceutique exclusivement dédié à la santé animale) sur une ligne de conditionnement secondaire de vaccins, à l'aide d'une démarche DMAIC sur la ligne Bieri. Ce projet a pour but l'amélioration de la productivité, un indicateur utilisé mesurant la performance (TRS) de la ligne, le déploiement de ce projet permis d'identifier les éléments impactant sur le TRS « détermination d'un goulot d'étranglement », un plan d'action est réalisé, où à chaque facteur impactant de manière réelle sur le TRS pour des actions d'amélioration.

Souillard (2018), a illustré l'application du LSS au sein de l'industrie pharmaceutique « Prodpharma ». Le déploiement de cette méthode avait pour objectif de résoudre lié à la viscosité du produit fini qui est supérieure aux spécifications d'une solution à usage externe. le but de ce travail est de trouver la cause racine de cette défaillance et rendre le produit conforme aux spécifications de l'AMM (Autorisation de Mise sur le Marché).

Chergui et al. (2018), ont appliqué la méthode DMAIC sur la ligne de production du lait au niveau de l'entreprise Laiterie ELAMIR, sise à Tizi. Ce travail avait pour objectif d'analyser et améliorer la disponibilité de la machine Thimonnier (une Machine automatique qui forme, remplit, scelle et coupe la poche (sac) de lait). Les auteurs ont posé le problème de dysfonctionnement de la machine Thimonnier et étudié sa fiabilité par le modèle WEIBULL. Par la suite, ils ont fait une analyse par la méthode AMDEC des différents éléments qui pénalisent le bon fonctionnement de la machine. La solution d'amélioration proposée dans cette démarche est l'élaboration d'un plan de maintenance préventive efficace pour maintenir le bon état de la machine Thimonnier.

Abbas et al. (2019), ont appliqué la méthode Six Sigma au sein de l'entreprise CERAM Divindus (unité de Ghazaouet). Ils ont suivi la démarche DMAIC pour réduire le taux élevé de rebut de quelques produits. Après une investigation sur les produits et les défauts sélectionnés, ils ont conclu que la qualité de la barbotine est considérée comme source initiale des défauts, la viscosité et la thixotropie ne sont pas stables et beaucoup de valeurs dépassent les limites fixées par le service laboratoire. Pour régler toutes les sources de défauts et d'améliorer le taux de rebuts, des cartes de contrôles sont appliquées.

II.2.2 Travaux relatifs à l'amélioration des outils du LSS

Dans l'industrie actuelle, la complexité des systèmes de production en termes du nombre de barrières traitées et des objectifs établis augmentent le degré de difficulté de la mise en œuvre des approches Lean Manufacturing et Six Sigma. Pour y remédier, diverses méthodes, outils et approches sont utilisés pour simplifier le processus d'application des approches Lean Manufacturing et Six Sigma.

Chapitre2 : Etat de l'art des différents contextes d'utilisation des approches Lean Manufacturing et Six Sigma

Yousefi and Hadi-Vencheh (2016) ont proposé un cadre méthodologique basé sur les approches multicritères et l'approche Six Sigma pour réduire le risque d'échec dans la sélection des solutions appropriés dans les projets six sigma.

Yadav et al, (2017) ont proposé une étude analytique pour l'identification et priorisation des barrières LSS pour une mise en œuvre productive. L'étude débute par la collecte des barrières à partir de la littérature ainsi que des opinions d'experts des différentes industries. Ensuite les barrières identifiées sont hiérarchisées en utilisant l'approche AHP floue.

Ratlalan et al, (2018) ont intégré la méthode VSM avec la méthode analyse hiérarchique du processus (AHP) pour faciliter l'élimination du gaspillage dans un processus de fabrication. La méthode VSM a été utilisée pour l'évaluation et l'identification de gaspillage, mais la méthode AHP a été introduite pour pondérer et classer le gaspillage identifié.

Gupta et al, (2019) ont fourni un cadre analytique qui illustre l'application d'une méthode de prise de décision multicritères (MCDM) dans la phase d'analyse du modèle DMAIC et élargit la boîte à outils Six Sigma en matière d'application des méthodes basées sur la recherche opérationnelle. L'objectif de cette approche est la hiérarchisation des principaux défauts dans un processus de fabrication.

Raval et al, (2020) ont proposé une approche hybride en utilisant AHP-TOPSIS floue pour prioriser les solutions d'implémentation LSS pour la mise en œuvre réussie du LSS.

Shukla et al, (2021) ont proposé une approche qui vise à traiter un problème de pondération et hiérarchisation d'un ensemble des critères pour la sélection de projets LSS réussis dans une organisation indienne.

Singh et al, (2021) ont présenté une étude qui vise à étudier et à hiérarchiser les facteurs de succès et qui facilitent la mise en œuvre efficace de LSS dans un contexte environnemental des PME.

II.3 Conclusion

Ce chapitre nous a permis de situer le contexte général de notre travail. En effet, nous avons présentées études dans littérature académiques et professionnelles qui montrent un niveau de détail avancé. Elles ont mis en lumière le potentiel d'amélioration des processus de fabrication en utilisant les approches Lean Manufacturing et Six Sigma.

Dans la partie suivante, on va présenter la contribution de l'application d'une méthodologie basée sur l'approche LSS qui est basée sur DMAIC au sein d'entreprise MFG, filiale du groupe Cevital.

Chapitre 3

Mise en œuvre de la méthode LSS pour le traitement des pertes de qualité au sein de l'entreprise MFG

Mise en œuvre de la méthode Six Sigma pour le traitement des pertes de qualité au sein d'entreprise MFG

III.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter l'entreprise d'accueil ainsi que son processus de production et sa politique de détection des pertes de qualité. Ensuite, nous allons entamer l'application de la méthode Six Sigma au sein de l'entreprise Méditerranéen Float Glass (MFG) en suivant les démarches DMAIC et DMADV.

Après la définition du problème, nous allons étudier les données que nous avons collectées et les analyser pour trouver des solutions afin de réduire la variabilité en tout point du processus et d'éviter tout gaspillage.

III.2 Présentation de l'entreprise

Méditerranéen Float Glass ou MFG par abréviation, est une Entreprise Algérienne qui a pour principale activité, la production et la transformation du verre flotté. C'est une filiale du premier groupe industriel privé en Algérie CEVITAL. Elle a été créée en Avril 2007 et exploite la plus grande ligne de production en Afrique et l'unique producteur de verre plat au niveau maghrébin, d'une capacité de 600 Tonnes par jour. MFG est implantée au niveau du site de l'Arbaa dans la wilaya de Blida et a nécessité un investissement de 100 Million d'Euros et fait partie d'un grand projet constitué de 3 lignes de verre plat d'une capacité totale de 642 400 Tonnes par an et de 5 usines de transformation de verre. Sur le plan national, MFG a commencé à commercialiser sa production localement en septembre 2007, Cevital est le plus grand producteur de verre plat en Afrique, classé devant l'Afrique du sud avec une production de 500 Tonnes par jour et l'Egypte avec une production de 400 Tonnes par jour, MFG est le leader du verre sur le marché national. Les exportations du MFG se faisaient principalement à destination de l'Europe du Sud (France, Espagne, Italie, Portugal) et la Tunisie, conquerront avec la 2ème ligne de nouveaux marchés de pays développés et émergents, notamment les pays africains subsahariens mais aussi renforceront le positionnement de MFG dans le Grand Maghreb et le sud de l'Europe. MFG a ainsi positionné l'Algérie comme l'un des plus grands fournisseurs de verre clair et feuilleté en Tunisie, au Maroc et en Espagne.

En 2019, MFG a réussi à gagner plus de 90% de parts de marché en Algérie, 90% en Tunisie et 60% au Maroc.

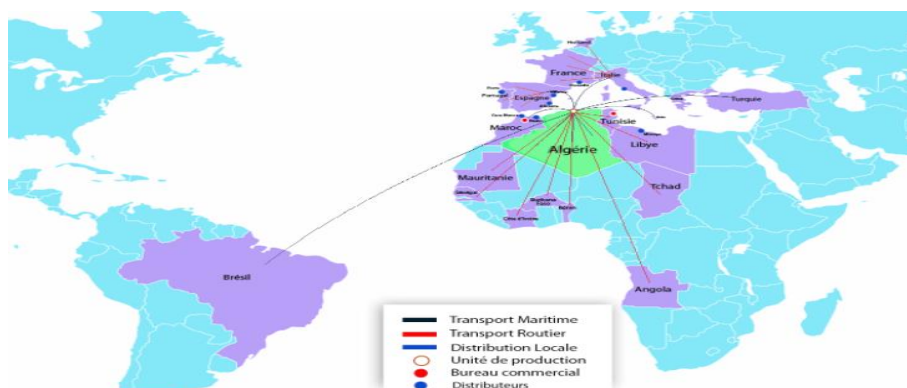


Figure III.1: Réseau de distribution MFG

Mise en œuvre de la méthode Six Sigma pour le traitement des pertes de qualité au sein d'entreprise MFG

III.2.1 Processus de fabrication du verre float

Le procédé « float » est une technologie inventée par Sir Alastair Pilkington en 1952. C'est devenu une méthode standard pour la fabrication du verre plat. Ce procédé prévoit la production d'un ruban de verre en fusion qui flotte sur un bain d'étain liquide. D'abord les matières premières sont dosées et introduites dans le four de fusion. La fusion a lieu à une température avoisinant les 1550 °C. Ensuite, la température est baissée à environ 1100°C à 1300°C. Le mélange arrive alors sur un bain de métal en fusion sur lequel se forme la feuille de verre plane et d'épaisseur constante. À la sortie du bain de métal, la température est de 600 °C, le verre entre alors dans l'étenderie ou four de recuits, où il subit un refroidissement progressif et contrôlé jusqu'à 50 °C, en vue d'éliminer les tensions internes et de permettre la découpe ultérieure du verre. C'est pour cette raison que ce type de verre est appelé verre recuit. A la sortie de l'étenderie, le verre subit encore un contrôle automatique des défauts avant d'être découpé. Le processus est relativement complexe. Le verre flotté est composé de sable, de soude, de chaux et de calcin. Les verres brisés, concassés des chutes forment ledit calcin. L'ajout de ce dernier dans l'ensemble permet d'accélérer la fusion et économise environ 20% d'énergie.

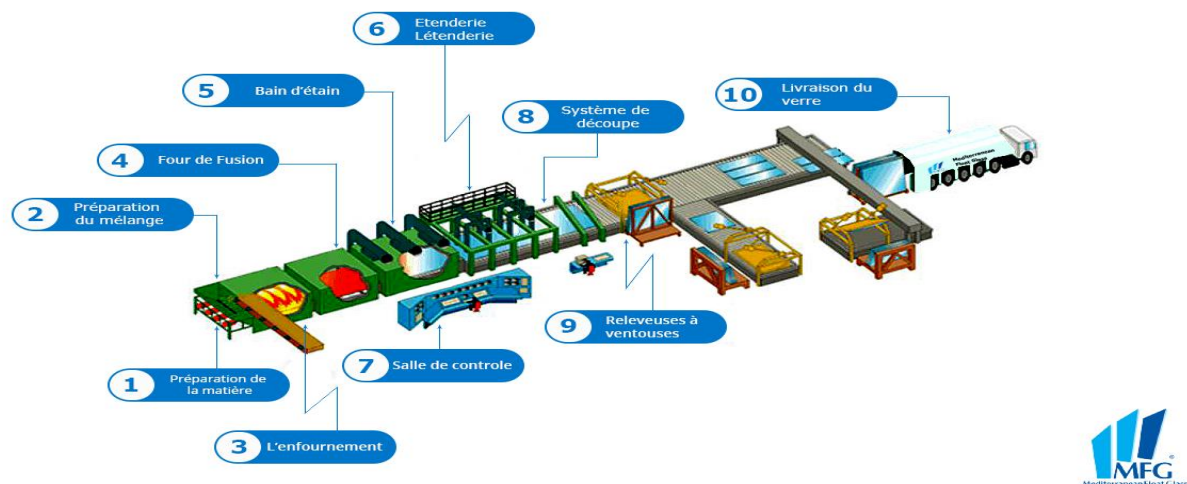


Figure III.2: Schéma illustratif du processus de production du verre float

1. PRÉPARATION DE LA MATIÈRE PREMIÈRE

Un contrôle rigoureux est assuré pour chaque matière première avant son enfournement, selon des standards internationaux reconnus

2. PRÉPARATION DU MÉLANGE VITRIFIABLE

Composé de toutes les matières premières entrant dans la fabrication du verre float.

3. L'ENFOURNEMENT

Introduction du mélange vitrifiable dans le four de fusion.

4. FOUR DE FUSION

Le four construit en briques réfractaires, peut contenir jusqu'à 2 000 tonnes de verre fondus à 1 550 °C.

5. BAIN D'ÉTAIN

Le verre float sur un bain d'étain en fusion. Des roues dentées situées sur les bords du ruban propulsent le verre vers l'avant et définissent l'épaisseur requise.

Mise en œuvre de la méthode Six Sigma pour le traitement des pertes de qualité au sein d'entreprise MFG

6. ETENDERIE

L'étenderie permet au ruban de verre de refroidir dans des conditions soigneusement contrôlées. Ce processus libère les tensions internes du verre et maximise son potentiel en termes de résistance mécanique.

7. SALLE DE CONTRÔLE

Le suivi de toute la ligne se fait à ce niveau via la détection des défauts en automatique, le contrôle de l'épaisseur et des contraintes de verre ainsi que l'optimisation des différents formats de verre.

