

# Mémoire de Projet de Fin d'Études

Présenté en vue de l'obtention du titre

D'Ingénieur d'État

Spécialité : Génie Industriel

\* \* **BENYAMNA Aadil** \* \*

Titre :

**Amélioration de la ligne de production ALPHA à  
l'aide de Lean Six Sigma**



Société d'Accueil : **VETCAM**

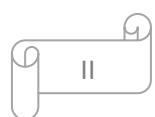


**Soutenu le : 07/07/2021 devant le jury composé de :**

- |                       |  |                  |
|-----------------------|--|------------------|
| • M. Said BAHASSINE   | : Professeur à l'ENSAM de Casablanca       | Président        |
| • M. Ismail B. GARCIA | : Directeur industriel à la société VETCAM | Parrain de stage |
| • M. Omar FANIDI      | : Professeur à l'ENSAM de Casablanca       | Examinateur      |
| • M. Abdelali ZAKRANI | : Professeur à l'ENSAM de Casablanca       | Encadrant        |

# Dédicaces

A mes très chers parents,  
A mes frères et sœurs,  
A ma famille et tous mes amis,  
A mes professeurs... Je dédie ce travail.



# Remerciements

Tout d'abord, je remercie Allah, le Tout-Puissant et le Donateur-Gracieux, de m'avoir octroyé la force, la patience, et l'aisance dans le déroulement de ce projet.

Avec une certaine émotion et beaucoup de sincérité que je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué d'une manière ou d'une autre à l'élaboration et à la réussite de ce projet.

En premier lieu, je tiens à remercier l'ensemble du personnel et les membres de VETCAM, Mr. Noureddine EL MOKHLIS, le directeur général, et Mr. Ismael BAKKALI GARCIA, le directeur industriel, pour leur accueil chaleureux au sein de la société, ainsi que pour leur confiance et précieux conseils. Je saisir également cette occasion pour adresser mes profonds remerciements au Mr. Aboubaker ATIGUI le responsable des ressources humaines d'avoir accepté de m'accueillir au sein de la société ainsi que pour les ressources mises à ma disposition tout au long de ce projet.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à mon tuteur industriel Mr. Karam ELFERHLI le Chef d'usine, qui a veillé à la bonne marche de mon projet et qui n'a épargné aucun effort pour m'orienter à mener ce travail, pour ses encouragements et son suivi permanent.

Un spécial remerciement à Mr. Aziz KISSI, le responsable d'unité de production ALPHA, Mr. Houssam HASSANI, le responsable de maintenance, et tous les opérateurs et les équipes de la ligne de production ALPHA pour l'aide qu'ils m'ont apporté tout au long de la période de ce projet.

Je tiens vivement à exprimer ma profonde reconnaissance à mon tuteur pédagogique à l'Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers de Casablanca, Mr. Abdelali ZAKRANI, qui n'a épargné aucun effort pour participer à la réussite de ce projet. Grâce à ses consignes, ses directives et son soutien inconditionnel, le présent travail a vu le jour.

Mes remerciements s'adressent également aux membres du jury qui ont accepté d'évaluer mon travail ainsi qu'à l'ensemble du corps professoral et administratif de l'Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers de Casablanca pour la qualité de la formation et sa diversité.

BENYAMNA Aadil

# Résumé

Afin de renforcer sa place de leader dans le domaine du « préfabriqué en béton » dans toute la zone Sud du Maroc, VETCAM a lancé plusieurs projets d'amélioration de ses sites de production dans le cadre de sa nouvelle stratégie afin de répondre aux besoins de ses clients. L'unité de production ALPHA était parmi les unités concernées par cette stratégie. Notre projet de fin d'études s'inscrit parfaitement dans ce cadre.

La présence de gaspillages en termes de temps disponible pour la production et baisse de la productivité constituent un véritable obstacle de l'évolution vers une usine hautement compétitive et performante. Ceci nécessite le recours à la politique Lean Six Sigma pour éliminer toutes sources de gaspillages et augmenter la productivité, la disponibilité et la performance de la ligne ALPHA.

Notre projet, hiérarchisé selon la démarche DMAIC, consiste dans un premier lieu à réaliser un diagnostic du processus de fabrication. Ensuite, collecter les données, les analyser et identifier les causes racines et majeures. Enfin, mettre en place les actions d'amélioration soit immédiates ou prévues à court ou moyen terme pour remédier aux problèmes.

**Mots clés :** Production - Amélioration - Productivité - Disponibilité - Performance - Gaspillages - DMAIC - Lean Six Sigma.

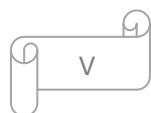
# Abstract

In order to maintain its leading position in the field of "prefabricated concrete" in South of Morocco, VETCAM has launched several projects to improve its production sites as part of its new strategy to satisfy the needs of its customers. The ALPHA production unit was one of these units concerned by this strategy. Our end-of-studies project is in line with this context.

The presence of waste in the form of time available for production and lower productivity is a real challenge to the evolution towards a highly competitive and efficient manufacturing company. This requires the use of the Lean Six Sigma approach to eliminate all the sources of waste and improve the productivity, availability, and performance of the ALPHA production unit.

Our project, organized according to the DMAIC method, begins with a diagnostic of the manufacturing process. Then, collecting the necessary statistics, analyzing them, and identifying the causes of the problem. Finally, implementing improvement actions, either immediate or planned for the short or medium term, to eliminate the problems.

**Key words :** Production - Improvement - Productivity - Availability - Performance - Waste - DMAIC - Lean Six Sigma.



## ملخص

في إطار الحفاظ على ريادتها لمجال " مواد البناء و التجهيز مسبقة الصنع " بالمنطقة الجنوبية بالمغرب، ارتأت شركة فيتكام إلى إطلاق العديد من المشاريع لتحسين مواقعها الإنتاجية كجزء من استراتيجيتها الجديدة من أجل تلبية احتياجات عملائها.

تعتبر وحدة الإنتاج ألفا من بين الوحدات التي شملتها هذه الإستراتيجية إذ يتناسب مشروع التخرج الخاص بنا تماماً مع أهدافها.

إن وجود أشكال التبذير من حيث الوقت المتأخر للإنتاج وانخفاض الإنتاجية يمثل تحدي حقيقي أمام التطور إلى مستوى عالي من الكفاءة والتنافسية. إذ يتطلب ذلك استخدام منهجية لين ستة سيجا للتخلص من جميع مصادر التبذير وزيادة إنتاجية، إتاحة و أداء وحدة الإنتاج ألفا.

يتكون مشروعنا، الذي تم تحديد أولوياته وفقاً لنهج ديماييك، أو لا في إجراء تشخيص لعملية التصنيع. ثم جمع البيانات وتحليلها وتحديد الأسباب الجذرية والأساسية. ثم أخيراً، وضع إجراءات التحسين، سواء كانت فورية أو مخططة على المدى القصير أو المتوسط، لمعالجة مشاكل التبذير.

**كلمات مفاتيح :** الإنتاج - التحسين - الإنتاجية - الإتاحة - الأداء - التبذير - ديماييك - لين ستة سيجا.

# Liste des acronymes

Abréviation	Désignation
AMDEC	Analyse des modes de défaillances, de leurs effets et leurs criticités
BC	Bon de commande
BL	Bon de livraison
DMAIC	Définir - Mesurer - Analyser - Innover - Contrôler
GMAO	Gestion de maintenance assistée par ordinateur
KPI	Key performance indicator
MSP	Maîtrise statistique des processus
MP	Matières premières
MTBF	Mean time between failures
MTTR	Mean Time To Repair
OF	Ordre de fabrication
OEE	Overall equipment effectiveness
QQOQCPC	Qui ? Quoi ? Où ? Quand ? Comment ? Pourquoi ? Combien ?
SMED	Single Minute Exchange of Die
SWOT	Strengths- Weaknesses – Opportunities- Threats
SIPOIC (en français FEPEC)	Supplier (Fournisseur), Inputs (Intrant), Process (processus), Outputs (Extrant), Customer (Client)
TRG	Taux de rendement global
TRS	Taux de rendement synthétique
TVA	Taux de valeur ajoutée
TPM	Total productive maintenance
TPS	Toyota Production System
VSM	Value stream mapping
VETCAM	Vogue Equipement Travaux Construction Ait Melloul
5P	5 pourquoi
5S	Seiri - Seiton - Seiso - Seiketsu - Shitsuke

# Liste des figures

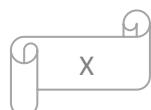
<i>Figure 1 : Chronologie d'implantation des sites de production.....</i>	5
<i>Figure 2 : Organigramme de VETCAM.....</i>	6
<i>Figure 3 : Cartographie de processus de VETCAM .....</i>	7
<i>Figure 4 : Plan de l'unité ALPHA par poste. ....</i>	8
<i>Figure 5 : Vue isométrique de l'unité ALPHA.....</i>	9
<i>Figure 6 : Répartition de main d'œuvre dans l'unité ALPHA. ....</i>	9
<i>Figure 7 : Simulation de processus de fabrication dans l'unité ALPHA dans le logiciel FlexSim. ....</i>	10
<i>Figure 8 : Logigramme de processus de fabrication dans l'unité ALPHA.....</i>	11
<i>Figure 9 : Cycle de machine vebropresse ALPHA.....</i>	13
<i>Figure 10 : Machine vebropresse ALPHA. ....</i>	13
<i>Figure 11 : Ascenseur et Descenseur et Chariot transbordeur.....</i>	14
<i>Figure 12 : Pince palettiseur.....</i>	14
<i>Figure 13 : Une planche : L'unité de calcul de production dans ALPHA. ....</i>	15
<i>Figure 14 : Le diagramme de bête à corne du cahier de charge. ....</i>	18
<i>Figure 15 : Diagramme de Gantt.....</i>	19
<i>Figure 16 : Le système de production Toyota. ....</i>	20
<i>Figure 17 : Les piliers de la TPM. ....</i>	23
<i>Figure 18 : Représentation schématique des étapes du 5S. ....</i>	24
<i>Figure 19 : les étapes de la méthode SMED .....</i>	25
<i>Figure 20 : Le but du Six Sigma : réduire la variabilité.....</i>	27
<i>Figure 21 : La méthode DMAIC se déroule selon cinq étapes. ....</i>	28
<i>Figure 22 : Les clefs du Lean Six Sigma. ....</i>	29
<i>Figure 23 : Diagramme SIPOC. ....</i>	34
<i>Figure 24 : VSM d'unité ALPHA.....</i>	38
<i>Figure 25 : les temps des cycles des process par rapport au Takt time.....</i>	40
<i>Figure 26 : Ecart entre la cadence réelle et théorique. ....</i>	42
<i>Figure 27 : L'évolution de TRS, TRG et ses taux composants. ....</i>	47
<i>Figure 28 : MTBF et MTTR. ....</i>	48
<i>Figure 29 : MTBF, MTTR et la disponibilité des mois Février, Mars et Avril 2021. ....</i>	49
<i>Figure 30 : Diagramme d'Ishikawa. ....</i>	52
<i>Figure 31 : Pareto des temps d'arrêt de la ligne ALPHA. ....</i>	55
<i>Figure 32 : La méthode 5P de gaspillage de temps en arrêts. ....</i>	56
<i>Figure 33 : Le chariot transbordeur. ....</i>	59
<i>Figure 34 : Les ensembles composants du chariot transbordeur multifourche .....</i>	59
<i>Figure 35 : Le diagramme de cas d'utilisation du système GMAO.....</i>	73
<i>Figure 36 : Le diagramme de classe du système GMAO. ....</i>	73
<i>Figure 37 : Poste sortie presse.....</i>	74