8. SYSTÈME DE DÉCOUPE

Il sert à découper le verre en différentes dimensions, selon les formats voulus.

9. RELEVÉUSES À VENTOUSES

Ce système permet d'empiler directement les plateaux de verre sur des supports afin qu'ils puissent ensuite être stockés et expédiés

10. LIVRAISON DU VERRE

La remorque équipée de suspensions spéciales et disposant d'une conception spécifique, reçoit le pupitre chargé de plateaux de verres (27 tonnes). L'ensemble est maintenu en position à l'aide de bras articulés ou de coussins d'air.

III.2.2 Pertes de qualité

Les pertes de qualité sont les pertes générées en général par la présence des défauts à l'intérieur du verre se présentant comme des inclusions solides (pierre) et/ou gazeuses (bulle d'air, larme) ou sous forme de déformations optiques. Ces défauts sont le résultat de la mauvaise fusion des matières premières et la grande viscosité du verre qui les empêche d'être évacuer et éliminer à temps, ils font le suivi des pertes de qualité à l'aide d'un automate dédié à cela. La figure suivante donne une vision réelle et instantanée des défauts détectés pendant la journée.



Figure III.3: Photos de l'automate de détection des défauts

Les feuilles en rouge veulent dire que l'automate a détecté un cumul de défauts dans cette partie de surface du verre, ou que le défaut dépasse la norme qualité, soit de taille supérieure. La surface est automatiquement envoyée vers le broyeur et considérée comme calcin. L'autre côté en vert foncé est optimisé en dimensions largeur de fabrication livrée.

Mise en œuvre de la méthode Six Sigma pour le traitement des pertes de qualité au sein d'entreprise MFG

III.3 La démarche DMAIC

Le DMAIC se compose d'un ensemble d'outils successifs, qui permettent de passer d'une problématique complexe (des situations non maîtrisées), à une amélioration et une maîtrise du processus. Ces outils ont été mis en application dans l'entreprise MFG, Le DMAIC permettra d'identifier les causes du non performance, de les évaluer et de mettre en place les actions les plus appropriées pour les limiter. La finalité du projet est d'améliorer le rendement global de l'entreprise afin de renforcer sa compétitivité sur le marché.

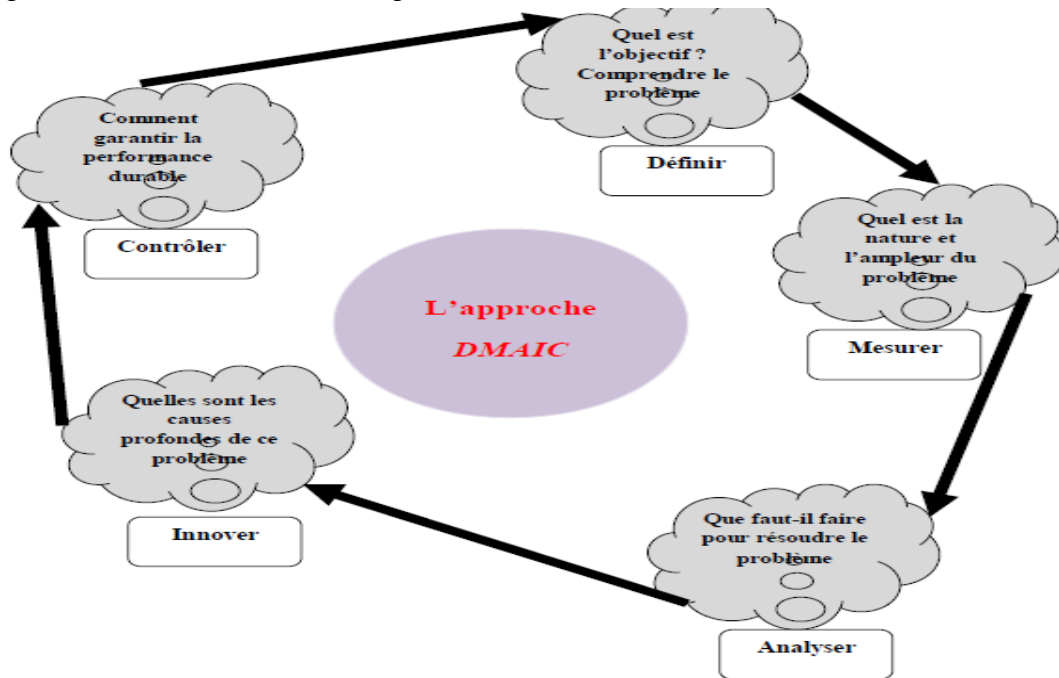


Figure III.4: Démarche DMAIC

III.3.1 Etape définir

Après avoir étudié les rapports mensuels de production Float2 du mois de février et mars 2022 (la période dans laquelle s'est déroulée notre stage au sein du MFG), nous avons constaté que pour le mois de février la tirée totale de la production était à 22523 tonnes avec 17937 tonnes produit finis. Cela signifie un rendement de **79,64%**. Ce dernier a atteint les **72,16 %** en mois de mars avec 20151,43 tonnes de tirée totale et 14541,56 tonnes de produit finis. Ce qui signifie une baisse du rendement global de la production de presque 7% par rapport au mois précédent.

Pour visualiser l'écart des pertes de production des mois de février et mars de l'année 2022, nous avons exploité les données fournies par le responsable de production sur deux histogrammes empilés, comme illustré dans les figures ci-dessous.

Mise en œuvre de la méthode Six Sigma pour le traitement des pertes de qualité au sein d'entreprise MFG

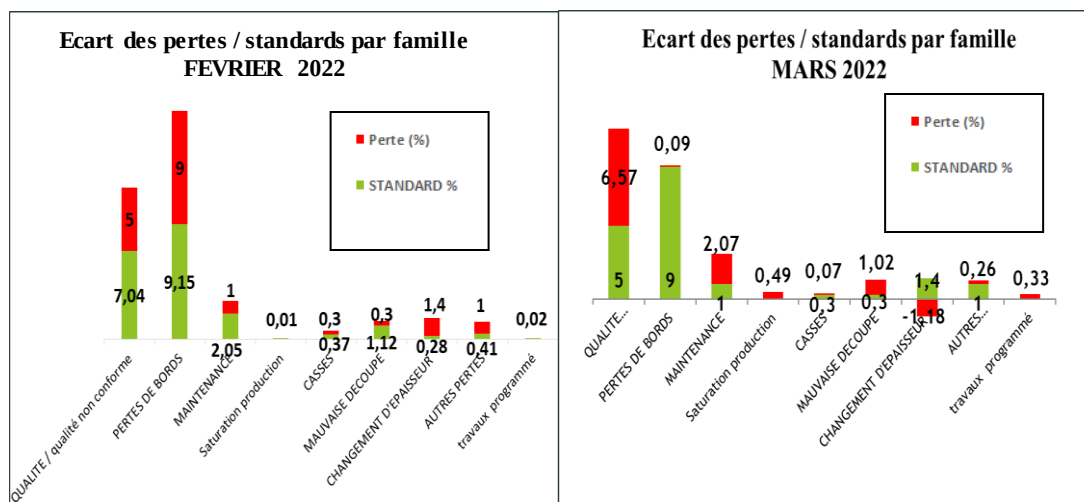


Figure III.5 : Pourcentage des pertes par catégorie (Février et Mars 2022)

En observant les deux histogrammes, nous remarquons que pendant le mois de février 2022 les pertes de bords sont en première position, par rapport au mois de mars 2022. Cependant, les pertes qualité sont les plus élevées parmi toutes les familles des pertes qui existent.

Par comparaison du taux des pertes de qualité du mois de février avec celui du mois de mars de l'année 2022, le taux a passé de **7,04 %** à **11,57 %** des pertes total de production. Pour une entreprise qui veut s'inscrire dans une démarche d'amélioration continue, cette augmentation prouve l'existence d'une défaillance et nécessite des investigations approfondies. En effet, la question qui se pose c'est d'où viennent ces pertes apparues au mois de mars et quels est leur impact sur les coûts de production l'entreprise ?

III.3.1.1 Formulation du problème par un QQQQCP

Le tableau suivant indique les différentes questions possibles : Qui, Quoi, Où, Quand, Comment et Pourquoi ? pour mieux définir le problème.

<u>Question</u>	<u>Réponse</u>
Quoi	Les pertes de qualité aux cours de production du verre float
Qui	les acteurs intéressés par ce problème sont le directeur, le responsable qualité, le responsable de la production, les exécutants de l'unité de production
Où	La ligne de production du float 2 au sein d'entreprise MFG
Quand	Depuis longtemps, mais le problème s'est accentuée pendant le mois de Mars

Mise en œuvre de la méthode Six Sigma pour le traitement des pertes de qualité au sein d'entreprise MFG

Comment	A partir des rapports mensuels de la production float 2 de premier trimestre de l'année 2022
Pourquoi	L'intérêt que porte MFG sur la réduction des taux des pertes rentre dans sa politique qualité. La norme ISO 9001 2015 exige une amélioration continue de processus de production ainsi que la norme NF/EN 572 sur laquelle est défini un produit étant conforme et un produit non conforme au niveau internationale (traite et mesure le nombre et le type de défauts et la qualité de coupe).

Tableau III.1: Formulation de problème par un QQQQCP

III.3.1.2 Charte de projet

Projet	Contribution à l'amélioration du rendement de production du verre float par la diminution des pertes de la non-qualité.	
Client intéressé	Chef de département production et chef de département qualité.	
Groupe de projet	Mr B.MOKERFI	Responsable production (black belt)
	Boughar Ilhem	White belt
	Gaouaoui Rania	White belt
Planification de projet	Etape	Date
	Définir	Du 01/04/2022 au 05/04/2022
	Mesurer	Du 06/04/2022 au 15/04/2022
	Analyser	Du 16/04/2022 au 25 /04/2022
	Améliorer	Du 26/04/2022 au 26/05/2022
	Contrôler	Du 26/05/2022 au 05/06/2022

Tableau III.2: La charte de projet

Mise en œuvre de la méthode Six Sigma pour le traitement des pertes de qualité au sein d'entreprise MFG

III.3.1.3 Cartographie de processus (Boite noire)

La représentation par la boîte noire nous aide à citer tous les éléments qui interviennent dans le processus de production (verre float)

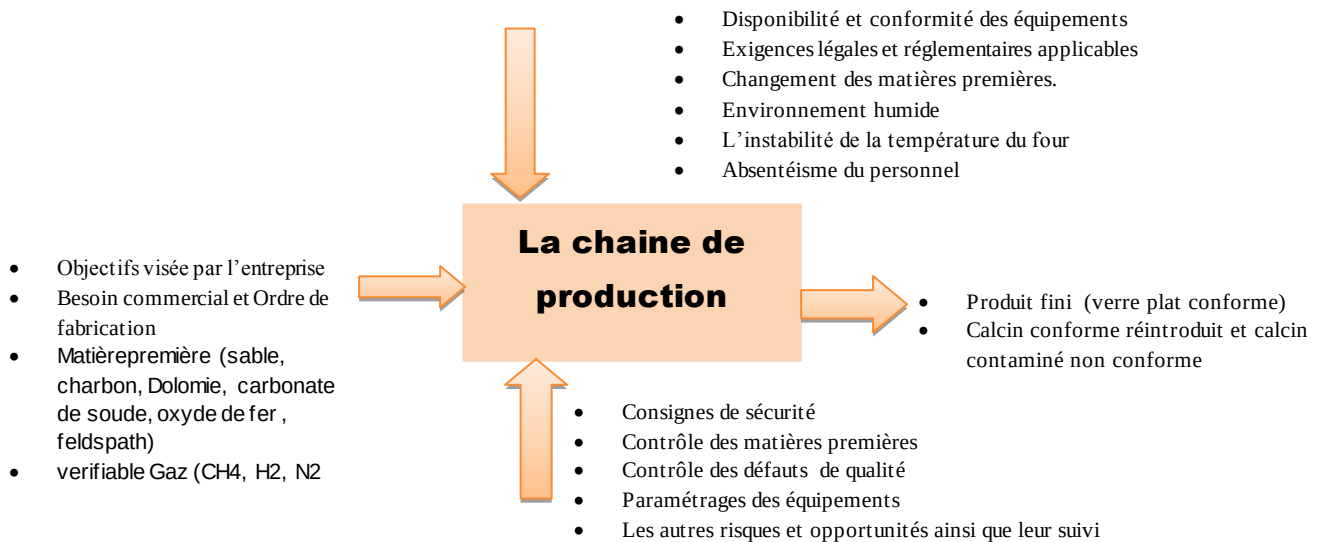


Figure III.6: les éléments de processus de la production

III.3.2 Etape Mesurer

« Ce qui ne se mesure pas n'existe pas » (Niels Bohr)

III.3.2.1 Calcule des indicateurs de performance

Afin de quantifier les effets des pertes de qualité constatées dans l'étape précédente de définir, Nous allons calculer des indicateurs de performances qui illustrent la situation :

III.3.2.1.1 Taux de rendement

On se basant sur le rapport mensuel du mois de mars 2022 on calcule le taux de rendement de la ligne de production float 2.

A partir du rapport mensuel du mois de mars 2022 on calcule le taux de rendement de la ligne

- **Tirée totale = 20151,43 T**
- **Produit finis = 14541,56 T**
- **Taux de rendement = (Produit finis / Tirée totale) * 100 = (14541,56 / 20151,43) * 100 = 72,16 %**

Remarque :

72,16 % n'est pas un chiffre satisfaisant vu que l'objectif visé par les responsables de production est d'atteindre en minimum un rendement de **80,00 %**.

Mise en œuvre de la méthode Six Sigma pour le traitement des pertes de qualité au sein d'entreprise MFG

III.3.2.1.2 Taux de perte de qualité

À partir du tonnage de la tirée totale et des pertes qualité on va calculer le taux de perte de qualité.

- Tirée totale = 20151,43 T
- Perte non qualité = 2331,20 T
- Taux de perte de qualité = $(\text{Perte non qualité} / \text{Tirée totale}) * 100$
 $= 2331,20 / 20151,43 * 100 = 11,57 \%$

Remarque

11.57 % de la tirée totale sort de la ligne de production en tant que calcin, ce chiffre important vu que le standard de l'entreprise est fixé à environ **5%** un écart de **6,57 %** mérite d'être souligné.

III.3.2.1.3 Perte d'énergies

La consommation d'énergie est un défi environnemental pour l'industrie de verre sachant que la production de verre est très consommatrice en énergie d'où 83 % des besoins sont couverts en gaz. D'après le processus de production de MFG un tonne de verre float consomme en moyenne 250 m³ de gaz

Perte de qualité (TONNE)	2331,20
Consommation de gaz (m³ / TONNE)	230
Perte de gaz (m³)	536176

Tableau III.3: Perte en gaz

536176 m³ de gaz sont considéré comme des pertes d'énergies non renouvelables dû à la non-conformité des produits, Les produits non conformes sont réintroduits dans le processus de production du verre mais le volume de gaz consommé n'est plus récupérable.

III.3.2.1.4 Coût de perte de qualité

D'après les résultats précédents on a constaté que ces pertes sont faibles en termes de pourcentage, pour cela on va quantifier ces pertes en termes d'argent.

Pour produire un tonne de verre float MFG doit supporter des charges de 22000.00 DA en moyenne (les charges supportées sont des charges directes et indirectes)

Perte de qualité (TONNE)	2331,20
Cout de production (DA/TONNE)	22000.00
Cout perte qualité (DA)	51286400.00

Tableau III.4: Valeur monétaire des pertes qualité

Mise en œuvre de la méthode Six Sigma pour le traitement des pertes de qualité au sein d'entreprise MFG

Remarque :

Seulement pour le mois de mars 2022 on constate que les pertes qualité ont cumulés environ **51286400 DA**, C'est une somme qui devrait faire peur à l'entreprise.

III.3.2.2 Mesure d'occurrence des défauts de qualité

Pour visualiser la fréquence des défauts de qualité du mois de Mars 2022 on implante les données fournies par le département de qualité (Voir l'annexe 01) sur un tableau puis on trace l'évolution de la fréquence pendant ce mois-ci.

Date	Nombre de défaut	Fréquence des défauts
01/03/2022	36	3,90%
02/03/2022	48	5,20%
03/03/2022	30	3,25%
04/03/2022	35	3,79%
05/03/2022	45	4,88%
06/03/2022	27	2,93%
07/03/2022	19	2,06%
08/03/2022	33	3,58%
09/03/2022	33	3,58%
10/03/2022	45	4,88%
11/03/2022	10	1,08%
12/03/2022	25	2,71%
13/03/2022	26	2,82%
14/03/2022	16	1,73%
15/03/2022	11	1,19%
16/03/2022	49	5,31%
17/03/2022	63	6,83%
18/03/2022	35	3,79%
19/03/2022	32	3,47%
20/03/2022	16	1,73%
21/03/2022	29	3,14%
22/03/2022	23	2,49%
23/03/2022	23	2,49%
24/03/2022	12	1,30%
25/03/2022	23	2,49%
26/03/2022	32	3,47%
27/03/2022	31	3,36%
28/03/2022	18	1,95%
29/03/2022	32	3,47%
30/03/2022	20	2,17%
31/03/2022	46	4,98%
Total	923	100,00%

Tableau III.5: Nombre de défaut par jour

Mise en œuvre de la méthode Six Sigma pour le traitement des pertes de qualité au sein d'entreprise MFG

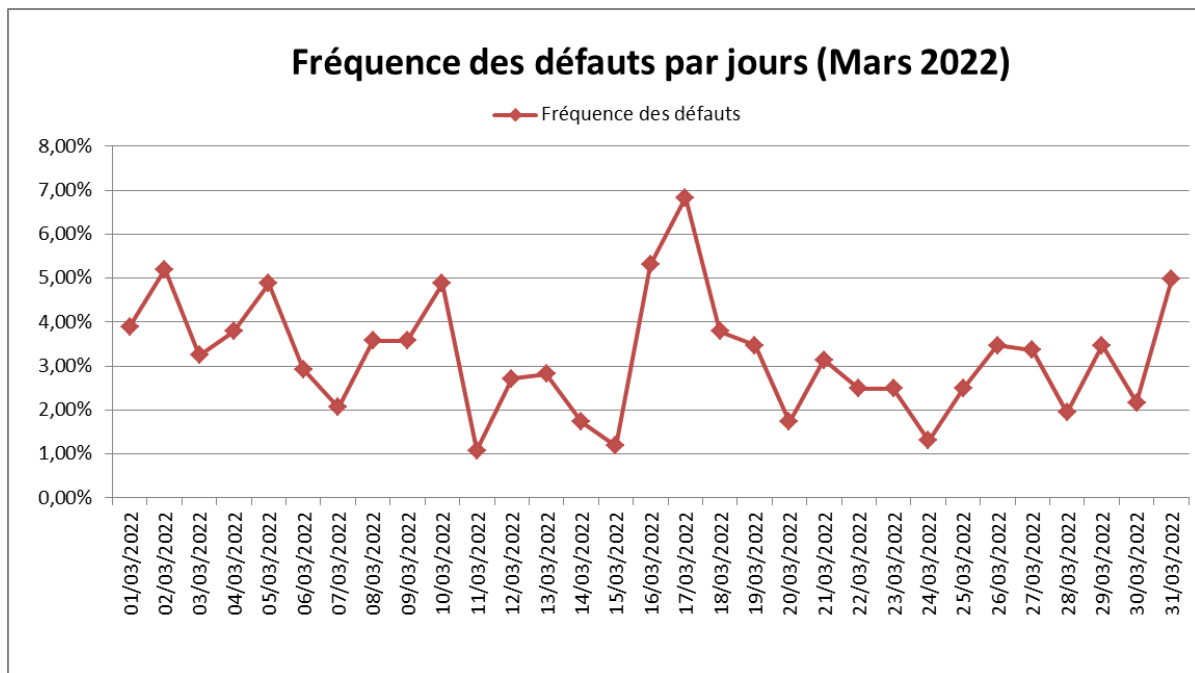


Figure III.7: Pourcentage des défauts par jours en Mars 2022

On remarquant le graphe on voit que l'évolution des défauts n'est pas stable et que le pic des défauts est atteint le 17/03/2022.

III.3.2.3 Mesure du niveau SIGMA

Pour pouvoir progresser, il faut connaître le niveau de qualité actuel. Et ce, afin de se donner un objectif vérifiable. Le SS vise un niveau de qualité que l'on souhaite atteindre. Ainsi, une qualité SS vise 3,4 PPM (Partie Par Million) ou plus précisément DPMO (Défauts Par Million d'Opportunité). Cette notion d'opportunité de défaut renvoie aux défauts potentiels que peut contenir un produit. Dans notre cas, cela est représenté par les classes de défauts que peut contenir un produit (Voir les exigences internes du verre de MFG, Annexe 2). Elles sont en nombre de cinq (05) classe (C1.A, C2.B, C3.C, C4.C, C5.D). Selon les différents types de verre que produit l'entreprise, un produit est jugé défectueux, s'il contient un certain nombre de défaut de chacune des classes citées ci-dessus.

C'est la raison pour laquelle, il est difficile de calculer le nombre de DPMO dans notre cas. Néanmoins, l'auteur M. (Pillet, 2020) propose une autre méthode pour le calculer. C'est en mesurant le z qui représente la dispersion du processus. En fait, un niveau SS correspond à $z = 6$ et correspond à 3,4 DPMO. La formule qu'il propose pour calculer le z du processus actuel est la suivante :

$$z = \frac{LST - \bar{X}}{\sigma}$$

Avec LTS: la Limite de Tolérance Supérieure

$\bar{X} = \sum \frac{X_i}{n}$: représente l'estimateur de la moyenne de la population

Mise en œuvre de la méthode Six Sigma pour le traitement des pertes de qualité au sein d'entreprise MFG

$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$: représente l'estimateur de l'écart type (ET).

Cependant, il est exigé de disposer d'au moins une trentaine de valeurs. Pour cela, nous utilisons les données du tableau 7 qui sont au nombre de $n=31$.

Pour ce qui est de la LTS tolérée des défaillances ou pertes dues à la qualité, nous utilisons la donnée de 5% déduite des calculs des taux de pertes.

Il est à noter que la dispersion étudiée ici est de court terme. Et ce, car un autre échantillon donnera des valeurs différentes de la moyenne et de ET. Le graphe de la figure suivante est le diagramme des fréquences de défauts observées pendant le mois de mars 2022. Il est le résultat du traitement des données précédentes en histogramme. Le nombre de classe est approximé par la méthode STRUGES.

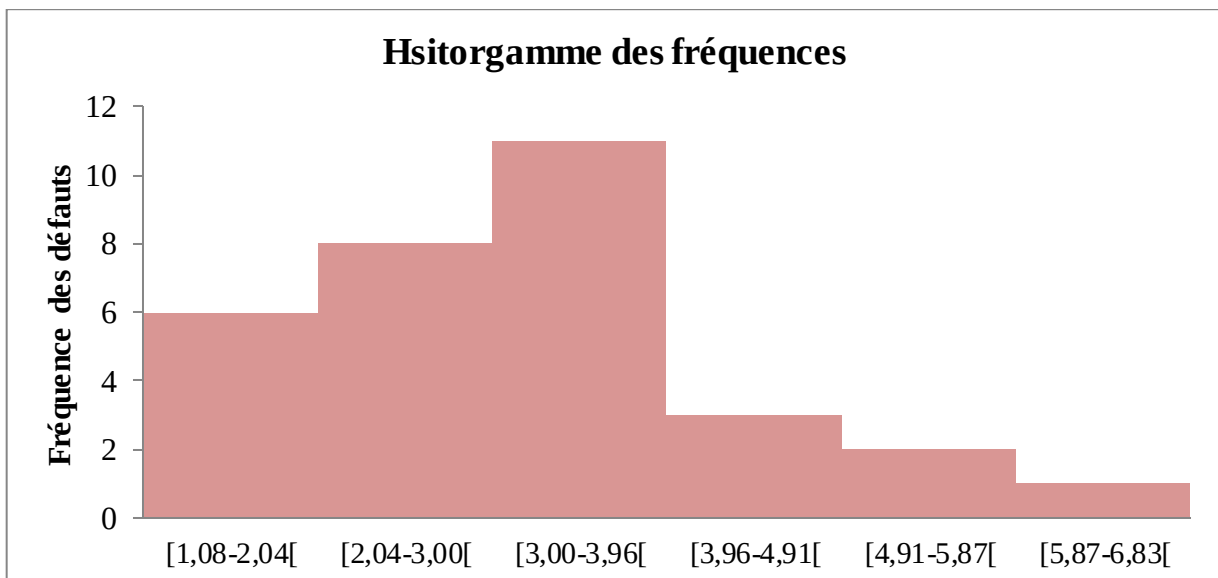


Figure III.8 : Fréquence des défauts

La dispersion z du processus est alors égale à $z = 1,3111$. Ce qui est manifestement loin du niveau 6.

Malgré les approximations faites pour le calcul du niveau, le résultat nous renseigne sur la situation actuelle et les défis à venir.

III.3.2.4 Diagramme de Pareto

D'après les rapports d'analyse des défauts de verre et à l'aide de logiciel Excel, nous avons calculé le nombre total des défauts. Pour chaque type de défauts nous avons calculé le cumule et le pourcentage de chaque type de défaut afin de tracer un diagramme de Pareto.

Mise en œuvre de la méthode Six Sigma pour le traitement des pertes de qualité au sein d'entreprise MFG

type de défaut	fréquence	fréquence cumulé	% cumulé
Pierre de Quartz (Tridymite)	365	365,00	39,54%
Tache d'Oxyde d'Etain	132	497,00	53,85%
Pierre de Corindon	104	601,00	65,11%
Bulle d'air de Sulfate	70	671,00	72,70%
Bulle d'air	68	739,00	80,07%
Pierre d'Oxyde d'Etain	52	791,00	85,70%
Déformation optique	27	818,00	88,62%
Pierre d'étain	25	843,00	91,33%
Pierre de Zircon	22	865,00	93,72%
Bulle d'air ouverte	14	879,00	95,23%
Pierre de Diopside	12	891,00	96,53%
Griffe	9	900,00	97,51%
Tache d'étain	6	906,00	98,16%
Pierre de verre cristallisé (cristobalite)	5	911,00	98,70%
Pierre métallique de nature ferrique	5	916,00	99,24%
Trait linéaire optique	3	919,00	99,57%
Gouttelette du verre fondu	2	921,00	99,78%
Déformation optique de face inférieure + Tache d'oxyde d'Etain	1	922,00	99,89%
Griffe d'Etain	1	923,00	100,00%

Tableau III.6: Total des défauts par type

Mise en œuvre de la méthode Six Sigma pour le traitement des pertes de qualité au sein d'entreprise MFG

Le diagramme de Pareto va nous permettre de cibler facilement les 20% des causes produisant 80% des effets pour gagner en efficacité dans la résolution des problèmes.