<i>Figure 38 : Les arrêts d'urgence et avertisseur sonores.....</i>	75
<i>Figure 39 : Les panneaux de signalisation de sécurité et santé.....</i>	76
<i>Figure 40 : Les étapes de la démarche SMED.....</i>	77
<i>Figure 41 : La localisation de mini stock, l'unité ALPHA et le magasin d'usine.....</i>	81
<i>Figure 42 : Triage des moules selon leur état.....</i>	82
<i>Figure 43 : Ranger les outils dans une armoire près de la presse.....</i>	82
<i>Figure 44 : L'identification des moules par leur nom et numéro par une peinture jaune.....</i>	83
<i>Figure 45 : Identification des tiroirs de rangement des outils dans le mini stock .....</i>	84
<i>Figure 46 : Etiquette des palettes.....</i>	85
<i>Figure 47 : Palettes étiquetées et stockées.....</i>	85
<i>Figure 48 : Voie "K" du parc de stock .....</i>	86
<i>Figure 49 : Plan de tableau d'affichage.....</i>	86
<i>Figure 50 : La mise en place du tableau d'affichage (management visuel).....</i>	87
<i>Figure 51 : Le tableau de bord d'unité ALPHA. ....</i>	90
<i>Figure 52 : L'évolution de la production après l'application de 2 shifts. ....</i>	91
<i>Figure 53 : La zone des moules ALPHA. ....</i>	92
<i>Figure 54 : Bordure T3. ....</i>	93
<i>Figure 55 : La carte de contrôle de la moyenne. ....</i>	96
<i>Figure 56 : La carte de contrôle de l'étendue. ....</i>	97
<i>Figure 57 : La capacité machine selon la hauteur. ....</i>	98
<i>Figure 58 : Le cartouche d'entête des documents. ....</i>	100
<i>Figure 59 : Croquis du galet du chariot extracteur. ....</i>	102
<i>Figure 60 : Croquis du galet de skip.....</i>	102
<i>Figure 61 : Croquis du vérin de casque trémie.....</i>	102
<i>Figure 62 : Croquis d'axe cylindrique. ....</i>	102
<i>Figure 63 : Croquis de pince de la bordure.....</i>	103
<i>Figure 64 : Vue isométrique de pince de la bordure par CATIA V5.....</i>	103
<i>Figure 65 : Réalisation de la pince de la bordure. ....</i>	103
<i>Figure 66 : Archive des documents de service production. ....</i>	103
<i>Figure 67 : Les positions des ventilateurs au sein de l'unité ALPHA. ....</i>	105
<i>Figure 68 : Diagramme A0 de crible à tambour.....</i>	106
<i>Figure 69 : Le diagramme bête à corne de crible à tambour. ....</i>	107
<i>Figure 70 : Le diagramme de pieuvre de crible à tambour. ....</i>	108
<i>Figure 71 : Croquis de crible à tambour. ....</i>	110
<i>Figure 72 : Les différentes vues de la conception de crible à tambour par CATIA V5. ....</i>	111
<i>Figure 73 : Le crible à tambour.....</i>	111



# Liste des tableaux

Tableau 1 : Les filiales de Groupe ELMOKHLIS .....	4
Tableau 2 : Fiche signalétique de VETCAM.....	6
Tableau 3 : les Tâches associées aux MO dans l'unité ALPHA .....	10
Tableau 4 : Matières premières de l'unité ALPHA.....	12
Tableau 5 : Nombre des pièces par planche et palette.....	15
Tableau 6 : Les types des entrevois commercialisés par VETCAM.....	16
Tableau 7 : Les types des produits de pavage commercialisés par VETCAM.....	16
Tableau 8 : La méthode QQOQCPC.....	33
Tableau 9 : Les indicateurs de performance KPIs utilisés.....	33
Tableau 10 : Charte de projet.....	35
Tableau 11 : Analyse SWOT .....	36
Tableau 12 : les temps de cycle de chaque process .....	39
Tableau 13 : La cadence théorique de la machine ALPHA par type de produit.....	42
Tableau 14 : Les données de rapport de production.....	44
Tableau 15 : Les donnée de fiche de relevés des temps d'arrêts .....	45
Tableau 16 : les arrêts planifiés et non planifiés .....	46
Tableau 17 : Les taux calculés par Excel.....	46
Tableau 18 : TRS et TRG des mois Février, Mars et Avril 2021 .....	47
Tableau 19 : Taux de productivité des mois Février, Mars et Avril 2021.....	49
Tableau 20 : Les fiches de calcul de rebut .....	50
Tableau 21 : Taux de rebut des mois Février, Mars et Avril 2021 .....	50
Tableau 22 : Récapitulatif des indicateurs de performances des mois Février, Mars et Avril 2021....	51
Tableau 23 : Pondération de la gravité des causes .....	53
Tableau 24 : Matrice des votes pondérés.....	53
Tableau 25 : Les temps d'arrêts de l'unité ALPHA dans les mois Février, Mars et Avril 2021.....	55
Tableau 26 : Grille AMDEC .....	57
Tableau 27 : Cotation de gravité AMDEC.....	58
Tableau 28 : Cotation de fréquence AMDEC .....	58
Tableau 29 : Cotation de détection AMDEC .....	58
Tableau 30 : Grille AMDEC du chariot transbordeur multifourche. ....	60
Tableau 31 : Plan d'action d'amélioration .....	63
Tableau 32 : Matrice Gains-Efforts .....	64
Tableau 33 : Les actions correctives et préventives sur le chariot transbordeur .....	65
Tableau 34 : Les action correctives et préventives sur la chargeuse.....	66
Tableau 35 : Les action correctives et préventives sur le descenseur.....	66
Tableau 36 : Les action correctives et préventives sur l'ensemble vibration.....	66
Tableau 37 : Tableau 37 : Les actions de manque de palette et les essais non planifiés.....	67
Tableau 38 : Le planning de maintenance préventive d'unité ALPHA.....	68
Tableau 39 : Le planning préventif annuel. ....	69
Tableau 40 : Le programme d'entretien de l'unité ALPHA.....	71
Tableau 41 : Fiche de vie de moule.....	71



<i>Tableau 42 : L'organisation des shifts de travail dans l'unité ALPHA.</i> .....	76
<i>Tableau 43 : La répartition de temps de changement de moule.</i> .....	77
<i>Tableau 44 : Etat avant de changement de moule.....</i>	78
<i>Tableau 45 : Etat après de changement de moule.....</i>	79
<i>Tableau 46 : Les actions amélioratives de temps de changement de moule. ....</i>	79
<i>Tableau 47 : Les pièces critiques de l'unité ALPHA. ....</i>	80
<i>Tableau 48 : Rangement des moules dans les étagères.....</i>	83
<i>Tableau 49 : Check-list d'audit des 5S. ....</i>	84
<i>Tableau 50 : Recalcul des indicateurs et détermination des gains. ....</i>	88
<i>Tableau 51 : Les temps d'arrêt de la classe A de Pareto pour la période 20 Mai – 20 Juin 2021 .....</i>	89
<i>Tableau 52 : Nombre des planches produites dans le mois MARS. ....</i>	90
<i>Tableau 53 : Premier audit après un mois de déploiement du chantier 5S. ....</i>	91
<i>Tableau 54 : Les tolérances de la hauteur des produits.....</i>	92
<i>Tableau 55 : : Les mesures de la hauteur de la bordure T3 pendant le mois Avril et Mai 2021.....</i>	94
<i>Tableau 56 : Les coordonnées de la carte de contrôle.....</i>	96
<i>Tableau 57 : Les donnée de la capabilité machine. ....</i>	97
<i>Tableau 58 : La documentation créée pour le service production et maintenance VETCAM. ....</i>	101
<i>Tableau 59 : L'état avec ou sans le système d'extraction.....</i>	105
<i>Tableau 60 : Les fonctions principales et contraintes.....</i>	108
<i>Tableau 61 : Les fonctions et ses critères d'appréciations.....</i>	109
<i>Tableau 62 : Les composants principaux pour la réalisation de cible à tambour. ....</i>	109



# Table des matières

Dédicaces .....	II
Remerciements .....	III
Résumé .....	IV
Abstract .....	V
مُلْكَع.....	VI
Liste des acronymes .....	VII
Liste des figures .....	VIII
Liste des tableaux .....	X
Table des matières .....	XII
Introduction générale.....	1
<b>Chapitre I : Présentation de l'entreprise VETCAM.....</b>	<b>4</b>
<b>1 Présentation du Groupe ELMOKHLIS.....</b>	<b>4</b>
<b>2 Présentation du Sté VETCAM .....</b>	<b>5</b>
2.1 Historique et évolution de VETCAM.....	5
2.2 Carte d'identité de VETCAM.....	6
2.3 Organigramme de VETCAM .....	6
<b>3 Processus de fabrication .....</b>	<b>7</b>
3.1 Cartographie des processus global de VETCAM .....	7
3.2 Description de processus de fabrication .....	8
3.2.1 L'unité concernée par le projet .....	8
3.2.2 Description de l'unité ALPHA .....	8
3.2.3 Processus de fabrication dans l'unité ALPHA .....	10
3.3 Produits de l'unité ALPHA .....	15
<b>Chapitre II : : Contexte du projet.....</b>	<b>18</b>
<b>1 Cahier de charge .....</b>	<b>18</b>
1.1 Contexte pédagogique .....	18
1.2 Acteurs du projet .....	18
1.3 Objectif du projet.....	18
1.4 Planning du projet.....	19
<b>2 Stratégie de conduite du projet.....</b>	<b>19</b>
2.1 Lean Manufacturing .....	20
2.1.1 Définition de Lean Manufacturing .....	20

2.1.2	Edifice du Lean manufacturing : la maison « TPS ».....	20
2.2	Le Six Sigma .....	27
2.2.1	Définition de Six Sigma .....	27
2.2.2	La méthode de résolution de problèmes DMAIC .....	28
2.3	Lean Six Sigma.....	29
2.3.1	La complémentarité du Lean et du Six Sigma .....	29
2.3.2	Les quatre clefs du Lean Six Sigma .....	29
<b>Chapitre III : Traitement de projet.....</b>		<b>31</b>
<b>1 PHASE 1 : DEFINIR.....</b>		<b>31</b>
1.1	Cadre de projet.....	31
1.2	Problématique .....	31
1.3	La méthode QOQCPC .....	32
1.4	Périmètre de projet.....	33
1.5	Indicateurs de performance KPIs .....	33
1.6	Description du processus étudié .....	34
1.7	Charte du projet .....	34
1.8	Grille SWOT.....	36
1.9	Planning du projet.....	36
<b>2 PHASE 2 : MESURER.....</b>		<b>37</b>
2.1	Réalisation de la cartographie VSM .....	37
2.2	Les indicateurs de performances .....	40
2.2.1	La capacité de production et le taux d'utilisation de la capacité .....	40
2.2.2	Taux de rendement synthétique - TRS .....	43
2.2.3	MTBF et MTTR .....	47
2.2.4	Taux de productivité.....	49
2.2.5	Taux de rebut.....	50
<b>3 PHASE 3 : ANALYSER.....</b>		<b>50</b>
3.1	Analyse des données.....	51
3.2	Analyse de processus .....	51
3.2.1	Interprétation des données de VSM .....	51
3.2.2	Analyse des causes .....	52
3.2.3	Analyses des temps d'arrêts dans l'unité ALPHA .....	54
<b>Chapitre IV : Action d'amélioration et proposition des solution optimales .....</b>		<b>63</b>
<b>1 PHASE 4 : INNOVER .....</b>		<b>63</b>
1.1	Plan d'action .....	63
1.1.1	Les axes principaux du plan d'action .....	63
1.1.2	La priorité de la mise en place des actions .....	63
1.2	Mise en place des actions .....	64

1.2.1	La TPM .....	64
1.2.2	Changement des nombres de shifts de travail dans l'unité .....	76
1.2.3	Le chantier SMED et 5S.....	76
1.2.4	Le management visuel.....	85
<b>2</b>	<b>PHASE 5 : CONTROLER .....</b>	<b>88</b>
2.1	Recalcul des KPIs et estimation des gains.....	88
2.2	Le tableau de bord .....	89
2.3	L'impact de changement des nombres de shifts de travail dans l'unité .....	90
2.4	Le contrôle périodique de déploiement des 5S.....	91
2.5	La MSP : La carte de contrôle et l'analyse de capabilité machine.....	92
2.5.1	Collecte des données .....	92
2.5.2	La carte de contrôle et la capabilité machine .....	94
<b>Chapitre V : Autres perspectives d'amélioration.....</b>	<b>100</b>	
1	Génération de la documentation .....	100
1.1	Les documents de service production et maintenance.....	100
1.2	Les croquis des pièces .....	101
1.3	Création d'archive .....	103
<b>2</b>	<b>Codification des pièces de rechange .....</b>	<b>104</b>
<b>3</b>	<b>Système d'extraction ALPHA.....</b>	<b>104</b>
<b>4</b>	<b>Le crible à tambour .....</b>	<b>105</b>
4.1	Pourquoi un crible à tambour ?.....	105
4.2	Cahier de charge de crible à tambour .....	106
4.2.1	Diagramme A0 .....	106
4.2.2	Enoncer le besoin .....	106
4.2.3	Valider le besoin.....	107
4.2.4	Étude de faisabilité .....	108
4.3	La conception et réalisation de crible à tambour .....	109
<b>Conclusion générale .....</b>	<b>112</b>	
<b>Bibliographie et Webographie .....</b>	<b>114</b>	
<b>Annexes .....</b>	<b>116</b>	



## Introduction générale

Dans le monde industriel d'aujourd'hui, une entreprise performante doit adapter sa production aux besoins de ses clients, nouveaux styles d'organisation et technologies, fluctuations du marché et l'environnement concurrentiel. Le service de production est le cœur des entreprises industrielles, mais son succès se mesure par sa capacité à maintenir en permanence et efficience une production de haute qualité à moindre coût, et à assurer la disponibilité de sa ligne et attaquer toutes les sources de gaspillage afin d'éviter toute déficience dans la bon fonctionnement de la fabrication ou de la livraison des produits aux clients qui peuvent provoquer des rejets coûteux ou des coûts supplémentaires non désirables ou des plaintes et des réclamations qui frustreront les attentes de l'entreprise.

L'industrie de préfabriqués en béton et les matériaux de construction, en raison de l'optimisation des coûts et des délais, devient actuellement une branche d'activité incontournable dans le domaine de la construction moderne et le secteur du bâtiment et des travaux publics. En fait, être leader dans ce domaine nécessite la performance et l'efficience de l'entreprise en termes de la satisfaction des exigences demandées.

Dans cette optique et selon sa vision de progrès, VETCAM, dans ses sites de production, s'efforce d'augmenter sa productivité sans affecter négativement des standards de la qualité, le coût, les délais et la sécurité en tout assurant la stabilité en termes de satisfaction des clients.

Depuis la dernière augmentation des marchés et des projets dans la zone Sud du Maroc surtout la demande sur les produits de l'unité ALPHA de fabrication des pavés, bordures, agglos et hourdis, VETCAM rencontre un défi à propos des exigences requises en termes de quantité en tenant compte que la qualité du produit est la priorité absolue, sachant que théoriquement, la ligne de production ALPHA peut atteindre les objectifs et les cibles, mais à cause de la présence des sources de gaspillages, une dispersion a été créée entre la capacité théorique et réelle. En effet, beaucoup de temps est perdu en essais et erreurs pour trouver les bons réglages et en arrêts, pannes ou attentes.

Dans ce sens, le Lean Six Sigma est la politique qui répond le plus à ces défis pour les avantages qu'il présente en termes de collecte, analyse de données statistiques et réalisation de plans d'actions pour améliorer la productivité en toute qualité et satisfaire le client. Le choix de Lean Six Sigma a été basé aussi sur la politique de l'entreprise et le contexte industriel de la problématique. En effet, L'approche Lean recherche la performance et l'efficience et la démarche Six Sigma élimine la dispersion et les défauts dans un processus de production. Alors le Lean Six Sigma amène à répondre aux objectifs de la stratégie de satisfaction et à développer une culture de l'amélioration continue.

Le présent travail, s'inscrit dans le cadre du projet de fin d'études, vient répondre à cette vision en veillant à l'amélioration de la ligne de production ALPHA à l'aide de Lean Six Sigma. Ainsi, le présent rapport s'articule autour de cinq chapitres structurés et organisés selon la démarche DMAIC de Six Sigma.

Le premier chapitre de notre projet a été consacrée à représenter un aperçu global sur l'organisme d'accueil et de ses différentes activités ainsi que l'unité ALPHA, qui m'a accueilli pour le stage de fin d'études, et par laquelle mon sujet est concerné en détaillant son processus de fabrication pour mettre en contexte notre projet.

Puis, dans un deuxième chapitre, on a projeté la lumière sur le cahier de charge de notre projet, ses objectifs à atteindre et le planning de déroulement ainsi que les démarches les outils

à suivre et adopter pour la conduite de projet en définissant les outils de Lean, l'approche six sigma et la complémentarité du Lean et du Six Sigma.

Ensuite le troisième chapitre a été dédié pour le traitement de projet en commençant par les trois premières étapes de DMAIC en définissant la problématique, le périmètre de projet et en présentant les indicateurs de performance et les données à collecter et mesurer. Ensuite, on commence à mesurer la situation en début en détaillant le processus de fabrication de l'unité ALPHA par une cartographie de chaîne de valeur VSM pour mettre en lumière le processus et voir les postes gênants dont lesquels on peut réagir, et en calculant les indicateurs prédefinis qui concernent la production et la maintenance. Et par la suite, on effectue une étude analytique qui consiste à détecter les écarts, les défauts et ses causes majeures par les outils Pareto, Ishikawa, 5P et AMDEC.

Le quatrième chapitre aborde les 2 dernières étapes de DMAIC par la mise en place des actions et des chantiers d'amélioration pour remédier aux problèmes identifiés dans le chapitre précédent ainsi que les résultats et les gains de leur déploiement suivant l'analyse réalisée.

Finalement, on a consacré le cinquième chapitre pour les autres perspectives d'amélioration mises en place immédiatement après la détection de besoin qui ne nécessite pas une étude profonde, ou des autres projets d'amélioration à venir et à traiter indépendamment de notre projet actuel.



# Chapitre I

---

## Présentation de l'entreprise VETCAM

---

Ce premier chapitre représentera un aperçu global sur l'organisme d'accueil et de ses différentes activités en présentant de manière générale le Groupe ELMOKHLIS, ainsi que sa société affiliée VETCAM et son processus de fabrication.

## Chapitre I : Présentation de l'entreprise VETCAM

### 1 Présentation du Groupe ELMOKHLIS

Le Groupe ELMOKHLIS opère depuis près de 30 ans dans différents secteurs d'activités dont principalement le BTP et l'Immobilier ; tout en touchant aussi au Transport et à l'Énergie. Le groupe traite un portefeuille client qui dépasse les 1000 projets par an avec un chiffre d'affaire consolidé de 800 000 000 Dhs. Le groupe rassemble plus de 500 collaborateurs avec 7 filiales complémentaires et affichant un objectif commun.

	Production de matériaux de construction et préfabriqués en béton
	Construction de bâtiment
	Aménagement, VRD et assainissement
	Promotion immobilière
	Transport de marchandise
	Production de granulats destinés au marché du BTP
	Gestion des Station de services

Tableau 1 : Les filiales de Groupe ELMOKHLIS.

## 2 Présentation du Sté VETCAM

### 2.1 Historique et évolution de VETCAM

La société VETCAM se positionne dans un groupe qui se dote d'une expérience avoisinant les 30 ans dans les secteurs de l'immobilier, des BTP, logistique et les matériaux de construction dont révèle l'activité de la société VETCAM.

En 2011, le Groupe ELMOKHLIS s'agrandit avec sa nouvelle filiale VETCAM, entreprise destinée à la production d'agglomérés et d'éléments préfabriqués en béton.

Depuis sa création, VETCAM s'est forgé une place de leader dans le domaine du « préfabriqué en béton » dans toute la zone Sud du Maroc, en mettant sur le marché des produits phares, innovants et de qualité.

L'entreprise compte aujourd'hui, 4 sites de production avec plus de 170 collaborateurs qui grâce à leur compétence, expertise et engagement ont réussi à développer une performance collective. C'est grâce à ce facteur humain que VETCAM a pu évoluer au rythme d'un Maroc toujours en plein essor et en pleine croissance et satisfaire les besoins de ses clients. Un client qui se trouve toujours au cœur de sa stratégie de développement.

VETCAM propose une gamme diversifiée de produits en béton, à savoir : les revêtements extérieurs (pavés, bordures et caniveaux) ; le mobilier urbain (bancs, jardinières, bornes et corbeilles) ; les planchers (système de poutrelles/ hourdis, poutres économiques, dalles alvéolées et prédalles) ; les murs (agglos en béton et murs alvéolés).

La vision de VETCAM est de fonder un avenir sur une performance réfléchie ; c'est-à-dire valoriser et développer la gestion et le partage des connaissances, proposer toujours un excellent rapport qualité-prix à nos clients et favoriser l'une utilisation accrue de nouvelles technologies, toujours dans le respect des normes de qualité et sécurité en vigueur.

En 2017, la société a inauguré un nouvel investissement tant sur le plan matériel que sur le plan humain avec la construction du site de production MOHAMED VI (VETCAM 2).

La création du site MOHAMED VI et le changement du local de la direction été l'une des décisions stratégiques qui ont contribué au développement du chiffre d'affaires mais aussi de la notoriété de l'entreprise et son image qui est connue par la qualité de ses produits.

La politique qualité adoptée par la société VETCAM fût un facteur central qui a mis la société dans la position de leader sur l'intégralité la région.

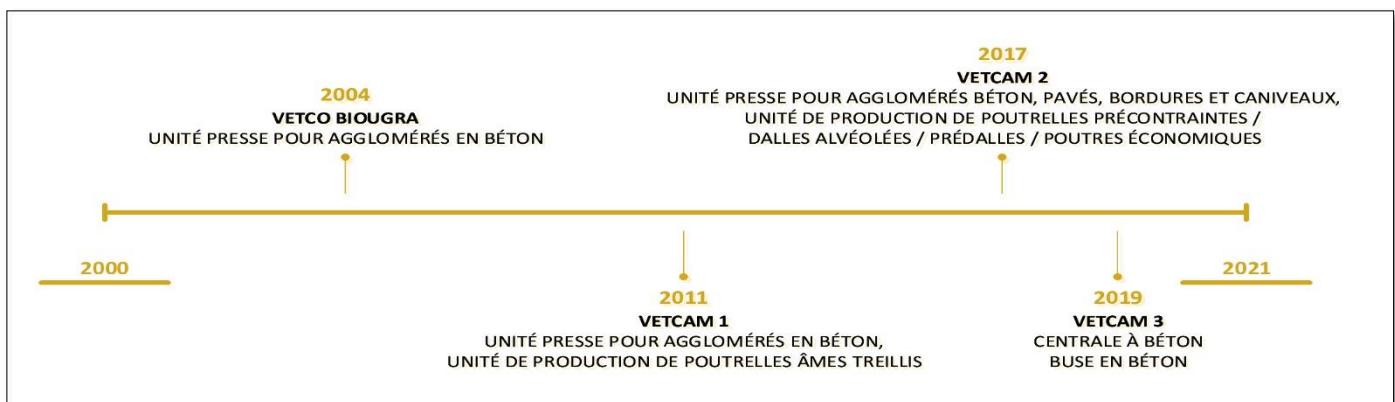


Figure 1 : Chronologie d'implantation des sites de production.

## 2.2 Carte d'identité de VETCAM

Le tableau 2 montre la fiche signalétique de la société VETCAM.

<b>Entreprise</b>	Société Vogue Equipement Travaux Construction Ait Melloul « VETCAM ».
<b>Forme juridique</b>	Société à Responsabilité limité, « S.A.R.L »
<b>Secteur d'activité</b>	BTP : Industrie des matériaux de constructions et préfabriqués en béton
<b>Date de création</b>	2011
<b>Object de commerce</b>	Fabrication et vente des matériaux de constructions et mobilier urbain
<b>Capital social</b>	10.000.000 MAD
<b>Chiffre d'affaire</b>	200.000.000 MAD
<b>Date de création</b>	2012
<b>Registre de commerce</b>	7349 INEZGANE
<b>Identifiant fiscale (IF)</b>	5725361
<b>Identifiant Commun Entreprise (ICE)</b>	001643060000039
<b>Patente</b>	48845091
<b>Effectif</b>	500
<b>Clients</b>	Plus de 300 clients chaque année
<b>Adresse</b>	233, Av Mohamed V, zone industrielle Ait Melloul, Agadir
<b>Téléphone/Fax</b>	05 28 24 24 00 / 05 28 24 05 10
<b>Directeur général</b>	Mr. Noureddine EL MOKHLIS
<b>Site web</b>	<a href="https://vetcam.org">https://vetcam.org</a>

Tableau 2 : Fiche signalétique de VETCAM.

## 2.3 Organigramme de VETCAM

La figure 2 montre l'organigramme de la société VETCAM.