Pour chercher les types de défauts qui ont la priorité à être traités en se basant sur le tableau précédent, on obtient le diagramme de Pareto suivant.

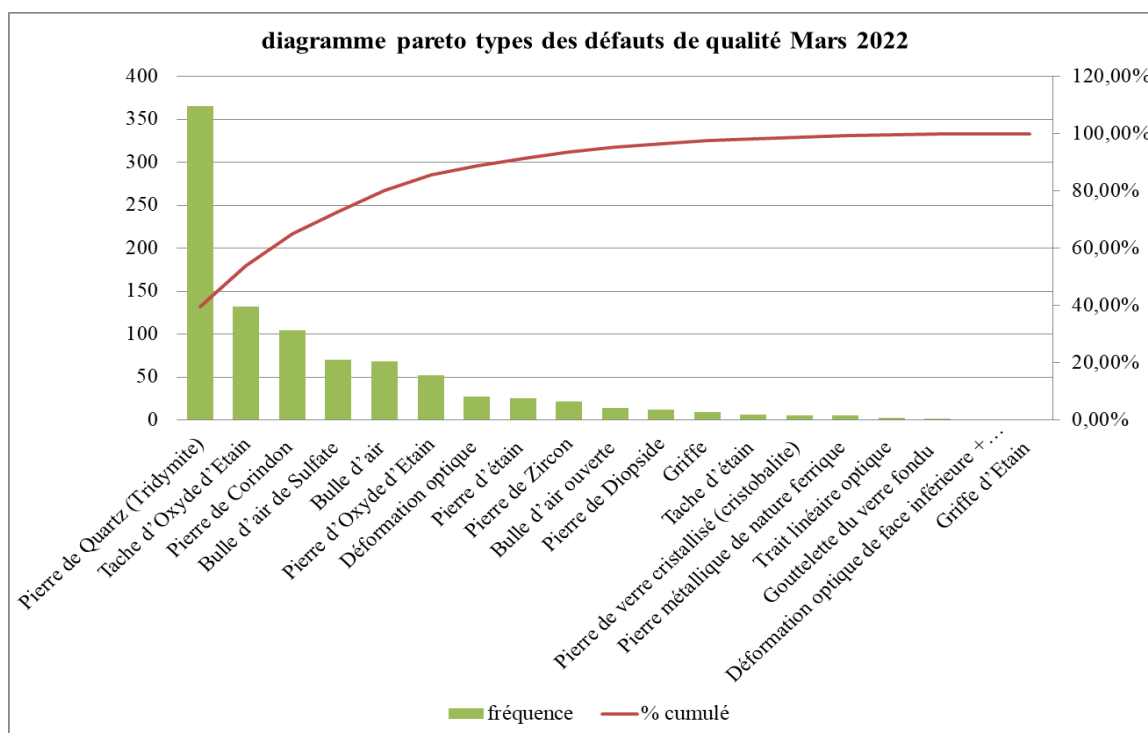


Figure III.9: Diagramme de Pareto totale des défauts

Le diagramme de Pareto nous met en avant 05 défauts prioritaires (20%), qui sont à l'origine des pertes 80 % des pertes de non qualité (Figure des défauts prioritaire, Annexe 2):

1. Pierre de Quartz (Tridymite)

2. Tache d'Oxyde d'Etain

3. Pierre de Corindon

4. Bulle d'air de Sulfate

5. Bulle d'air

Tableau III.7: Les défauts prioritaires à traiter

Mise en œuvre de la méthode Six Sigma pour le traitement des pertes de qualité au sein d'entreprise MFG

III.3. 3 Etape Analyser

Après avoir accompli les étapes « Définir » et « Mesurer » on a pu caractériser la situation de la qualité au niveau de MFG. Ainsi, l'étape « Analyser » a pour objectif d'augmenter notre état de connaissance du processus lié à la qualité des produits afin d'identifier les causes racines de défauts et les causes de la variabilité. Ainsi, après une investigation sur les défauts en général et les défauts prioritaires en particulier, nous avons fait des analyses illustrées dans les figures suivantes qui sont des diagrammes d'Ishikawa réalisés avec une plateforme de collaboration en ligne (Lucidchart). Ces diagrammes contiennent toutes les causes pertinentes des défauts que nous avons pu identifier avec les moyens et surtout le délai qui nous ont été impartis.

III.3. 3.1 Causes des Pierres de Quartz (Tridymite)

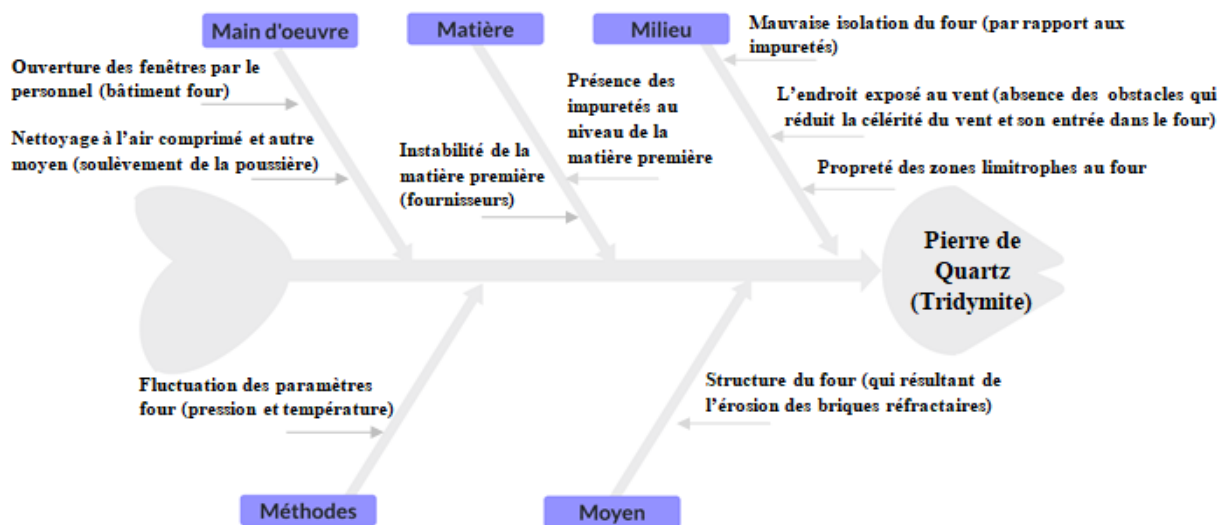


Figure III.10: Diagramme d'Ishikawa pour les Pierres de quartz (tridymite)

III.3. 3.2 Causes des Taches d'Oxyde d'Etain

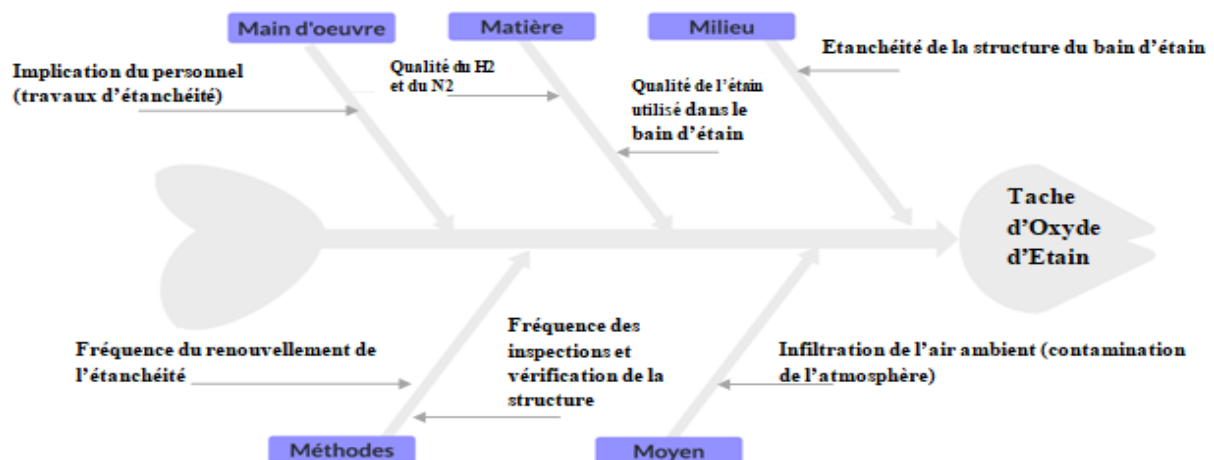


Figure III.11: Diagramme d'Ishikawa pour les Taches d'Oxyde d'Etain

Mise en œuvre de la méthode Six Sigma pour le traitement des pertes de qualité au sein d'entreprise MFG

III.3. 3.3 Causes des Pierres de Corindon

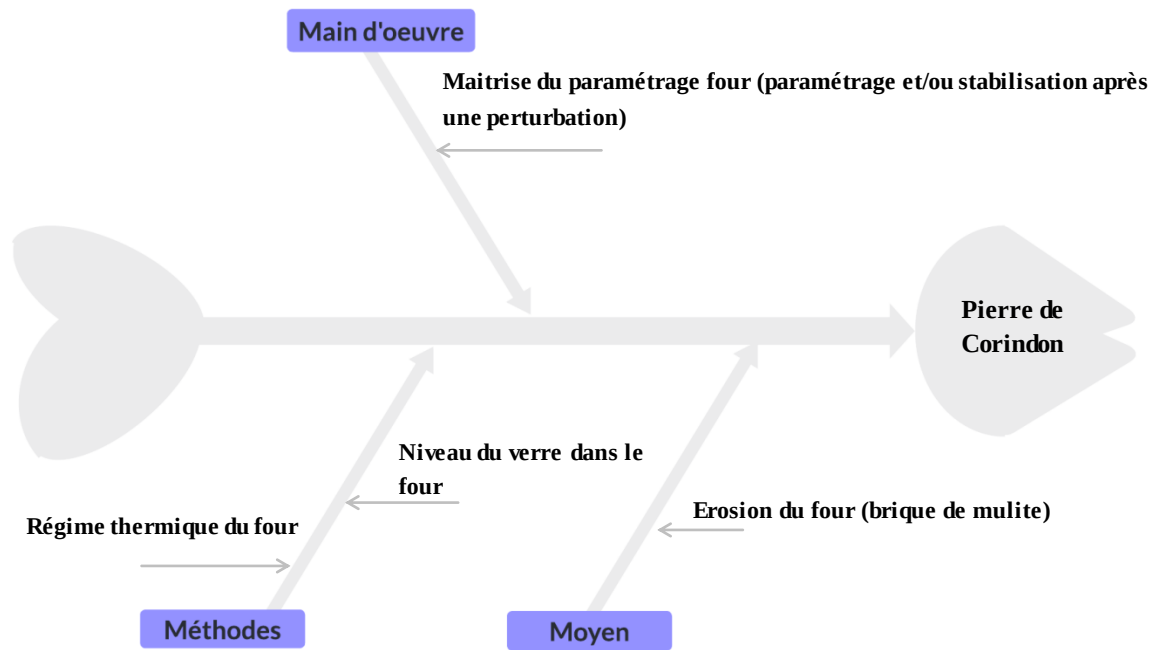


Figure III.12: Diagramme d'Ishikawa pour les Pierres de Corindon

III.3. 3.4 Causes des Bulles d'air de Sulfate

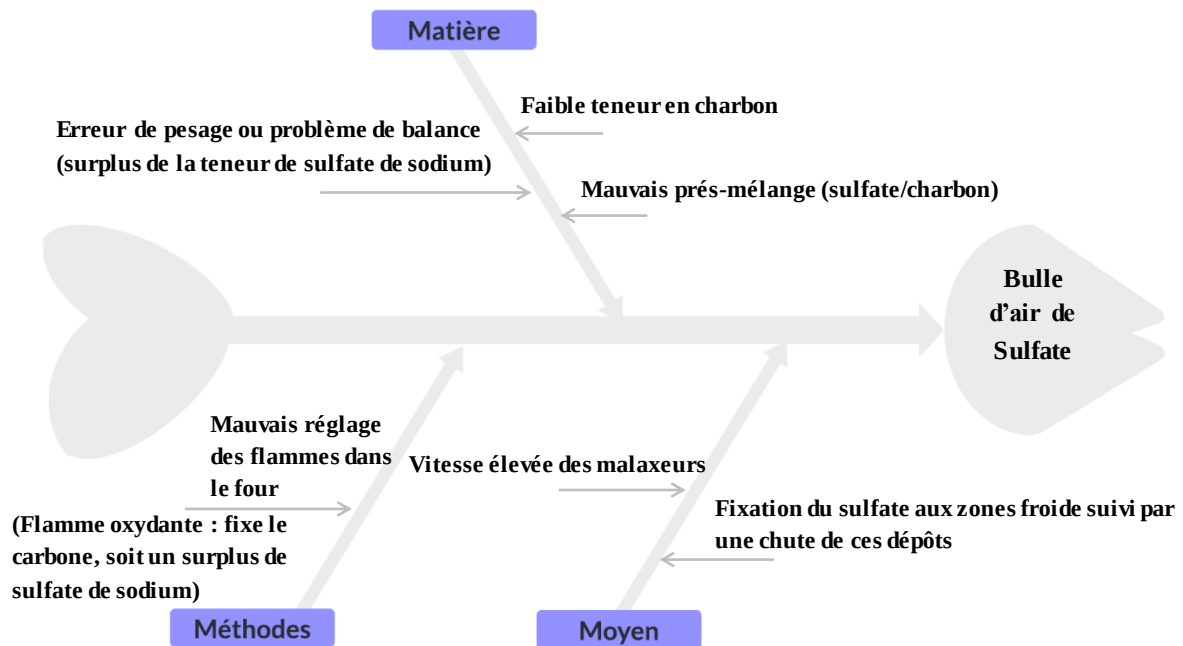


Figure III.13: Diagramme d'Ishikawa pour les Bulles d'air de Sulfate

Mise en œuvre de la méthode Six Sigma pour le traitement des pertes de qualité au sein d'entreprise MFG