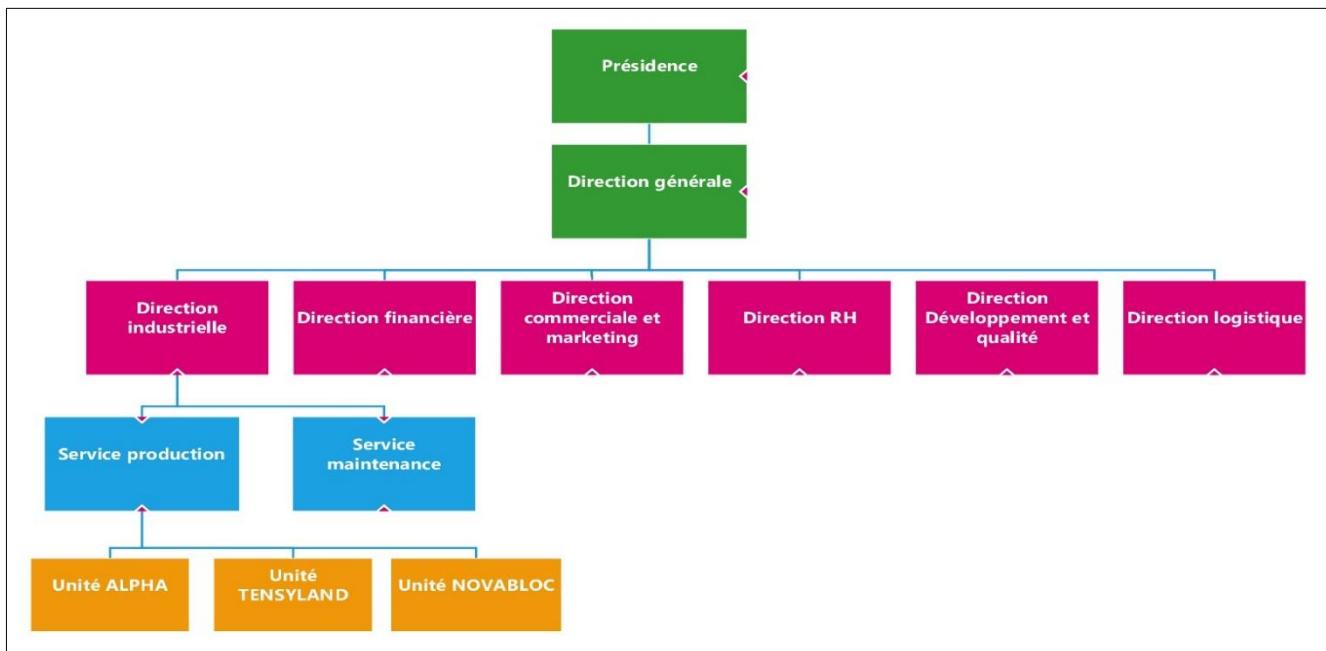


Figure 2 : Organigramme de VETCAM.

### 3 Processus de fabrication

#### 3.1 Cartographie des processus global de VETCAM

Afin de décrire le processus global de l'entreprise, la cartographie présentée sur la figure 3 montre les opérations essentielles effectuées entre les services dès la réception de commande de client jusqu'à la livraison des produits finis en montrant le flux des documents et la communication entre les services.

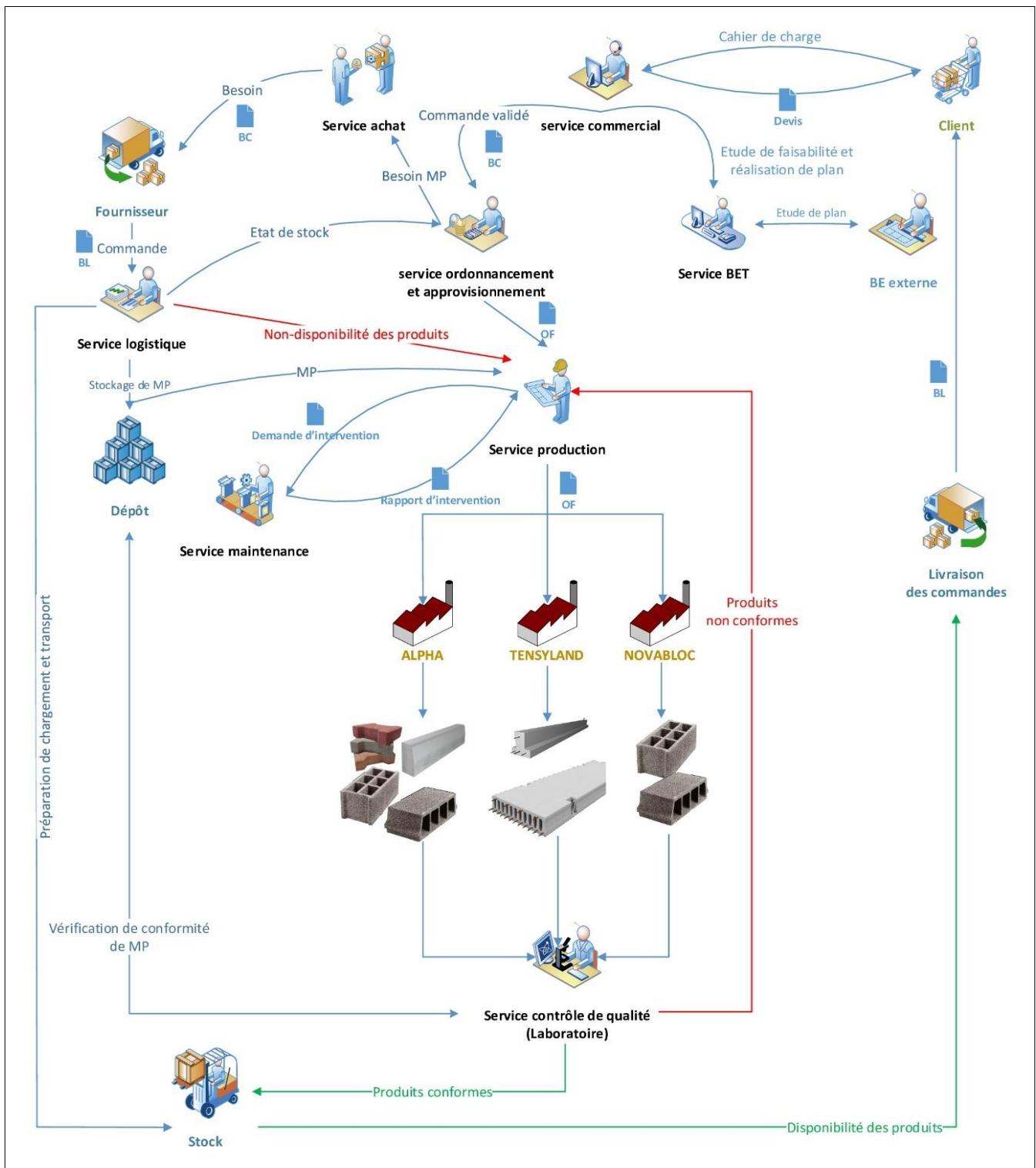


Figure 3 : Cartographie de processus de VETCAM.

La figure précédente représente les flux d'informations et de la matière entre les services de la société en montrant la communication entre ses services dès la réception de la commande de client par le service commercial qui contacte le bureau d'étude interne pour étudier la faisabilité et la réalisation de plan. Après la confirmation de plan, le service d'ordonnancement vérifie l'état de stock de MP et contacte le service d'achat au cas de besoin de MP. Ce dernier contacte le fournisseur de MP qui se coordonne avec le service logistique. Ensuite, Le service de production reçoit l'ordre de fabrication et lance la production selon la commande dans ses trois sites et qui se coordonne avec le service de maintenance pour garantir le bon fonctionnement des machines et avec le service de contrôle de qualité pour vérifier la conformité des produits. Enfin, le service logistique prépare le transport pour la livraison des commandes aux clients.

### 3.2 Description de processus de fabrication

#### 3.2.1 L'unité concernée par le projet

Notre projet d'amélioration concerne le département industriel et plus précisément le service de production dans son unité ALPHA de production des agglomérés béton, pavés, bordures et caniveaux. Cette désignation est due à la machine principale de cette unité 'COMPACTA ALPHA' de la marque espagnole PRENSOLAND des équipements et machines à blocs et des machines spécialement conçues pour la production d'éléments en béton préfabriqué et précontraint.

#### 3.2.2 Description de l'unité ALPHA

Le système de fabrication dans la ligne de production ALPHA est entièrement automatique dès la demande de matière première jusqu'à l'extraction des produits finis grâce à l'automatisme commande numérique dans la salle de commande au sein de l'unité, par laquelle l'opérateur contrôle tout le process. Le circuit est fermé et séchage des pièces est en tunnel, adaptable aux besoins du client et le système est équipé avec des technologies très avancées.

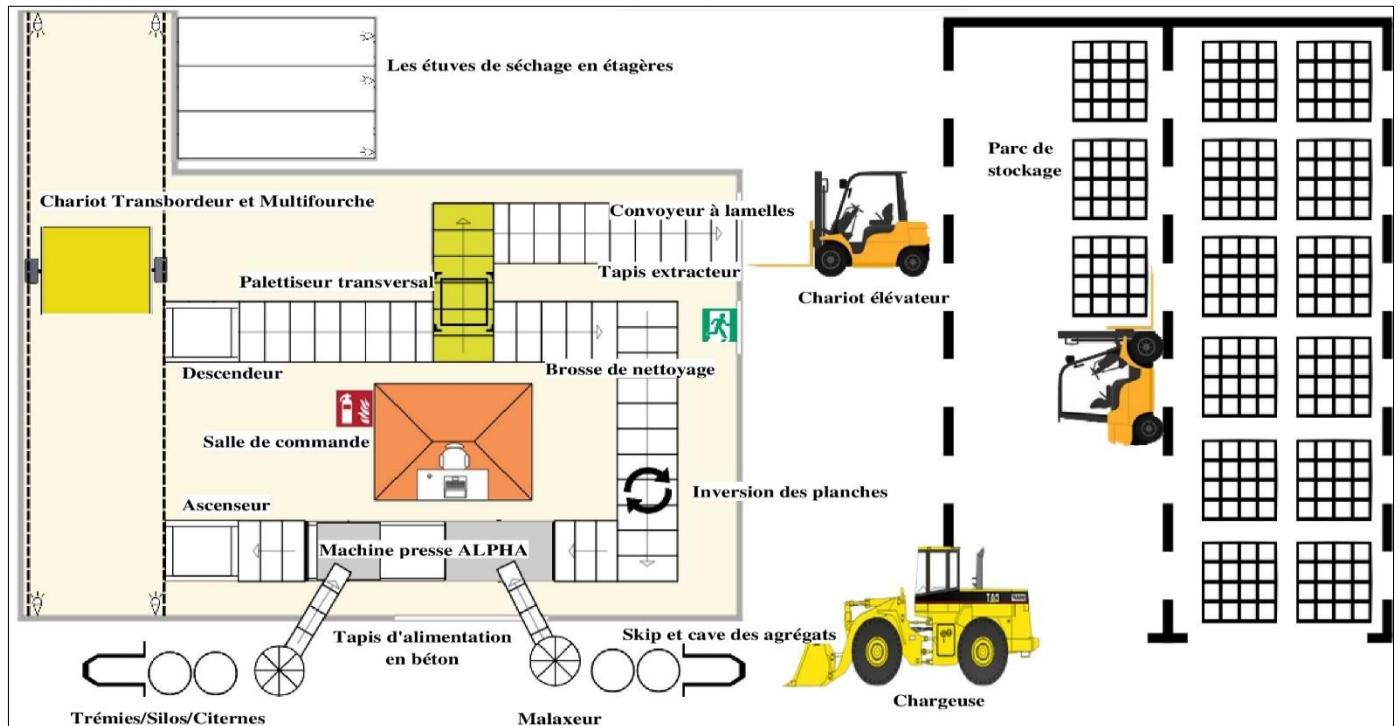


Figure 4 : Plan de l'unité ALPHA par poste.

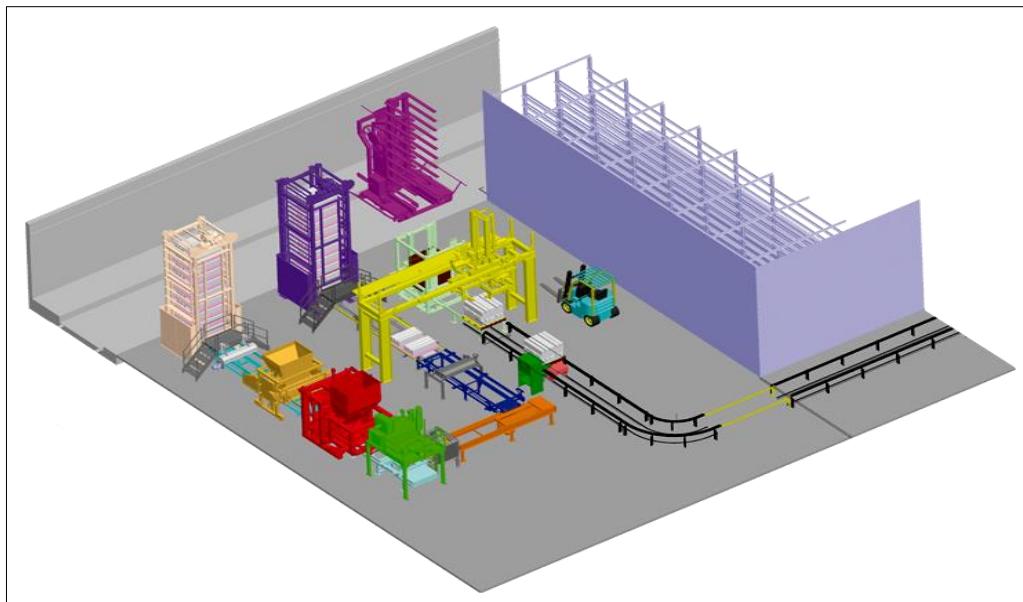


Figure 5 : Vue isométrique de l'unité ALPHA.