III.3. 3.5 Causes des Bulles d'air

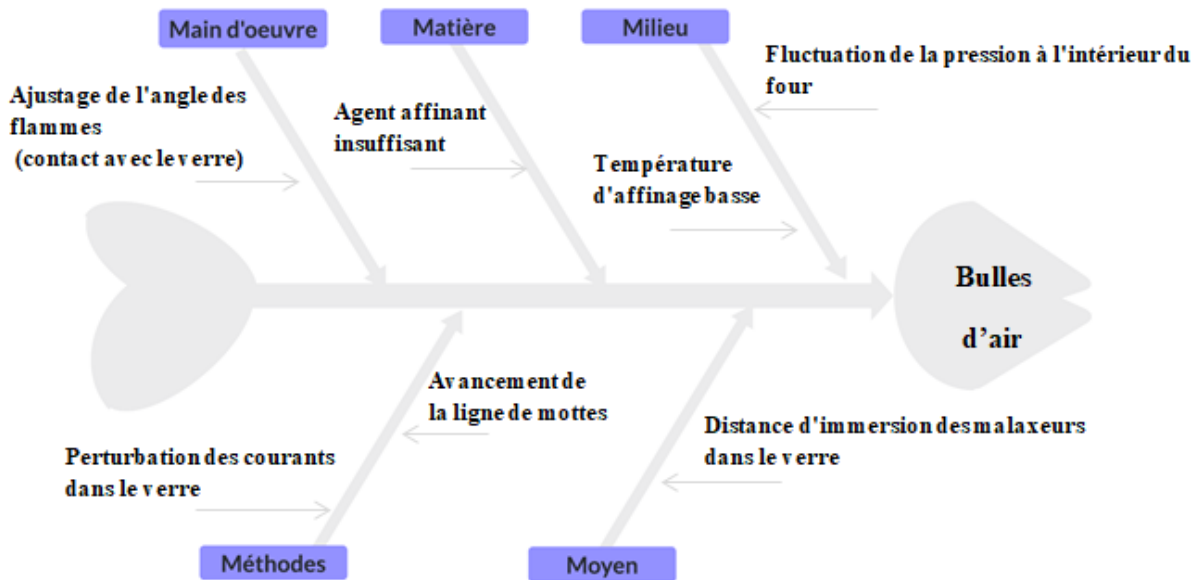


Figure III.14: Diagramme d'Ishikawa pour les Bulles d'air

Interprétation des diagrammes :

- les défauts de type pierres de quartz sont de nature siliceuse mais difficilement identifiable par leurs diversités. En effet, selon leurs migrations et les conditions qu'ils subissent, ces défauts se transforment et changent de nature selon le diagramme des phases du quartz. Ils peuvent passer d'une phase de quartz à une phase de tridymite et d'une phase de cristobalite sous l'effet de la température. L'identification de ces trois phases requière une bonne expertise dans le domaine. La silice est un composé très présent sous ses différentes formes dans le processus du verre float (présente dans la matière première, dans la composition de certaines briques réfractaires ...). Lors de l'apparition des défauts de type pierres de quartz, l'étape qui suit l'échantillonnage est la partie identification du type de quartz : selon sa nature, le champ d'identification des sources potentielles se réduit, dans notre champ d'étude, aux échantillons prélevés et identifiés comme étant des pierres de quartz de nature tridymite (seconde phase du quartz). C'est ce qui amène que le quartz a subi une seconde transformation pour passer au tridymite. Si la source est de la matière première (du sable/silice) alors, le temps de migration de ce quartz ne permet pas un passage de la phase quartz à la phase tridymite. Par conséquent, la source de ce défaut ne peut venir qu'en aval de la section matière première (qui est le four). Cela concorde avec la composition de quelques parties de la structure qui compose le four. Afin d'éliminer d'autres sources potentielles (telle que la contamination du four par l'air ambiant qui est chargé en sable et autre imputés, ou autres) ainsi que les autres sections du processus qui suivent le four et qui ne présentent aucune composition ou consommable de type siliceux.

Mise en œuvre de la méthode Six Sigma pour le traitement des pertes de qualité au sein d'entreprise MFG

- Pour les défauts de type oxyde d'étain, l'oxyde d'étain étant issu de l'oxydation de l'étain et ne se présente dans aucune partie du four. Mais, il se manifeste uniquement à la section bain d'étain (ce qui réduit la zone de recherche des causes). Son apparition se présente avec une évolution graduelle. C'est-à-dire que sa densité augmente avec le temps mais chute à la quasi disparition lors des interventions au bain d'étain (qui consiste au renouvellement de l'étanchéité et nettoyage des équipements à l'intérieur du bain et de certaines zones froide du bain). En outre, l'une des propriétés de l'oxyde d'étain est sa prédisposition à se fixer dans les zones froides et dans le cas des équipements internes du bain d'étain. Ces derniers sont protégés par un système de refroidissement pour éviter leurs détériorations à l'intérieur du bain d'étain. Ce qui leur donne une sorte de rôle d'aimant à oxyde d'étain. Mais après une accumulation des dépôts, des décollements se produisent. Ils retombent sur le verre sous forme de défauts d'oxyde d'étain.
- L'apparition des pierres de corindon est un phénomène non anodin en comparaison aux autres défauts. Et ce, car leur composition stipule que leur source ne peut que provenir de la structure des briques réfractaires du four. Mais pas n'importe quel type de brique. En effet, la composition des briques d'un four verre float diffère selon la position et la spécificité requise (zone qui nécessite plus une résistance thermique comme la superstructure: zone qui est au-dessus du verre sans contact direct. Une autre zone qui nécessite une résistance mécanique telle que les zones qui sont en contact direct avec le verre), de telles données nous ont aidées à réduire le champ de recherche à quelques types de briques. Ce qui nous a amené aux briques dites de mullite (qui est à haute teneur en alumine composé qui se trouve aussi en grande densité dans les défauts de type corindon). La source de leurs provenances n'arrive que lors de l'érosion ou altération de ces briques avec le temps ou d'une perturbation du régime thermique (grande fluctuation des températures exemple de 1480C° ç 1550C°). De par leurs résistances, ces défauts traversent le four sans altération au vu de leurs résistances. Afin d'éviter ou de corriger cette situation, une stabilisation des paramètres est requise en température mais aussi pour le niveau de verre.
- Les défauts de types bulle sont intimement liés au processus et peuvent avoir différents sources. La nature des bulles d'air et des bulles d'air avec sulfate ne diffèrent pas énormément mais divergent en leurs composition. En effet, les bulles d'air sont composés de gaz incolore, alors que les bulles de sulfate présentent des impuretés de couleurs blanches à l'intérieur. Des analyses plus poussées ont révélé que la composition des impuretés blanches est un emprisonnement du sulfate sous forme de cristaux.
les causes de l'apparition des bulles d'air sont liées au dégazage principalement. Mais, elles peuvent aussi être résultantes d'un contact des flammes avec la surface du verre dans le four ou de l'aspect des flammes (flamme oxydante ou réductrice ou neutre). C'est pour cela qu'un contrôle périodique est requis pour la vérification des flammes, ainsi que d'autres paramètres tels que la pression à l'intérieur du four, la ligne de mottes (ligne de matière dans le four). Lors de l'apparition des défauts de types bulles, les actions sont entreprises selon la nature et l'étendue de l'action (une action d'ajustage des flammes aura un impact immédiat sur la densité des bulles, alors qu'un ajustement dans la composition de la matière telle que les agents affinant aura un impact plus lent mais aussi qui durera plus longtemps).

Mise en œuvre de la méthode Six Sigma pour le traitement des pertes de qualité au sein d'entreprise MFG

III.3.4 Etape Améliorer

Après avoir déterminé les sources potentielles des défaillances de la qualité lors de l'étape « analyse » en exploitant les données et moyens disponibles, il s'agit maintenant d'améliorer le processus afin de le centrer sur les objectifs de qualité de l'entreprise. Pour ce faire, nous proposons des solutions en deux parties. La première partie, va dans le sens de l'amélioration du processus actuel. C'est la suite de la démarche suivie D,M jusqu'à maintenant. La deuxième partie, constitue une solution nouvelle et radicale pour le traitement du calcin. Et ce, en proposons la mise en place d'un atelier de transformation du verre défectueux (calcin) en poudre de verre, capable d'être utilisée dans divers industries.

III.3.4.1Partie I

Suite à l'analyse des données actuelles, qui sont totalement fournies par le service qualité de MFG, nous proposons ici l'analyse du système de mesure actuel.

1. la première étape consiste à faire une étude du gage R&R. L'objectif de cette étude est de vérifier que la mesure réalisée n'est pas trop sensible au problème de répétabilité et de reproductibilité. Il s'agit d'une étude des moyens de mesure de données afin de s'assurer de l'indépendance des mesures à un changement des conditions tels que l'opération.
2. Après avoir assuré les moyens de mesure adaptés (proposition 1). A la lumière des cartographies en boîte noire précédentes, nous proposons de mettre en place une campagne de surveillance de la variabilité du processus à base de données factuelles et des preuves statistiques.

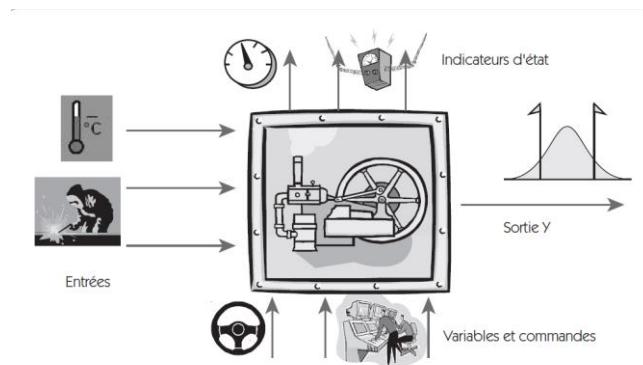


Figure III.15: Les points de mesure à observer (Pillet,2020)

La mesure va porter sur trois éléments :

- les sorties du processus (les Y) perçues par le client ;
- les entrées du processus fournisseur (les X) ayant une influence sur les Y ;
- les variables du processus permettant de caractériser sa performance en termes de coût, qualité, délais, sécurité.

Cela va permettre de mettre en lumière la réponse Y du système aux différentes variabilités des paramètres X pouvant avoir une influence sur le processus. Ainsi, faire une analyse relationnelle et statistique entre les X et Y.

Mise en œuvre de la méthode Six Sigma pour le traitement des pertes de qualité au sein d'entreprise MFG

3. Mettre en place des mécanismes de surveillance basés sur les cartes de contrôle. Notamment la carte « p » de la proportion de non conformes ou de défectueux.

C'est un graphique sur lequel est portée la proportion de non conformes observées dans chaque échantillon en fonction des instants de prélèvement (temps). On distingue également sur cette carte la proportion moyenne de non conformes ainsi que les limites de contrôle supérieure et inférieure. Le deuxième type de carte à mettre en place est la carte « C » ou « U » qui s'intéressent au nombre et à la proportion des non-conformités. Dans le cas de MFG, les non-conformités sont les classes des défauts.

III.3.4.2 Partie II

Pour trouver les solutions les plus pertinentes pour les défauts de qualité, nous avons réalisé une séance de Brainstorming sous la supervision du responsable de contrôle qualité. En nous basant sur le manuel de diagnostic et résolution de défaut de verre float, nous sommes sortis avec des propositions qui sont déjà prises en considérations dans le cadre de l'amélioration continue (ligne float 2) pour l'élimination des pertes de qualité. (Voir les actions d'amélioration proposées, Annexe 4)

Malgré l'application des actions correctives d'améliorations, les pertes de qualité persistent (inévitables avec le vieillissement du four). Actuellement, MFG n'est pas prête d'investir dans l'achat de nouveaux équipements (four, caméra thermique) qui coûtent excessivement cher. Ajouter à cela, le fait que la procédure de contrôle qualité de la MP par le laboratoire centrale crédit 17025 ne sont pas fiable à 100% car les quantités ne peuvent pas être contrôlées entièrement vu le flux important de la MP. Tous ces éléments, nous ont convaincu de proposer un nouveau processus afin de résoudre cette problématique et de transformer les pertes de qualité en gain pour l'entreprise.

MFG dispose d'un processus de qualité en boucle fermée. C'est à dire le calcin est réinjecté dans le processus de production du verre (voir schéma de fonctionnement de la 1ère ligne de MFG, Annexe 5). Chimiquement parlant, la réintroduction des défauts dans la zone de fusion peut engendrer des défauts d'une gravité supérieure, surtout sur le long terme. C'est pour cette raison que nous avons pensé d'intégrer une nouvelle unité de production de la poudre de verre à partir du calcin non conforme.