L'intervention humaine dans cette ligne de production se représente en un opérateur dans la salle de commande et des ouvriers dans chaque poste pour des intérêts de contrôle comme le montre la figure 6.

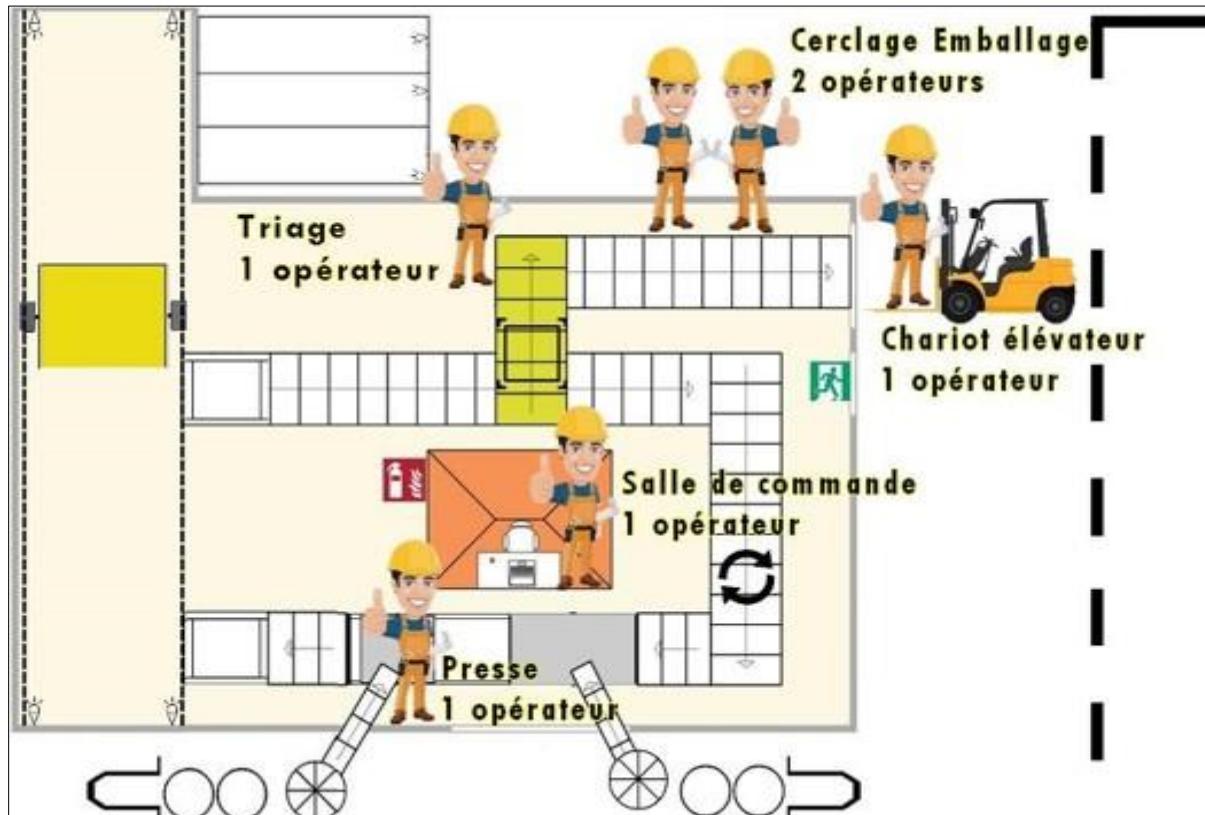


Figure 6 : Répartition de main d'œuvre dans l'unité ALPHA.

Le tableau 3 montre les tâches associées à chaque ouvrier.

N°	Poste	Tâches Associées
Opérateur	Salle de commande	➤ Contrôler les flux, process de production, commande machine et des ouvriers.
1	Presse ALPHA	➤ Contrôler et retouche de produit sortant de la presse ➤ Contrôler les planches non conformes
2	Triage	➤ Trier les palettes ➤ Contrôler les pièces rebuts
3	Chariot élévateur	➤ Evacuer les produits finis vers le parc de stockage
4	Cerclage et emballage	➤ Emballer les paquets
5	Additif	➤ Cas de présence de teinte (bicouche) : Chargé par la teinte ➤ Cas de sortie des bordures : Repositionner les planches ➤ Nettoyage

Tableau 3 : les Tâches associées aux mains d'œuvre dans l'unité ALPHA.

Pour bien visualiser le processus de fabrication dans l'unité ALPHA, Une simulation a été créé par le logiciel FlexSim pour bien identifier les flux, comprendre les goulots et analyser le système.



Figure 7 : Simulation de processus de fabrication dans l'unité ALPHA dans le logiciel FlexSim.

### 3.2.3 Processus de fabrication dans l'unité ALPHA

Le processus de fabrication des produits en béton dans l'unité ALPHA peut être décrit en différentes étapes entièrement automatisées en circuit fermé et séchage des pièces en tunnel. On peut le résumer en logigramme présenté sur la figure 8.

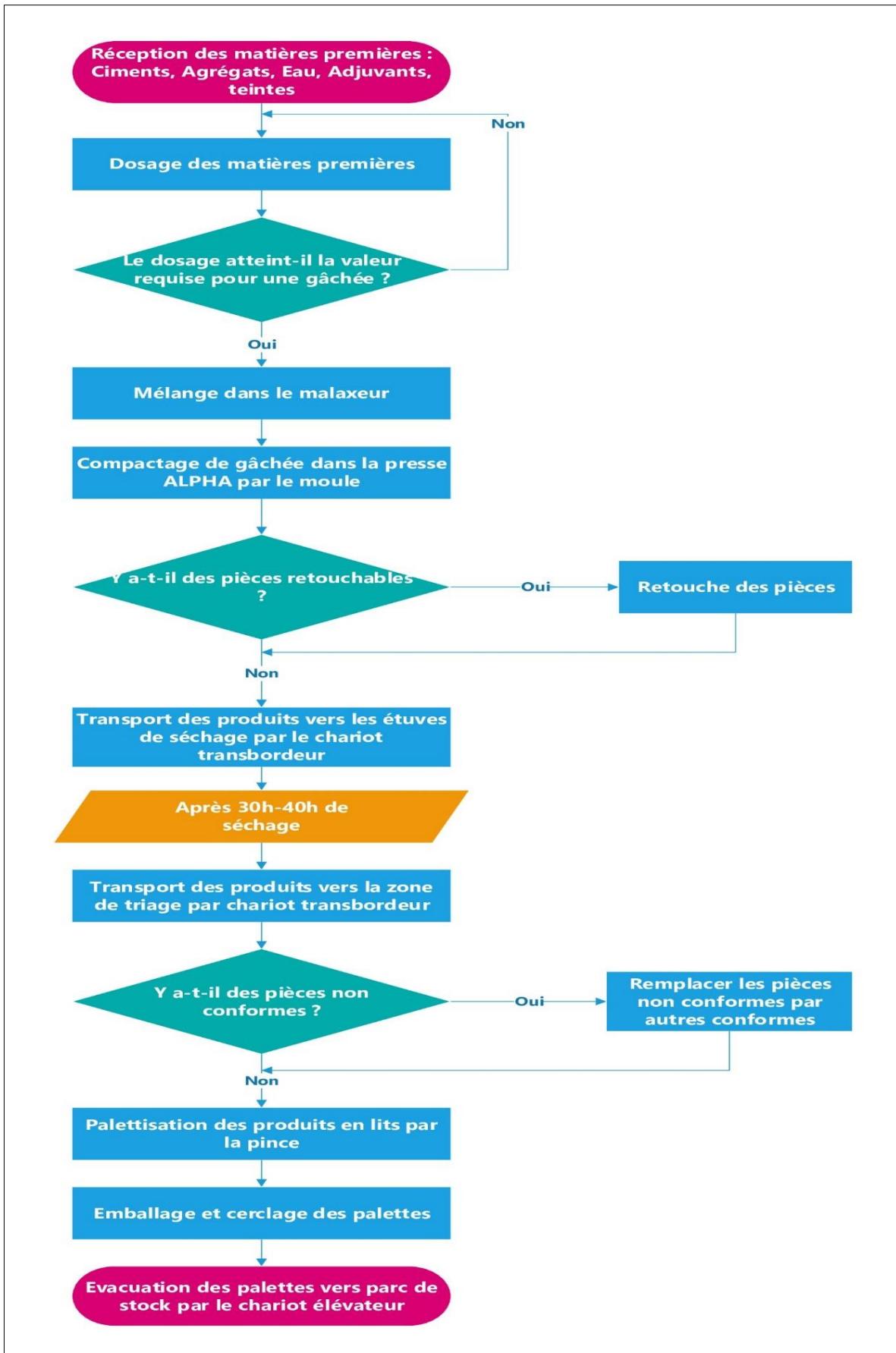


Figure 8 : Logigramme de processus de fabrication dans l'unité ALPHA.

### 3.2.3.1 Réception et dosage des matières premières

Après l'introduction des matières premières affichées dans le tableau 4 dans la centrale à béton dont sa fonction est le dosage des agrégats, de ciment, d'eau et d'adjuvant pour la réalisation du mélange de béton qui est alimenté en continu à la presse. Cette unité se compose d'un silo de stockage des granulats, d'un système de levage transporté vers le malaxeur (skip), de silo à ciment avec une bascule située au-dessus du malaxeur, d'un convoyeur, d'une balance et d'un malaxeur. Ce dernier dispositif produit le mélange final, qui est introduit dans la presse sous une forme continue par un tapis d'alimentation en béton. On obtient alors une gâchée dans chaque cycle de malaxeur, c'est le mélange fourni.

Elément	Fournisseur	Lieu de stockage	Dosage
Ciment CPA 55	Ciment du Maroc	Silos	Selon la formule de chaque produit
Ciment blanc	Divers	Sacs spéciaux	
Gravier G0	Sud Agregat – Wafa Gravette – Somagec – Enematrat – Biotrav – Codatra - Mimcar	Tremie G0	
Gravier G1	Sud Agregat - Wafa Gravette – Somagec - Somagec	Tremie G1	
Sable concassé	Sud Agregat – Sobotram – Bicha - Somagec – Enematrat – Biotrav	Tremie SC	
Sable lavé	Sud Agregat	Tremie SL	
Sable fin	Sud Agregat - Codatra	Tremie SF	
Adjuvant	Tech Beton	Citernes	
Teintes	Divers et selon les couleurs	Sacs spéciaux	
Eau	-	Citerne	Commandée automatiquement selon l'humidité du mélange et type de produit.

Tableau 4 : Matières premières de l'unité ALPHA.

### 3.2.3.2 Pressage et compactage

Après l'arrivée de mélange par le tapis d'alimentation vers la trémie d'attente située au-dessus de la machine vebropresse ALPHA qui consiste le cœur de l'unité et son mécanisme est et la compression par vibrations, le cycle de chaque planche produite commence par le remplissage de moule avec la quantité adéquate puis le compactage en pression par le contre moule puis la séparation de contre-moule et le levage de moule. Enfin, les pièces sont déposées sur une planche sortant de la presse vers l'ascenseur par un convoyeur à courroie.

Le cycle de cette étape se présente par la figure 9.

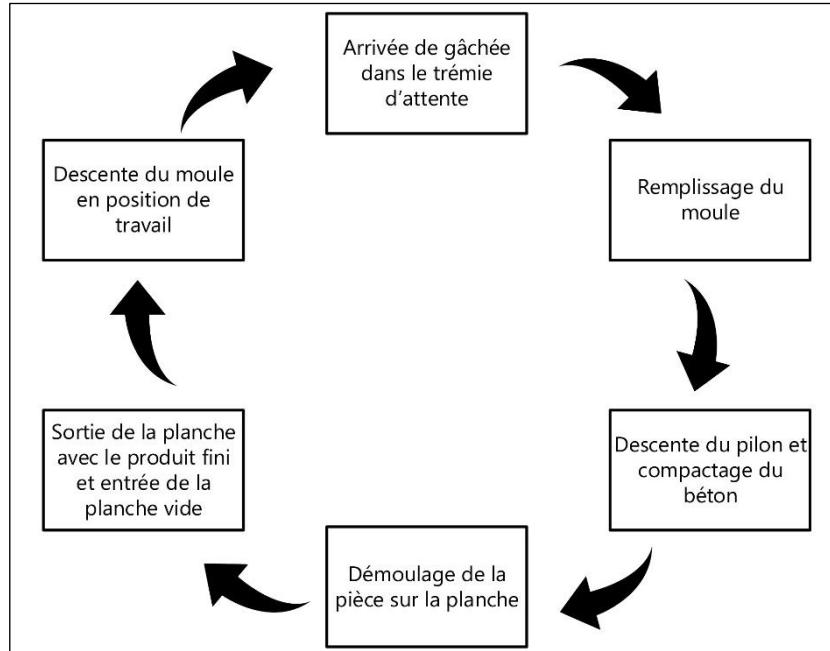


Figure 9 : Cycle de machine vebropresse ALPHA.



Figure 10 : Machine vebropresse ALPHA.

### 3.2.3.3 Transport et séchage

Après la presse, les planches sont empilées en verticale dans l'ascenseur en 10 étages avec 2 planches par étage. Ensuite, un chariot transbordeur les emporte et les conduit vers les étuves de séchage en température ambiante avec des bâches isothermiques pour une durée de 30h-40h dont le couloir peut contenir 11 voyages de chariot. Une fois le chariot pose les produits dans un couloir, il réalise le processus inverse par entrer dans un autre couloir et emporte les produits secs pour les déposer dans le descenseur.



Figure 11 : Ascenseur et Descenseur et Chariot transbordeur.

### 3.2.3.4 Palettisation et sortie des produits vers parc de stockage

Dès l'arrivée des produits dans le descenseur par le chariot transbordeur, les planches seront transportées par un convoyeur à chaînes après les contrôlées par un ouvrier pour trier les pièces non conformes par autres conformes vers le palettiseur avec ses pinces de serrage et rotation en 360°. Le palettiseur rassemble seulement les pièces déposées sur la planche et les empile sur une palette en lits jusqu'à une hauteur déterminée et la planche vide retourne vers le dispositif d'alimentation de planches de la machine ALPHA après qu'elles sont nettoyées par une brosse et inversées de l'autre face.



Figure 12 : Pince palettiseur.

Enfin, une fois les palettes constituées, elles sont cerclées de quelques feuillards et emballés dans des housses plastiques thermos-rétractables. Elles seront ensuite étiquetées contenant la date de fabrication et l'équipe shift de travail afin de retracer leur origine. Enfin les palettes sont transportées vers la sortie de l'unité par un convoyeur à lamelles et puis un chariot élévateur les transposer vers le parc de stockage.

Sans aucun doute, lors de tout ce processus continu et automatisé, la synchronisation de tout cet ensemble est fondamentale pour son bon fonctionnement. Pour ce faire, toute l'installation est contrôlée à partir de la cabine de contrôle intégrant les dernières nouveautés technologiques et électroniques pour faciliter l'utilisation de l'installation, la surveillance de forme intelligente de toutes les phases du processus.

### 3.3 Produits de l'unité ALPHA

On note que l'unité de produit qu'on va prendre en convention est « la planche » et non pièce ou palette. Une planche est une planchette carrée de bois de dimension 1200mmx1200mm où les pièces sont déposées. Elle se considère comme un lit de palette.

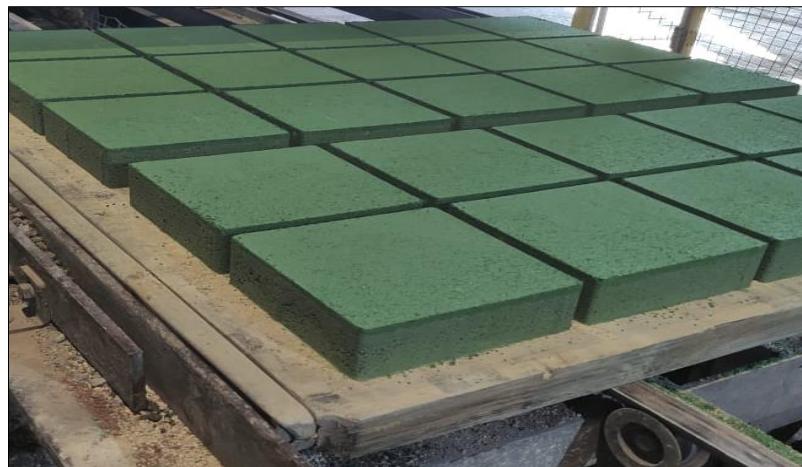


Figure 13 : Une planche : L'unité de calcul de production dans ALPHA.

Et dans le tableau 5, on désigne le nombre des pièces déposées par planche et palette selon la famille de produit (Agglos, Hourdis, Pavés ou Bordures), leur dimension et leur poids.

Produit	Nombre de pièces par planche	Nombre de lits par palette
AGGLOS	10-20	6-7
HOURDIS	12-24	6-7
PAVES	4-100	10-14
BORDURES	2-24	4-5

Tableau 5 : Nombre des pièces par planche et palette.

La société VETCAM fabrique plusieurs types de produits à partir de la matière première :

#### 3.3.1.1 Blocs creux à maçonner-Les entrevoûts

Les blocs creux sont destinés à la réalisation de soubassement et d'élévations extérieures et intérieures pour tous types de bâtiments. La société VETCAM fabrique une gamme complète de blocs en béton creux présentée dans le tableau 6.

Produits		Epaisseur	Longueur
<b>Agglos</b>	7	7 cm	50 cm
	10	10 cm	
	12	12 cm	
	15	15 cm	
	20	20 cm	
	25	25 cm	
<b>Hourdis</b>	8	8 cm	60 cm
	12	12 cm	
	15	15 cm	
	16	16 cm	
	20	20 cm	
	25	25 cm	

Tableau 6 : Les types des entrevois commercialisés par VETCAM.

### 3.3.1.2 Produits de pavage

Les produits de pavages commercialisés sont les bordures et les pavés autobloquants présentés dans le tableau 7.

Produit	Type	Produit	Type
	Héritage		Bordure trottoir
	Uni		Bordure trottoir avaloir
	Double T		Bordure d'accotement
	Carré		Bordure d'îlot directionnel
	Dallette		Bordure parking
	Rectangulaire		Bordure rond-point
	Diamond		Bordure Rondin
	Bronze		Caniveaux

Tableau 7 : Les types des produits de pavage commercialisés par VETCAM.



# Chapitre II

---

## Contexte du projet

---

Dans ce chapitre, on décrira les démarches retenues pour conduire le projet, ses objectifs ainsi que le cahier de charge et le planning de projet. Ainsi, on présentera de manière détaillée la stratégie de conduite de projet en définissant les outils de Lean, l'approche six sigma et la complémentarité du Lean et du Six Sigma pour atteindre les objectifs de notre projet.

## Chapitre II : Contexte du projet

### 1 Cahier de charge

#### 1.1 Contexte pédagogique

Ce projet est un prérequis d'obtention de mon diplôme d'ingénieur d'état en génie industriel en liant entre les connaissances acquises au cours des études à ENSAM Casablanca d'une part et compétences apprises au domaine de travail d'autre part.

#### 1.2 Acteurs du projet

**Maitre d'œuvre :** ENSAM Casablanca - École Nationale Supérieure D'arts Et Métiers Casablanca, Département Génie Industriel, option : Management des Systèmes Industriels (MSI), représenté par l'étudiant BENYAMNA Aadil avec le suivi et l'encadrement de Pr. ZAKRANI Abdelali.

**Le maitre d'ouvrage :** VETCAM qui est une société de fabrication de matériaux de construction et préfabriqués en béton installée à Ait melloul Agadir ; Département Industriel, service de production et maintenance représentés par Mr. Ismael Garcia et Mr. Karam ELFAGHLI.

#### 1.3 Objectif du projet

L'objectif de ce projet de fin d'étude s'articule sur l'amélioration de la productivité et l'efficience d'une ligne de production en appliquant les méthodes et les outils adéquats, ainsi que ces améliorations doivent conduire la chaîne à augmenter la cadence par améliorer le TRS et réduire les temps d'arrêts, standardiser les documents de service production et maintenance, garantir la conformité des produits, élaboration d'un planning de maintenance préventive ainsi que la mise en place des indicateurs de performance de production et maintenance, avoir une meilleure qualité de produit, moins de dommages et une plus grande flexibilité grâce à une organisation autour du processus de production dans l'unité ALPHA.

Dans ce contexte, le projet qui nous a été confié nous mène à déployer les principes Lean et la démarche Six sigma en se basant sur la réduction ou l'élimination des gaspillages. Cette méthode va nous servir à augmenter la productivité dans le but de produire l'objectif de manière optimale.

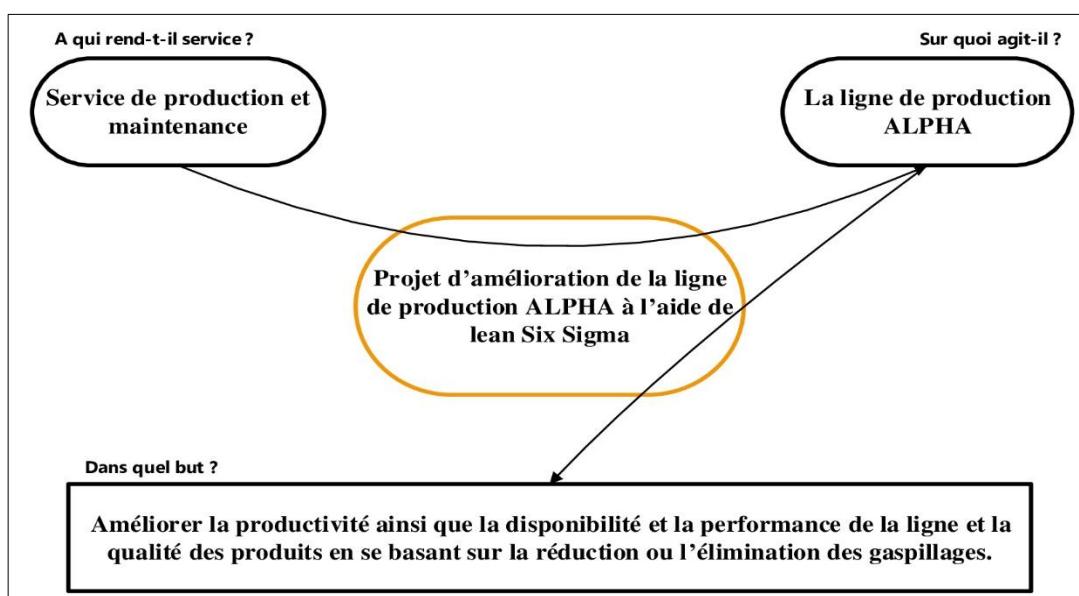


Figure 14 : Le diagramme de bête à corne du cahier de charge.

## 1.4 Planning du projet

La planification est l'une des phases les plus importantes de l'avant-projet. Elle consiste à déterminer et à planifier les tâches du projet et à estimer leurs durées respectives.

En effet, afin de réaliser un travail méthodique dans les meilleurs délais, les principales tâches liées à ce travail sont planifiées de manière optimale. D'où l'utilité de représenter graphiquement son déroulement à l'aide du diagramme de Gantt réalisé par MS Project présenté dans la figure 15.

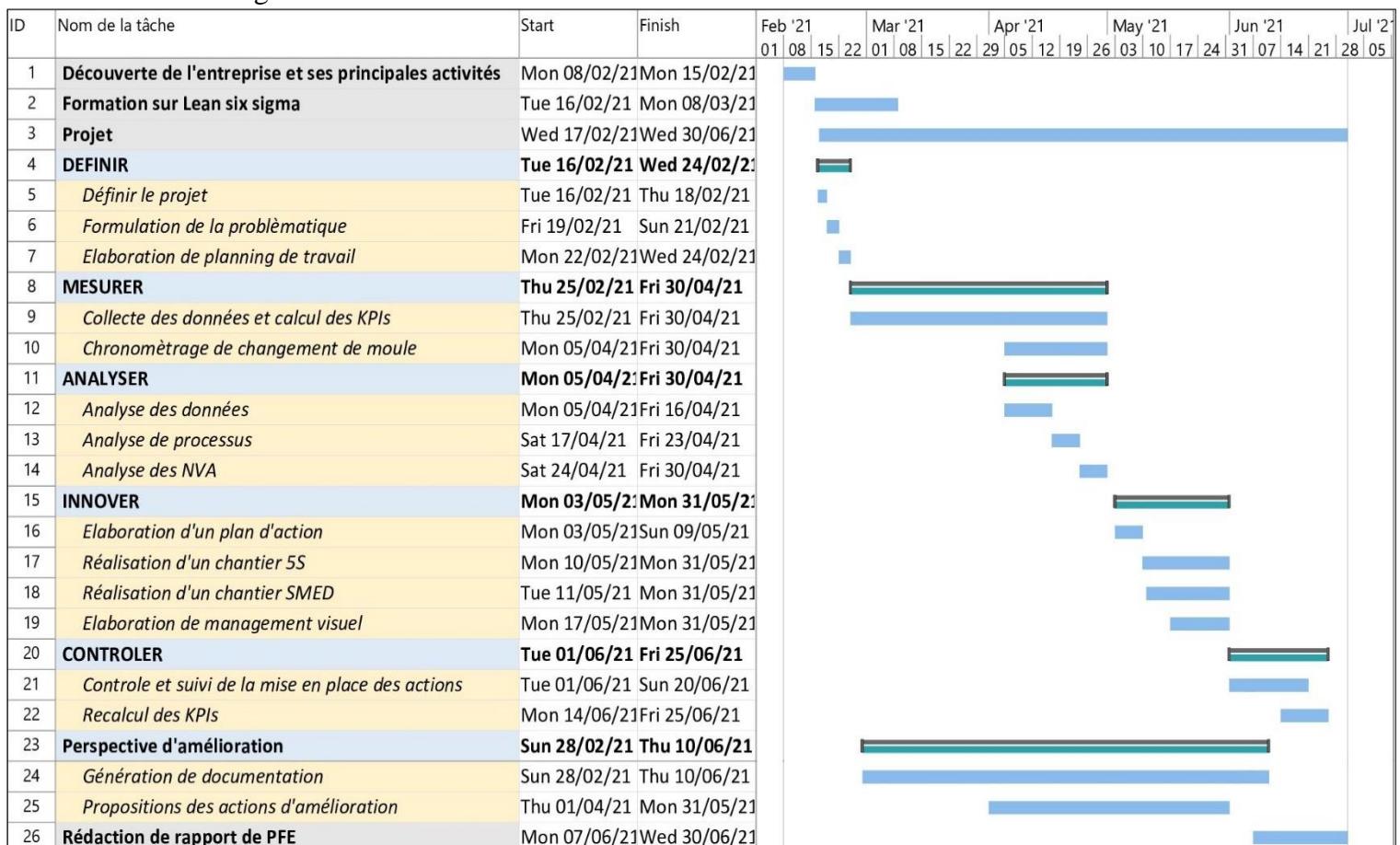


Figure 15 : Diagramme de Gantt.