Pour ce faire, nous avons fait appel à la démarche DMADV pour formuler notre proposition. Cependant, étant donné notre niveau de connaissance du processus actuel ainsi que les données dont nous ne disposons pas, il est hors de notre portée de faire une étude de faisabilité exhaustive comme l'exigent ce genre d'investissements industriels. Particulièrement les données ayant trait aux différents coûts.

Dans le cas général, l'approche DMADV (DFSS) est appropriée pour les nouveaux processus ou la refonte complète d'un processus.

Define : objectifs du nouveau processus pour répondre à la demande du client

Measure : critères clés de qualité, capacité du nouveau processus

Analyse : scénarios et options

Design : conception du processus sélectionné

Verify : mise en œuvre d'un pilote et mise en place de la production

Mise en œuvre de la méthode Six Sigma pour le traitement des pertes de qualité au sein d'entreprise MFG

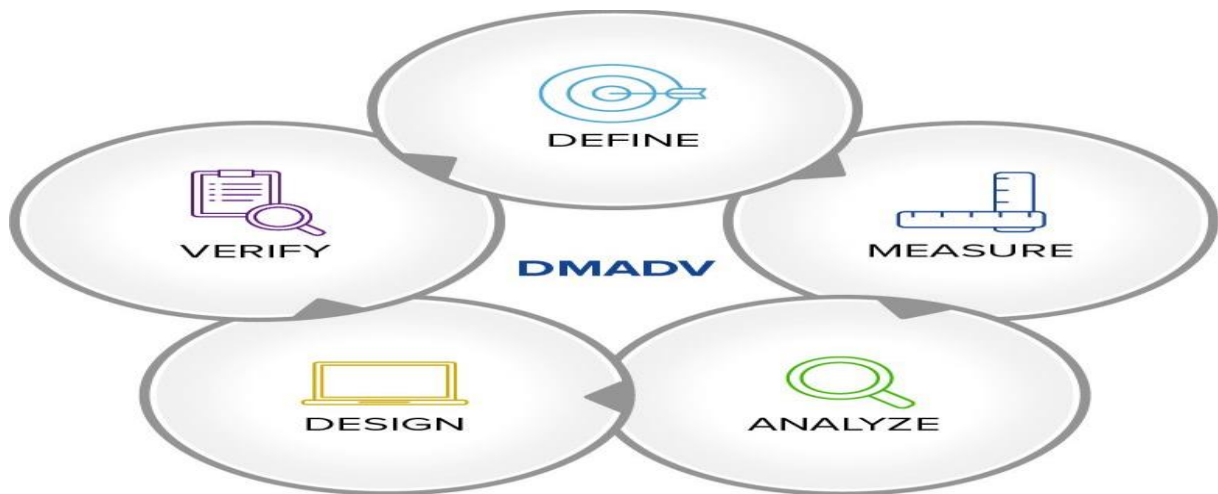


Figure III.16: Démarche DMADV

III.3.4.2.1 Définir

Le recyclage du verre non conforme pour la fabrication de nouveaux verres n'est actuellement pas économiquement viable. C'est ce qui explique la recherche d'autres débouchés que le stockage ou l'enfouissement en décharges.

La production de la poudre de verre est un nouveau processus qui pourrait rentabiliser les pertes de qualité au sein de MFG.

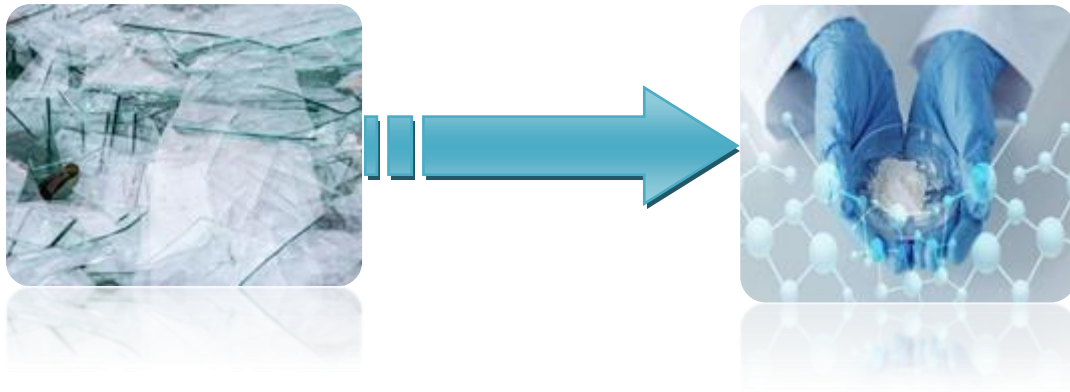


Figure III.17: De calcin non conforme vers une poudre de verre

III.3.4.2.1.1 Poudre de verre

Également appelée « fritte de verre » ou « flux de verre », la poudre de verre est du verre broyé en très petites particules. Sa granulométrie moyenne typique est comprise entre 30 μm et 0,1 μm . Une poudre avec des tailles ou des distributions personnalisées sont également possibles. Les propriétés de la poudre de verre découlent de la nature du verre lui-même, ainsi que de la taille et de la morphologie des particules. Selon la composition, les poudres de verre spécial peuvent répondre à des exigences très variées, et un matériau polyvalent qui est connu pour sa grande résistance à la chaleur et sa forte teneur en silice.

Mise en œuvre de la méthode Six Sigma pour le traitement des pertes de qualité au sein d'entreprise MFG



Figure III.18 : poudre de verre

III.3.4.2.1 Utilisation de la poudre de verre dans les milieux industriels

- Le verre moulu est une source principale de silice, qui se trouve être incroyablement peu coûteux car il est souvent source comme un produit de déchets et est largement utilisé ;
- Il a trouvé l'utilisation dans la production de béton, remplaçant une partie du ciment, à son tour rendant la fabrication moins dommageable pour l'environnement et offrant les propriétés améliorées de béton ;
- D'autres utilisations incluent dans les applications réfractaires (où sa tolérance à haute température est salutaire) dans les glaçures, dans l'isolation de bâtiment, l'amélioration du sol et dans la fabrication de briques ;
- Beaucoup de ses applications sont particulièrement bénéfiques car elles peuvent détourner de grandes quantités de verre des sites d'enfouissement.

En Algérie, la demande du marché pour le ciment a fortement augmenté, suivant le développement de l'industrie et les besoins de l'urbanisation croissante. C'est ce qui justifierait la recherche d'un ciment moins coûteux en utilisant des ressources naturelles et déchets industrielles est devenue un intérêt majeur pour pallier au déficit dans la fabrication du ciment. Ainsi, MFG serait le premier producteur algérien de la poudre de verre sa part de marché serait majoritaire.

III.3.4.2.2 Mesurer

Nous proposons une ligne de broyage du verre qui consiste à réduire considérablement les volumes des déchets du verre et à le transformer en matière première (poudre) secondaire. C'est un produit qui intéresserait beaucoup d'industries et de clients potentiel. Et ce, particulièrement l'industrie du bâtiment. Dans cette étape nous allons essayer de fournir des données mesurables à même soutenir notre proposition.

III.3.4.2.2.1 Machine de broyage du verre

Cette machine permet de moudre les chutes de verre en poudre. Ce qui permet :

- l'évacuation facile du verre
- le broyage du verre float
- un bon rendement

Mise en œuvre de la méthode Six Sigma pour le traitement des pertes de qualité au sein d'entreprise MFG

Caractéristiques de la machine :

- YGM7815 Raymond Mill
- Modèle : série YGM
- Marque : Clirik
- Capacité : selon la demande concernant la finesse de la poudre, la capacité du fleuron peut être ajustée entre 0,5 et 28 t/h
- Prix : 1 606 317,90 DA



Figure III.19 : Broyeur de verre « Marque Clirik »

III.3.4.2.2 Clients et fournisseurs de la poudre de verre

- Allemagne exporte la majeure partie de sa poudre de verre aux États-Unis .
- Les premiers exportateurs de poudre de verre sont l'Allemagne .
- L'Allemagne est le plus grand exportateur de poudre de verre.

III.3.4.2.3 Revenus de nouveaux processus

Nous avons effectué une recherche sur les prix de la poudre de verre. Les leaders de marché international de cette poudre sont : la chine, l'inde et Allemagne. Nous avons choisi ces pays comme référence pour estimer les gains apportés par l'introduction du verre non conforme dans le nouveaux processus de production de la poudre verre.

Estimation des revenus

En nous basant sur les données de mois mars, d'où les pertes de qualité sont égales à 2331,20 T. Si cette quantité est vendue comme étant poudre de verre, le revenu général pour l'entreprise va se résumer dans le tableau ci-dessous :

pays	Prix (DZD)/ tonne	Revenus
Allemagne	145841,00	33 9984 539,20DA
Chine	43752 ,3	101 995 361,76 DA
Inde	102480 ,00	238901376,00 DA

Tableau III.8: valeur monétaire de la poudre

Mise en œuvre de la méthode Six Sigma pour le traitement des pertes de qualité au sein d'entreprise MFG

D'après les résultats des revenus trouvés dans le tableau, l'implémentation de la nouvelle ligne de production de la poudre va être une valeur ajoutée pour l'entreprise en comparaison avec le coût de perte de qualité (51286400.00 DA).

III.3.4.2.3 Analyser

Le verre peut être réduit en poudre ou granulé de petite taille par broyage à haute pression. Le broyeur peut être équipé de divers équipements de tri et de recyclage selon plusieurs scénarios proposer pour compléter la nouvelle ligne de production de la poudre :

- L'équipement de recyclage du verre peut être relié directement à la fin de la chaîne de processus de production (ligne 2 de production de verre float). En effet, les calcins rejetés par le premier processus sont introduits par un convoyeur dans le nouveau processus.
- La ligne de production de la poudre peut être implantée séparément. Alors, l'équipement de recyclage du verre peut ajouter un dispositif de nettoyage du verre, qui peut éliminer efficacement les impuretés et la saleté sur la surface du verre.



Figure III.20: Machine à nettoyer le verre

III.3.4.2.4 Design

Notre technique va donc au-delà d'une simple procédure de fabrication et ajoute de la valeur grâce au recyclage des calcins. Ces derniers sont transformés en produits finis. Dans la première phase de traitement, le verre non conforme est broyé par un concasseur à marteaux. Les calcins deviennent une poudre et sont envoyés dans la trémie de stockage par élévateur. Puis, ils sont envoyés uniformément à la plaque de distribution supérieure de la plaque tournante par un alimentateur vibrant et un tuyau d'alimentation incliné.

III.3.4.4.1 Schéma de processus de production de verre :

Les calcins -convoyeur-broyeur-produit fini (poudre de verre)

- Etape 1 : la superposition de calcin sur le convoyeur ;
- Etape 2 : le calcin transporté vers le broyeur afin d'être concassé ;
- Etape 3 : la poudre de verre est mise dans un élévateur
- Etape 4 : la transmission de la poudre vers l'ensacheuse automatique par l'élévateur
- Etape 5: Le produit fini sort comme étant des sacs de poudre de verre

Mise en œuvre de la méthode Six Sigma pour le traitement des pertes de qualité au sein d'entreprise MFG



Figure III.21: processus de production « poudre de verre »

III.3.4.2.5 Contrôler

D'après notre proposition du nouveau processus, le contrôle et la simulation de ce dernier n'est pas possible d'être effectué car c'est un projet qui demande un grand investissement en temps et en moyens. En plus, d'un accès à des données internes liées aux coûts.

III.3.5 Conclusion

Dans ce chapitre, notre but principal est de mettre en place des outils du LSS au sein de l'entreprise MFG afin d'étudier les pertes de verre liées à la qualité.

Pour ce faire, nous avons adapté la démarche DMAIC pour couvrir les données de production des mois de Février et Mars 2022. Cette démarche nous a permis de définir le problème et présenter le taux élevé de perte de qualité pendant le mois de Mars. Ensuite, nous avons procédé à des mesures à travers le calcul des indicateurs afin de quantifier les effets des pertes de qualité. Cela nous a permis de découvrir la perte d'importantes sommes (51 286 400 DA le mois de Mars seulement).

Pour étudier la capacité du processus à répondre aux exigences fixées, nous avons procédé au calcul du niveau actuel de Sigma. Pour ce faire, nous avons approximé le z du processus qui est de **1,3111** ($z < 6$). Cela nous a montré le degré de variabilité du processus, qui est bien loin de la situation souhaitée. Pour améliorer ce niveau de z , on a commencé la sélection des défauts qui sont apparus le plus souvent. Après une étude basée sur l'analyse de Pareto, nous avons décidé de traiter les défauts de type pierre de quartz (tridymite), tache d'oxyde d'étain, pierre de corindon, bulle d'air de sulfate et bulle d'air qui sont les 20% des défauts qui génèrent 80% des pertes de qualité.

Mise en œuvre de la méthode Six Sigma pour le traitement des pertes de qualité au sein d'entreprise MFG

Afin d'identifier les causes racines de ces défaillances, nous avons établi des diagrammes d'Ishikawa pour chaque type de défauts. Et ce, afin de cibler les causes qui peuvent générer ces derniers dans la ligne de production float 2. Ces diagrammes nous ont permis d'identifier que les causes majeures sont liées au vieillissement du four et la modification de la qualité de la matière première.