## 2 Stratégie de conduite du projet

La stratégie de conduite du projet et la méthode d'analyse sont un point important pour mesurer le succès du projet, car il est nécessaire de choisir le concept le plus approprié pour augmenter le pourcentage d'atteinte de l'objectif fixé.

Parmi les nombreux outils et démarches possibles en amélioration continue, le Lean Six

Sigma est un concept récent et novateur regroupant deux démarches complémentaires : le Lean et Le Six Sigma. En effet, les entreprises d'aujourd'hui cherchent à la fois à optimiser leur fonctionnement par réduction des gaspillages et à améliorer la qualité par une réduction de la dispersion, permettant ainsi de tendre vers le zéro défaut.

D'abord utilisées isolément, les deux démarches Lean et Six Sigma ont été associées par la suite en raison de leur complémentarité, pour donner le Lean Six Sigma.

## 2.1 Lean Manufacturing

### 2.1.1 Définition de Lean Manufacturing

Le Lean Manufacturing est un nom générique qui désigne un système de production originellement développé par Toyota, le Toyota Production System (TPS), et désormais utilisé par le monde dans tous les secteurs industriels. Le Lean Manufacturing est basé sur l'élimination des gaspillages (activités à non-valeur ajoutée) au sein des processus de production [1].

Le terme anglais Lean signifie « mince » ou « agile ». Cette gestion d'entreprise dite Lean lie la performance (productivité / qualité) à la souplesse d'une entreprise qui doit être capable d'optimiser en permanence ses processus.

Le Lean est défini comme une approche systématique visant à identifier et éliminer tous les gaspillages au travers d'une amélioration continue, en vue d'atteindre l'excellence industrielle [2].

Il intègre un ensemble de principes, de pratiques, d'outils et de techniques conçus pour éradiquer les causes de mauvaise performance opérationnelle. L'objectif du Lean est d'optimiser la productivité, la qualité, les coûts et les délais.

### 2.1.2 Edifice du Lean manufacturing : la maison « TPS »

Pour atteindre un tel objectif, il est nécessaire de s'appuyer sur un certain nombre de points clés reprenant la conception de gestion de la production du système Toyota. La figure 16 présente le modèle actuel du Lean.

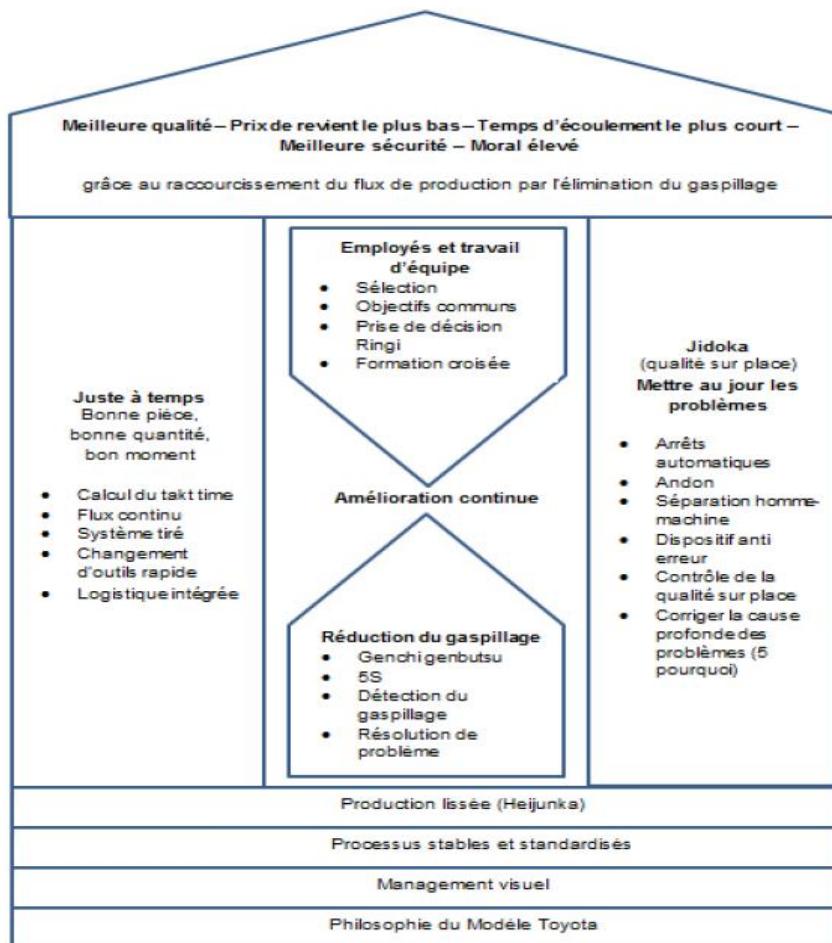


Figure 16 : Le système de production Toyota.

Ce système est représenté sous la forme d'une maison, système structurel. Sa solidité dépend de celle du toit, des piliers et des fondations. Un élément faible fragilise le système tout entier[3].

Les points clés du modèle actuel du Lean sont séparés en quatre catégories : les fondations, les piliers au nombre de deux, les éléments entraînant une dynamique de progrès et enfin le toit constitué des objectifs.

### **2.1.2.1 Les fondations**

Au niveau des fondations, se trouvent le management visuel, la standardisation et la production lissée (nommée en japonais Heijunka).

#### ***2.1.2.1.1 Le management visuel***

Le concept Lean de management visuel repose sur l'utilisation d'indications visuelles pour garantir le bon déroulement des activités. Ainsi, regarder le processus, des informations ou un opérateur exécutant une tâche permet d'identifier immédiatement le standard utilisé et l'existence possible d'un écart.

L'affichage visuel permet de communiquer rapidement les informations sur la production. Les panneaux d'affichage sur lesquels est visualisé un ensemble d'indicateurs (indicateurs de performance, objectifs de production, suggestions d'amélioration) sont autant d'exemples de moyens de communication visuelle. En effet, les indicateurs de performance doivent être suivis au plus près des machines pour améliorer la réactivité. Ces indicateurs doivent être précis afin de permettre cette réactivité. Un exemple de ces indicateurs est le Taux de Rendement Synthétique (TRS).

Le contrôle visuel ne se limite pas à l'identification des écarts par rapport aux objectifs mais fait partie intégrante du processus de travail.

Rendre les choses visibles, c'est aussi souvent les rendre plus simples, plus compréhensibles et donc les respecter plus facilement. On respecte ainsi sans effort le standard, ce qui entraîne une réduction importante des perturbations. Des standards simples doivent donc être imaginés et que l'on peut appréhender au premier coup d'œil.

#### ***2.1.2.1.2 La standardisation***

Un standard est un élément de référence, une règle fixée pour définir ou évaluer un produit, une méthode de travail, une quantité à produire. C'est une façon de faire ayant prouvé son efficacité et qui favorise le travail en commun. Ce type de démarche d'implication dans la rédaction des standards vise à améliorer l'efficacité du travail en équipe [4].

On peut citer comme exemples de standard, un mode opératoire, une instruction, une règle de travail ou une cadence théorique.

Le travail standardisé vise à garantir la répétabilité des performances des opérations, ainsi qu'à éliminer les sources de variabilité qui pourraient diminuer ces performances. Sa mise en œuvre est un élément majeur pour construire la qualité, aucune amélioration n'étant possible sans standard.

#### ***2.1.2.1.3 La production lissée (Heijunka)***

Le troisième élément des fondations est la stabilité des flux de production. La nature de la demande est souvent erratique, et introduire directement cette demande pour piloter une production revient à introduire le chaos dans le système. Il est donc nécessaire de réaliser un lissage de cette demande.

Le terme japonais correspondant est Heijunka. En effet, le Heijunka consiste en un lissage du programme de production par le volume et par le mix de produits au cours d'un temps donné [5].

Cette approche consiste donc à fabriquer chaque jour la même quantité et le même assortiment de produits. Cette technique permet ainsi de stabiliser les flux de production et de réduire les effets non désirés d'un processus d'attente de commande du client.

### 2.1.2.2 Les deux piliers

La nécessité de standardiser, des processus stables et fiables ainsi que le lissage de la production forment les fondations du Lean Manufacturing. Sur ces fondations, reposent deux piliers d'égale importance, le juste à temps et le Jidoka.

#### 2.1.2.2.1 *Le juste à temps*

Le juste à temps vise à fabriquer le produit en quantité nécessaire, au moment voulu et disponible à l'endroit voulu [6]. Le juste à temps ambitionne essentiellement quatre résultats :

- Une diminution des stocks de toute nature, et plus particulièrement des stocks d'encours.
- Une réduction des coûts globaux résultant des réglages, des manutentions et des stocks.
- Une diminution du cycle de fabrication réduisant le délai de livraison d'une commande.
- Une augmentation de la flexibilité conduisant la production à s'adapter aux variations de la demande.

Dans le juste à temps, l'attention est attirée vers le service pour le client (zéro délai, zéro défaut, sûreté des informations), le coût de production (minimiser les manutentions, zéro stock, zéro panne) ainsi que vers la réactivité et l'efficacité (ne produire qu'à la demande, fractionnement des lots, zéro panne, simplifier les méthodes de gestion comptable).

##### 2.1.2.2.1.1 La TPM pour produire juste à temps

La TPM Total Productive Maintenance est un système conçu pour créer une culture d'entreprise permettant d'obtenir une efficacité maximale des équipements de production. C'est un système basé sur les faits, conçu pour éliminer les pertes et atteindre ou approcher le "zéro accident", le "zéro panne" et le "zéro défaut". La TPM consiste avant tout à maintenir les installations dans des conditions optimales de fonctionnement [7].

La TPM cherche à atteindre 100% de disponibilité des équipements de production pour la production en éliminant :

- Les arrêts non planifiés des équipements et les casses machines.
- Les retouches et les déchets causés par des performances machines dégradées.
- Une productivité réduite causée par une perte de cadence de la machine, des pauses ou des arrêts sollicités par les opérateurs peu concentrés ou par manque de personnel qualifié.
- Une perte de temps lors du démarrage de l'équipement après un arrêt planifié ou non.
- Ses avantages sont :
- Amélioration de la qualité grâce à une meilleur stabilité des équipements.
- Amélioration de la productivité grâce à l'élimination des pannes, des micro-arrêts et des pertes de la cadence.

- Amélioration du taux de livraison grâce au respect du planning plus facile.
- Amélioration de la satisfaction des employés, grâce à de meilleurs résultats, plus de responsabilisation et d'implication, et des tâches plus riches.

A travers son concept 5S et ses 8 activités pilier, la Total Productive Maintenance influence grandement la qualité de la maintenance industrielle, l'amélioration des techniques de production, la propreté et l'ordre au sein de l'usine, ainsi que les compétences et le niveau de formation des professionnels de la maintenance. Les 5S et les 8 activités pilier de la TPM répondent à deux prérogatives : définir des objectifs afin de maximiser l'efficacité des équipements et rassembler les différents départements de l'organisation autour de questions liées à la planification, la production, la qualité et la maintenance. Les employés sont au cœur de ce système et sont continuellement formés aux techniques de fabrication Lean en identifiant et en éliminant les gaspillages. Dans le contexte de la maintenance industrielle, cela se traduit par l'élimination des temps d'arrêt, des interruptions de production, des défauts et des incidents [7].