Sur la base de ces résultats nous avons décidé de faire une séance de brainstorming sous la supervision du responsable de contrôle qualité afin de trouver les solutions les plus pertinentes pour régler les sources de défauts et d'améliorer le taux de perte de qualité vers le mieux. Des actions correctives et préventives ont été menées pour réduire ce type de défauts. Ces actions touchent plusieurs facteurs qui interviennent sur la chaîne de production.

Néanmoins, nous avons constatés que l'apparition des défauts dans la production du verre float est une situation inévitable; et une production avec zéro défaut est une utopie. C'est pour cette raison on a eu recours à la démarche DMADV pour formuler notre proposition d'intégrer une nouvelle ligne de production de la poudre de verre à partir du calcin non conformes. Nous avons essayé de montrer que notre proposition pourraient améliorer, à court termes, le rendement de la ligne de production (float2) par l'absorption des pertes de qualité. Et pourquoi pas, convertir les pertes en gains pour l'entreprise.

Conclusion

Générale

Conclusion générale

Ce projet est un travail qui a porté sur l'application de la méthode LSS pour réduire les pertes de production du verre float de l'entreprise MFG. Notre but est d'appréhender les défauts de qualité des produits d'une meilleure manière. Et ce, afin d'améliorer la performance et la rentabilité de l'entreprise.

Pour nous assurer de la maîtrise de la démarche, dans ce travail, nous avons commencé par une revue de la littérature concernant le LSS. Cela nous a montré sa pertinence pour l'étude et l'amélioration des systèmes industriels en réduisant au maximum la variabilité des processus et les activités à non-valeur ajoutée. La revue de la littérature nous a montré l'engouement que connaît ce domaine. Que ce soit en termes d'applications industrielles que de recherche dans le domaine académique. En plus, c'est une démarche multidisciplinaire par excellence.

Pour appréhender la problématique de l'entreprise MFG, lieu de notre stage, notre démarche consiste à définir, évaluer, mesurer les données de l'entreprise pendant le mois de mars. Le traitement de ces données a donné lieu à une analyse profonde de la situation et à cibler les causes majeures des non-conformités et les facteurs nuisibles qui dégradent le rendement de l'entreprise.

Notre étude nous a amené à combiner les deux approches DMAIC et DMADV dans la proposition de solutions d'amélioration. En effet, cette combinaison nous a permis de proposer deux types de solutions. L'une est basée sur l'amélioration du système actuel, notamment le système de mesure. L'autre consiste en la proposition d'une nouvelle ligne de traitement des calcins (verre défectueux) en poudre de verre. Le manque de données détaillées liées, notamment, aux différents coûts et en plus des délais limités, ne nous a pas permis de faire une étude complète et approfondie. Cette étude, nous la laissons comme perspective.

Ce que nous retenons de ce travail est que l'amélioration continue n'est pas d'atteindre le système parfait. Mais, c'est un état d'esprit éveillé qui permet d'optimiser la façon de travailler, de maîtriser les processus, afin d'assurer la qualité, la sécurité de façon permanente.

.

Références bibliographies

Ouvrage:

- [Afnor 2000] AFNOR X50-176. (2000). Management des processus.
- [BAGLIN, 2009]G.Baglin, O.Brue, A.Garreau, M.Greif et C.Delft. Management industriel et logistique, Economica, 2009.
- [BEDRY, 2012] Pierre Bédry. Les basiques du Lean Manufacturing Dans les PMI et ateliers technologiques. Eyrolles, Edition d'organisation, 2012.
- [BOUZEKOUK, 2002] Bouzekouk.S. Produire vraiment sans gaspiller.Ed Organisation, Paris, 2002.
- [DURET et PILLET 2005] Daniel Duret et Maurice Pillet. Qualité en production De l'ISO 9000 à Six Sigma.Eyrolles, Edition d'organisation, 2005.
- [HAMADOUCHE,1997] Hamadouche Ahmed. Méthodes et outils d'analyse stratégique. Ed, CHIHAB, Alger, 1997.
- [ISO 9000:2000] NF EN ISO 9000 Version 2000. Systèmes de management de la qualité-Principes essentiels et vocabulaire. Edition ISO, 2000.
- [LONGIN et DENET, 2008]Pierre Longin et Henri Denet. Construisez votre qualité. Edition Dunod, 2008.
- [PILLET, 2005] Maurice Pillet. Six Sigma : Comment l'appliquer. édition Organisation, 2004.
- [PILLET, 2005] Maurice Pillet. Appliquer la maîtrise statistique des processus (MSP/SPC). Edition d'organisation, 2005.

Article

- [CHAKRAVORTY, 2009] Chakravorty.S.S. "Six Sigma programs: an implementation model". International Journal of Production Economics 119, 1-16,2009 .
- [FORREST, 2006] Forrest.G. "Six-Sigma and the Revival of TQM". Total quality management and business excellence, vol 17 (10), pp 1281-1286, 2006.
- [GEORGE et al, 2008] George.S, Eve.D."The role of experience in six sigma project success: An empirical analysis of improvement projects". Journal of Operations Management vol 30, pp 481–493, 2008.

Thèse & Mémoire :

- [AZZABI l, 2010] Lotfi.Azzabi. Contribution a l'amélioration d'un système de production : intégration de la méthode six sigma et approche multicritère d'aide a la décision dans SIDELEC internationale. Thèse de doctorat, université d'Angers France, 2010.
- [Auzémery, E. (2016)] Edouard Auzémery. Mise en place d'un projet d'amélioration continue sur une ligne de conditionnement secondaire de vaccins, à l'aide de l'outil Lean Six Sigma. thèse de doctorat, Université de Limoges décembre 2016
- [Brahimi, A., Chikh, D., &Hichem, L, (2021)] Brahimi, Assia, Djamilachikh, and LaceneNecerHichem.Le Lean management et son rôle dans la créativité des employées: Etude de cas L'entreprise CERAMIG DIVENDUS GHAZAOUET.Université Tlemcen,2021.

[Bélanger, M. (2015)] Bélanger, Mathilde. Apport de la simulation comme outil de déploiement de la méthode «Design for Lean Six Sigma»: le cas du Centre de santé et de services sociaux de Trois-Rivières. Diss. Université du Québec à Trois-Rivières, 2015.

[BENCHAIB et al, (2016)] BENCHAIB Mohamed,BOUKACEMBelkacem.Application du Lean manufacturing : Cas NCA Rouiba.Mémoires Master,Ecole Nationale Supérieure de Technologie ,Dergana 2016 .

[CHERGUI et al, 2018]CHERGUI Hadjer, DJELTI Souad. Etude et amélioration de la maintenance préventive par l'approche DMAIC au sein de l'entreprise EL EMIR.Ecole Nationale Supérieure de Technologie,Dergana 2018.

[HAMMOUDA, 2011] NajetHammouda. Amélioration continue de la productivité d'une entreprise tunisienne. thèse de fin d'étude, Université Virtuelle de Tunis,2011.

[Huin, A., & Beck, J. G, 2014]HUIN, Aude et BECK, Jean-Gilles. Application de la philosophie «Lean Manufacturing» à un chantier de construction. Université de Lorraine, 2014.

[LYONNET, 2010] Barbara Lyonnet. Amélioration de la performance industrielle: vers un système de production Lean adapté aux entreprises du pôle de compétitivité Arve Industries Haute Savoie Mont-Blanc. Thèse de doctorat, Université de savoie, France, 2010.

[Leseure-Zajkowska,E, 2012]EwaZajkowskaLeseure. Contribution à l'implantation de la méthode Lean Six Sigma dans les Petites et Moyennes Entreprises pour l'amélioration des processus. Thèse de doctorat, Ecole centrale de Lille, 2012.

[MartínezBadia, A. 2013] MARTÍNEZ BADIA. AleixAmélioration des processus dans l'industrie navale. Thèse de baccalauréat. UniversitatPolitécnica de Catalunya, 2013.

[OLIVIER, 2009] Fanny Olivier, l'approche lean : méthodes et outils appliqués aux ateliers de production pharmaceutique. Université de Grenoble, 2009.

[Souillard, M.2018]Marine Souillard .Résolution de problème selon la philosophie Lean Six Sigma:étude de cas appliquée à la viscosité d'une solution à usage externe.. Thèse de doctorat, Université de Bordeaux, 2018.

Sites :

<https://www.mfg.dz/>

Annexes

Annexe 01 : Exemple fiche résultats analyse des défauts de verre

	F-CQ-01.9	Page 1 sur 1
	Fiche résultats analyse des défauts de verre	Date d'approbation : 01 Octobre 2014
		Version du document : 3

Date : 02/03/2022

Fiche N° : 061 / analyse PF / 2022 - Float 2

Analyse des défauts :

1-Rapport des prélèvements :

CODE2- ECH	Epaisseur	Date de prélèvement	Heure de prélèvement	Objectif	Type de défauts	Dimensions des défauts en (mm ²)
VF.04.01.03.22/01	04 mm	01/03/2022	09h00	10	Déformation optique de face supérieure	/
VF.04.01.03.22/02	04 mm	01/03/2022	09h00	10	Déformation optique de face supérieure	/
VF.04.01.03.22/03	04 mm	01/03/2022	09h00	10	Pierre de Quartz (Tridymite) de face supérieure	/
VF.04.01.03.22/04	04 mm	01/03/2022	10h00	10	Pierre de Quartz (Tridymite) de face supérieure	/
VF.04.01.03.22/05	04 mm	01/03/2022	11h00	10	Pierre de Quartz (Tridymite) de face inférieure	/
VF.04.01.03.22/06	04 mm	01/03/2022	11h00	05	Bulle d'air de Sulfate de face supérieure	(1.28x0.46)
VF.04.01.03.22/07	04 mm	01/03/2022	12h00	10	Pierre de Zircon de face inférieure	/
VF.04.01.03.22/08	04 mm	01/03/2022	12h00	10	Pierre de Quartz (Tridymite) de face supérieure	/
VF.04.01.03.22/09	04 mm	01/03/2022	13h00	10	Pierre de Zircon de face supérieure	/
VF.04.01.03.22/10	04 mm	01/03/2022	13h00	10	Pierre de Quartz (Tridymite) de face supérieure	/
VF.04.01.03.22/11	04 mm	01/03/2022	13h00	10	Tache d'étain de face supérieure	/
VF.04.28.03.22/12	04 mm	01/03/2022	22h00	10	Pierre de Quartz (Tridymite) de face supérieure	/
VF.04.28.03.22/13	04 mm	01/03/2022	23h00	10	Pierre de Quartz (Tridymite) au milieu	/
VF.04.01.03.22/14	04 mm	01/03/2022	23h00	10	Bulle d'air de face supérieure	(0.32x0.16)
VF.04.02.03.22/15	04 mm	02/03/2022	00h00	10	Tache d'Oxyde d'Etain de face supérieure	/
VF.04.02.03.22/16	04 mm	02/03/2022	00h00	10	Pierre de Quartz (Tridymite) de face supérieure	/
VF.04.02.03.22/17	04 mm	02/03/2022	00h00	10	Pierre de Quartz (Tridymite) de face supérieure	/
VF.04.02.03.22/18	04 mm	02/03/2022	00h00	10	Pierre de Quartz (Tridymite) de face supérieure	/
VF.04.02.03.22/19	04 mm	02/03/2022	00h00	10	Pierre de Quartz (Tridymite) de face supérieure	/
VF.04.02.03.22/20	04 mm	02/03/2022	00h00	10	Pierre de Quartz (Tridymite) de face supérieure	/
VF.04.02.03.22/21	04 mm	02/03/2022	00h00	10	Pierre de Quartz (Tridymite) de face supérieure	/
VF.04.02.03.22/22	04 mm	02/03/2022	00h00	10	Pierre de Quartz (Tridymite) de face supérieure	/

VF.04.02.03.22/2 3	04 mm	02/03/2022	00h00	10	Pierre de Quartz (Tridymite) de face supérieure	/
VF.04.02.03.22/2 4	04 mm	02/03/2022	00h00	10	Pierre de Quartz (Tridymite) de face supérieure	/
VF.04.02.03.22/2 5	04 mm	02/03/2022	00h00	10	Pierre de Quartz (Tridymite) de face supérieure	/
VF.04.02.03.22/2 6	04 mm	02/03/2022	00h00	10	Série de pierres de Quartz (Tridymite) de face supérieure	/
VF.04.02.03.22/2 7	04 mm	02/03/2022	00h00	10	Pierre de Quartz de face supérieure	/
VF.04.02.03.22/2 8	04 mm	02/03/2022	00h00	10	Pierre de Quartz de face supérieure	/
VF.04.02.03.22/2 9	04 mm	02/03/2022	00h00	10	Pierre de Quartz de face supérieure	/
VF.04.02.03.22/3 0	04 mm	02/03/2022	01h00	05	Bulle d'air de Sulfate de face supérieure	(1.40x0.48)
VF.04.02.03.22/3 1	04 mm	02/03/2022	01h00	10	Pierre de Quartz (Tridymite) au milieu	/
VF.04.02.03.22/3 2	04 mm	02/03/2022	01h00	10	Pierre de Quartz (Tridymite) de face supérieure	/
VF.04.02.03.22/3 3	04 mm	02/03/2022	01h00	10	Tache d'Oxyde d'Etain de face supérieure	/
VF.04.02.03.22/3 4	04 mm	02/03/2022	02h00	05	Bulle d'air de Sulfate de face supérieure	(2.32x0.80)
VF.04.02.03.22/3 5	04 mm	02/03/2022	02h00	10	Pierre de Quartz (Tridymite) de face supérieure	/
VF.04.02.03.22/3 6	04 mm	02/03/2022	02h00	10	Pierre de Quartz (Tridymite) de face supérieure	/
VF.04.02.03.22/3 7	04 mm	02/03/2022	03h00	10	Pierre de Corindon de face inférieure	/
VF.04.02.03.22/3 8	04 mm	02/03/2022	03h00	10	Pierre de Corindon au milieu	/
VF.04.02.03.22/3 9	04 mm	02/03/2022	03h00	10	Tache d'Oxyde d'Etain de face inférieure	/
VF.04.02.03.22/4 0	04 mm	02/03/2022	03h00	10	Tache d'Oxyde d'Etain de face inférieure	/
VF.04.02.03.22/4 1	04 mm	02/03/2022	04h00	10	Tache d'Oxyde d'Etain de face supérieure	/
VF.04.02.03.22/4 2	04 mm	02/03/2022	04h00	10	Tache d'Oxyde d'Etain de face supérieure	/
VF.04.02.03.22/4 3	04 mm	02/03/2022	04h00	10	Tache d'Oxyde d'Etain de face supérieure	/
VF.04.02.03.22/4 4	04 mm	02/03/2022	04h00	10	Tache d'Oxyde d'Etain de face supérieure	/
VF.04.02.03.22/4 5	04 mm	02/03/2022	05h00	10	Pierre de Quartz (Tridymite) de face supérieure	/
VF.04.02.03.22/4 6	04 mm	02/03/2022	05h00	10	Tache d'Oxyde d'Etain de face supérieure	/
VF.04.02.03.22/4 7	04 mm	02/03/2022	05h00	10	Pierre de Corindon au milieu	/

Annexe 2 : les exigences internes du verre de MFG

	IN-CQ-01.21 Exigences internes du verre silicate sodo-calcique float clair, coloré et pyrolytique	Page 7 sur 10
		Date d'approbation : 21 November 2020
		Versión du document : 14

6.1.7 Les Tolérances sur les défauts de coupe/bords du verre clair, coloré et pyrolytique :

Épaisseur	Tolérances			
	h 1	p	h 2	d/e
3 mm	2	< 1	< 4	< 0.25
4 mm	3			
5 mm	4			
6 mm	5	< 2	< 5	
8 - 10 mm				
12 mm		< 3		

6.1.8 Les Tolérances sur les défauts ponctuels :

6.1.8.1 Classes de défauts pour le verre clair, coloré et pyrolytique :

Classe	Dimensions du défaut ponctuel
C1.A	$0,6 < d \leq 1,5$
C2.B	$1,5 < d \leq 03$
C3.C	$03 < d \leq 6$
C4.C	$06 < d \leq 09$
C5.D	> 9

6.1.8.2 Nombre de défauts admissible par classe de défauts et par format pour le verre clair, coloré et pyrolytique :

Classe	Format de produit															
	PLF	PLF	PLF	PLF	PLF	DLF	DLF	DLF	DLF/	DLF	DDL/	DDL/	DDL/	DDL/	DDL/	
	DV	SV+	SV	T	SV	Bottero	DV	SV+	SV	SVL	Bottero	DV	SV+	SV	SVL	Bottero
C1.A	4	10	99	99	99	2	10	99	99	99	99	1	10	99	99	99
C2.B	3	5	5	5	99	1	2	2	5	99	99	1	1	2	5	99
C3.C	0	1	1	1	99	0	1	1	3	99	99	0	0	1	3	99
C4.C	0	0	0	1	99	0	0	1	2	99	99	0	0	1	1	99
C5.D	0	0	0	0	2	0	0	0	0	1	99	0	0	0	0	1

SV : Simple vitrage.

DV : Double vitrage.

SV + : Simple vitrage plus utilisé pour les épaisseurs du 3 mm au 6 mm

SV T : Simple vitrage trempable pour les épaisseurs du 6 mm au 10 mm



Pensez à l'environnement, n'imprimez ce document qu'en cas de besoins

Annexe 3: Figure des défauts prioritaires

Corindon :

Le corindon est en forme grain densité en blanc sur la surface de ruban de verre , le grain est plus petit, la pierre/concrétion et limite de verre est plus clair.



Bulle d'air :

Le bulle d'air est un état de gaz qui peut voir dans le verre. Par rapport à corps fondu de verre, le bulle d'air est un autre état de la matière, est aussi un défaut d'identification et de résolution plus difficile dans le verre flottant .Son existence est gravement l'influence sur l'amélioration de qualité de verre .

Bulle de soude de sulfate :

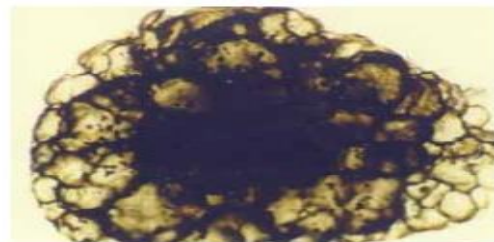
La bulle de soude de sulfate est généralement de long forme, il y a des impuretés de gaz avec dépôts brillants de soude de sulfate à l'intérieur. Dans le mince verre, ce défaut se présente comme un trait brillant.



Tache d'oxyde d'étan :



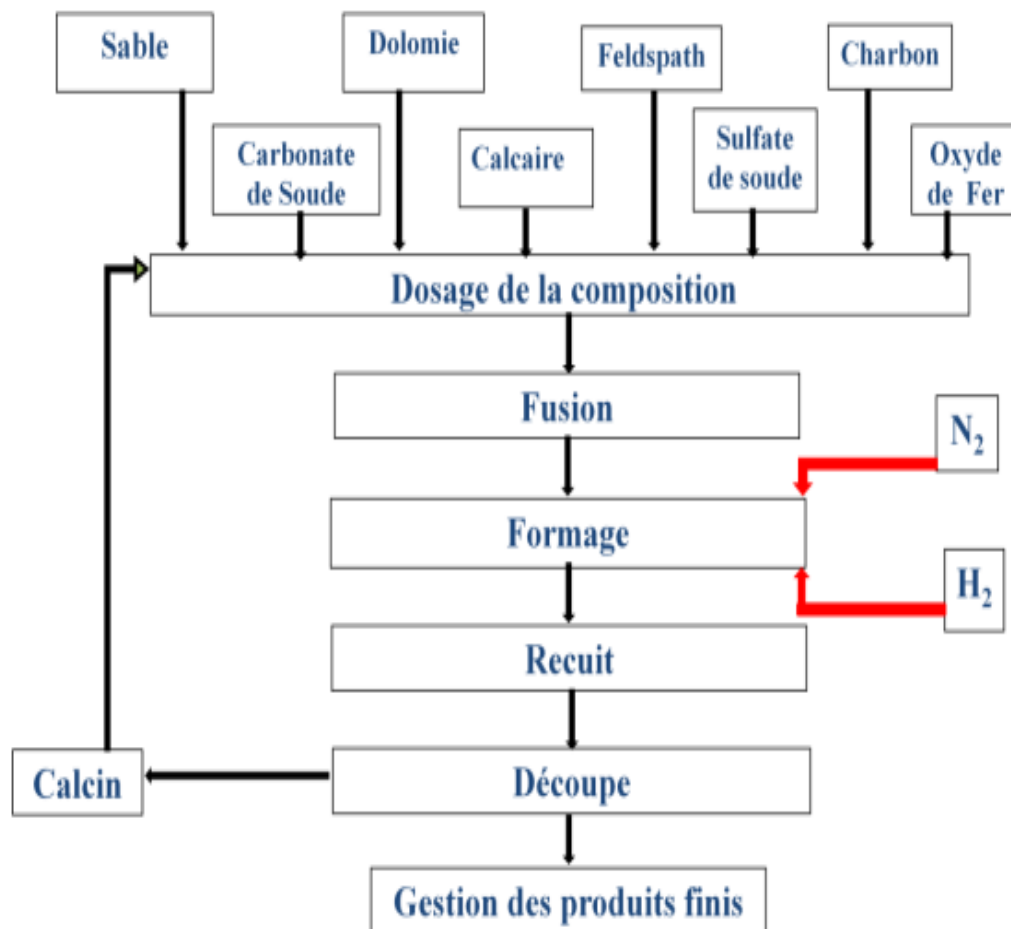
Trydimite (pière de quartz) :



Annexe 4: les actions d'améliorations proposées

<u>Type de défauts</u>	<u>Actions correctives</u>
Bulle d'air + Bull d'air de sulfate	• Augmenter leurs vitesses d'ascension avec l'augmentation de la température à la zone d'affinage • Ajout d'agent affinage tel que le sulfate de sodium pour augmenter le volume des bulles ce qui augmente leurs vitesses d'ascension • Ajustement du ratio air/gaz des brûleurs pour optimiser la fusion selon la zone (flamme oxydante qui a surplus d'oxygène; flamme réductrice qui manque d'oxygène) • Ajuster le ratio des affinant • Eviter les perturbations de températures (abaissements des températures dans les zones froides du four) • Vérifier la pression du four • Stabiliser le système de commande automatique surface/niveau du liquide et assurer l'enfournement régulier du mélange vitrifiable
Pierre de Quartz	• Respect des exigences qualitative de la matière première (composition chimique et granulométries principalement le cas du sable) • Stabilisation des paramètres du four • Sensibilisation du personnel pour éviter la contamination lors du chargement en matière première • Vérifier le calcin enfourné.
Pierre de Corindon	• Stabiliser le niveau du verre fondu. • Refroidissement des parois du four stable • Stabiliser la tirée • Stabiliser les paramètres du four (principalement en température)
Tache d'Oxyde d'Etain	• Assurer l'étanchéité du bain d'Etain • Stabiliser le régime thermique du bain d'Etain. • Stabiliser la qualité de l'atmosphère du bain d'étain • Stabilisé la pression du bain d'étain • Stabilisé la tirée

Annexe 5: Schéma de fonctionnement de la 1ère ligne de MFG



Résumé :

Depuis quelques années, les entreprises algériennes sont de plus en plus intéressées à appliquer des méthodes de résolution de problème pour améliorer et assurer la qualité de leurs produits. Dans ce travail, il nous a semblé utile de mesurer l'impact de la mise en place de la méthode Lean Six Sigma pour l'amélioration de la au sein de l'entrepris Méditerranéen Float Glass (MFG).pour atteindre notre objectif de réduire les pertes de qualité nous avons appliqué l'approche DMAIC (Définir, Mesurer, Analyser, Améliorer et Contrôler) de la méthode Six Sigma. Nous avons commencé par la définition du problème, ensuite on a mesuré des indicateurs quantitatifs de performance telle que, les taux de pertes, le z processus, par la suite, une analyse des données a été effectués qui nous a fait ressortir les défauts de qualité prioritaires. Dans l'étape améliorer, on a proposé défèrent actions d'amélioration. En fin nous avons fait appel à la démarche DMADV pour illustré une autre piste d'amélioration qui consiste à la mise en place d'un atelier de transformation du verre défectueux (calcin) en poudre de verre capable d'être utilisée dans divers industries

Mots clés: Lean Manufacturing, Six Sigma, démarche DMAIC, démarche DMADV, modèle QQQQCP, z processus, Pareto, Ishikawa.

Abstract:

In recent years, Algerian companies are increasingly interested in applying problem solving methods to improve and ensure the quality of their products. In this work, it seemed useful to us to measure the impact of the implementation of the Lean Six Sigma method for the improvement of the quality within the company Mediterranean Float Glass (MFG). To achieve our goal of reducing quality losses we applied the DMAIC approach (Define, Measure, Analyze, Improve and Control) of the Six Sigma method. We started with the definition of the problem, then we measured quantitative performance indicators such as loss rates, process z, then an analysis of the data was made which made us highlight the priority quality defects. In the improvement stage, we proposed several improvement actions. In the end we have called on the DMADV approach to illustrate another track of improvement which is the establishment of a workshop for processing of defective glass (cullet) in glass powder able to be used in various industries .

Key words: Lean Manufacturing, Six Sigma, DMAIC approach, DMADV approach, modèle QQQQCP, z process, Pareto, Ishikawa

ملخص :

في السنوات الأخيرة ، اهتمت الشركات الجزائرية بشكل متزايد بتطبيق أساليب حل المشكلات لتحسين وضمان جودة منتجاتها. في هذا العمل ، بدا من المفيد لنا قياس تأثير تنفيذ طريقة Lean Six Sigma لتحسين شركة داخل شركة Mediterranean Float Glass (MFG). لتحقيق هدفنا المتمثل في تقليل خسائر الجودة ، طبقنا نهج DMAIC. بدأنا بتعريف المشكلة ، ثم قمنا بقياس مؤشرات الأداء الكمية مثل معدلات الخسارة و قدرة خط الانتاج، ثم تم تحليل البيانات التي أبرزت عيوب الجودة والأولويات. في خطوة التحسين ، اقترحنا إجراءات تحسين مختلفة. أخيرًا ، استخدمنا نهج DMADV لتوضيح سبيل آخر للتحسين ، والذي يتكون من إنشاء ورشة عمل لتحويل الزجاج الغير مطابق لمعايير الجودة إلى مسحوق الزجاج الذي يمكن استخدامه في مختلف الصناعات.

الكلمات المفتاحية: Lean Manufacturing، Six Sigma، نهج DMAIC، نهج DMADV، نموذج QQQQCP، قدرة خط الانتاج، مخطط باريتو، مخطط اشيكاوا.