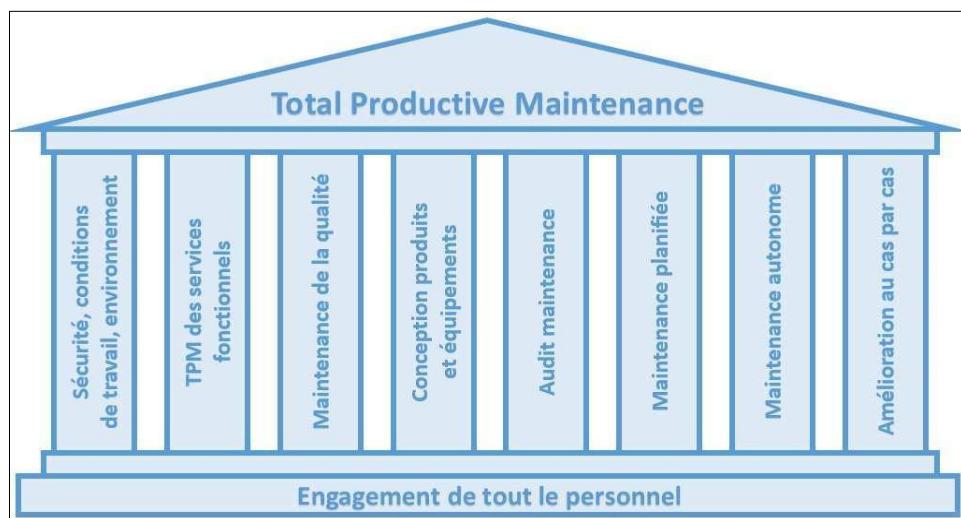


Figure 17 : Les piliers de la TPM.

Les 8 piliers d'un programme de maintenance productive totale permettent aux organisations d'atteindre des objectifs d'utilisation de la machine et de productivité accrues :

1. Amélioration au cas par cas : Les équipes transversales collaborent pour trouver l'origine première des problèmes et appliquer des solutions visant une amélioration continue.
2. Maintenance autonome : Les opérateurs de machines données sont responsables des réglages et de l'entretien mineur de celles-ci (par exemple : le nettoyage, la lubrification et les inspections).
3. Maintenance planifiée : permet d'anticiper les pannes majeures, de réduire les temps d'arrêt non planifiés et donc d'augmenter la capacité de l'activité de production.
4. Amélioration des connaissances et des savoir-faire : se concentre sur l'amélioration continue des compétences des employés en initiant des programmes de formation.
5. Maintenance préalable des équipements : vise à créer une machine de manière qu'elle soit facile à utiliser et à entretenir.
6. Maintenance de la qualité : permet de s'assurer que l'équipement est en mesure de détecter et de prévenir les erreurs pendant la production.
7. La Totale productive maintenance dans les bureaux : traite de l'utilisation des principes de la TPM dans l'administration.
8. Sécurité, santé et environnement : la création de normes concernant les conditions de travail des employés, et ce en éliminant les risques pour leur santé et leur sécurité.

Le concept de juste à temps repose sur les éléments suivants :

#### 2.1.2.2.1.2 5S

Les 5S sont les initiales des termes japonais ayant pour objectif de systématiser les activités de rangement, de mise en ordre et de nettoyage dans les lieux de travail :

- Seiri : Eliminer ce qui est inutile. Cette étape consiste à faire le tri entre les objets nécessaires et les objets inutiles sur le poste de travail.
- Seiton : Ranger. Dans cette étape on cherche à organiser le poste de travail de façon fonctionnelle et à définir des règles de rangement.
- Seiso : Nettoyer et inspecter
- Seiketsu : Standardiser, définir des standards de travail. Durant cette étape, on formalise des règles et on définit des standards avec la participation du personnel. Cette étape doit permettre d'éviter de retourner aux vieilles habitudes.
- Shitsuke : Faire respecter et progresser, améliorer les standards de travail. Cette étape consiste à établir un suivi de l'application de l'ensemble des règles et décisions qui ont été prises lors des quatre premières étapes [5].

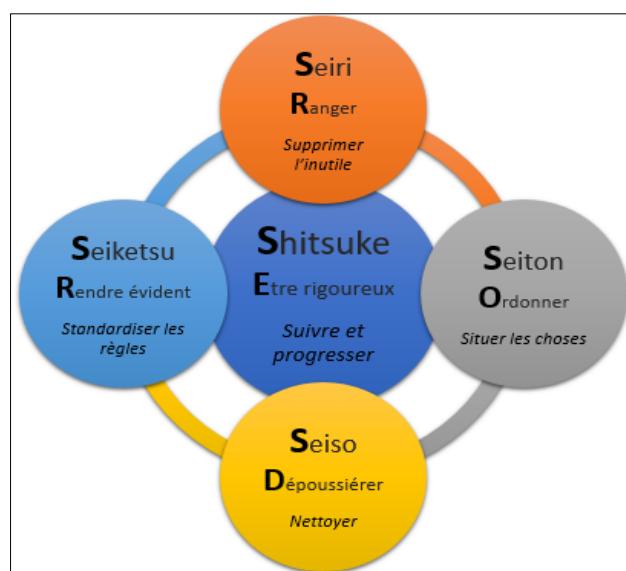


Figure 18 : Représentation schématique des étapes du 5S.

#### 2.1.2.2.1.3 SMED

Les lignes de production peuvent permettre de fabriquer des produits différents mais à des instants différents. Le principe du supermarché suppose toutefois que les produits différents soient fabriqués le plus souvent possible. Le changement de type de produit se fera dans le temps le plus court possible afin de ne pas interrompre le flux.

La conséquence est la recherche d'une plus grande flexibilité de la production et d'une réduction des temps de changement d'outils, qui donne lieu à la méthode SMED (pour Single Minute Exchange of Dies). Cette méthode consiste à identifier les étapes de réglage dites « internes » (qui sont nécessairement réalisées lorsque la machine est arrêtée) et celles dites « externes » (pouvant être réalisées lorsque la machine est encore en fonctionnement). Cette méthode permet ainsi d'optimiser les délais de fabrication. Elle est composée de quatre étapes :

- Distinguer l'ensemble des opérations lors du changement de production.
- Identifier les réglages internes et externes.
- Transformer les réglages internes en réglages externes.
- Réduire et rationaliser tous les aspects des opérations de réglage. [8]

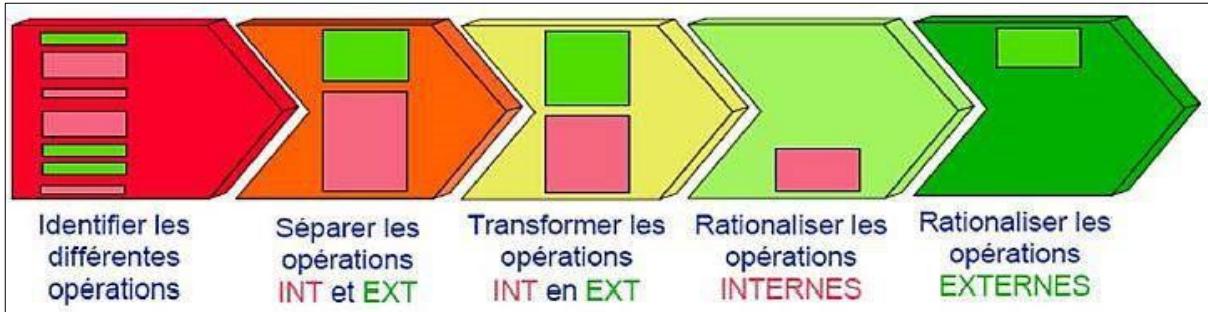


Figure 19 : les étapes de la méthode SMED

#### 2.1.2.2.2 Le Jidoka

Le Jidoka, se traduisant par autonomation ou auto-activation, consiste à équiper l'ensemble des machines de systèmes d'arrêts automatiques lorsqu'une anomalie ou un défaut est décelé, évitant ainsi à une non-qualité de se propager dans la production. Ainsi, en plus d'une simple automatisation ne prenant en compte que la réduction des tâches manuelles, les machines sont capables de détecter les défauts [9].

L'objectif est ainsi de détecter en temps réel les défauts de fabrication, stopper la production, identifier et traiter la source du dysfonctionnement.

Des moyens automatiques, des dispositifs anti-erreurs et une organisation spécifique sont ainsi mis en place :

##### 2.1.2.2.2.1 Les dispositifs anti-erreurs ou poka-yoké

Cette méthode poka-yoké permet un contrôle de la production de tous les produits fabriqués de manière simple et efficace et une réduction des défauts. Elle évite de commettre les erreurs (d'origine souvent humaine) ou de les répéter dès qu'elles ont été commises [8].

##### 2.1.2.2.2.2 Les arrêts automatiques et contrôle de la qualité sur place

Avec le Jidoka, une machine peut détecter une diminution de la qualité des pièces qu'elle produit, par exemple une mauvaise géométrie de la pièce à l'usinage. Cette détection se fait à l'aide d'un système poka yoké. Elle s'arrête ensuite automatiquement en activant un andon, ce qui alerte l'opérateur chargé de la machine [9].

L'opérateur peut ainsi mettre en œuvre ses qualités pour, en cas de problème, trouver rapidement les contre-mesures nécessaires pour garantir une production conforme en évitant de stopper la production.

#### 2.1.2.3 Les gaspillages Muda, Muri et Mura

Le Lean vise à éliminer tous les gaspillages. Le Lean distingue trois types de gaspillage : les Mudas (les gâchis), les Muri (les excès) et les Mura (les irrégularités) [3] [5].

### **2.1.2.3.1 *Les Mudas***

Les Mudas sont des éléments du processus de production qui n'apportent pas de valeur particulière au client, et qui sont donc superflus et à éliminer afin d'éviter de gaspiller des ressources inutilement [10]. Les Mudas sont au nombre de sept :

#### **2.1.2.3.1.1 La surproduction**

La surproduction est l'une des sources de gaspillage les plus importantes. En effet, lorsque les produits sont fabriqués en trop grande quantité ou trop tôt, que ce soit à cause de mauvaises prévisions, d'annulations de commandes ou autres, les coûts de production ne sont pas amortis par la vente finale auprès du client.

#### **2.1.2.3.1.2 Les stocks excessifs**

Lorsque les produits finis ou les matières premières doivent être stockés, cela a un impact sur le processus global, qui d'après la logique Lean ne doit pas rencontrer de période de pause ou de ralentissement. Le stockage des produits est également coûteux et les produits risquent d'être abimés ou de devenir obsolètes/périmés.

#### **2.1.2.3.1.3 L'attente**

L'attente va à l'encontre du principe du Lean selon lequel le flux doit être continu, sans période de pause ou d'arrêt. Elle peut concerner le personnel ou les équipements.

Une attente a lieu par exemple lorsqu'une phase de la chaîne de production est retardée ou arrêtée. Cela peut être dû à des problèmes au niveau de l'approvisionnement par exemple, lorsque les employés n'ont pas accès aux matières premières nécessaires ou encore à des machines qui ne sont plus suffisamment efficaces pour suivre le rythme de production

#### **2.1.2.3.1.4 Les déplacements inutiles**

Le transport doit également être limité au maximum car il est coûteux de déplacer des matières premières, des produits en cours ou des produits finis. Le transport nécessite des ressources (en hommes, en capital...) et prend également du temps. La réduction ou l'élimination des transferts est donc essentielle pour améliorer le processus de production.

#### **2.1.2.3.1.5 Les défauts**

Ce point concerne les produits qui ne correspondent pas aux attentes des clients lorsque le produit présente des défauts. Un produit défectueux entraîne des coûts supplémentaires car il est parfois complètement irrécupérable (et doit donc être fabriqué à nouveau) ou doit être révisé. Ce type de problème entraîne également des délais importants.

#### **2.1.2.3.1.6 Les gestes inutiles**

Par une mauvaise conception des postes de travail, on en diminue considérablement l'efficacité en imposant des déplacements, des gestes, des transports inutiles. Cette mauvaise conception peut également dégrader les conditions de travail et compromettre la sécurité.

#### **2.1.2.3.1.7 Les opérations inutiles**

Les processus ne doivent pas être superflus ou inutiles et doivent correspondre au résultat final souhaité. Ainsi des machines peuvent s'avérer trop performantes et donc inutiles si le client s'attend seulement à un produit de qualité moyenne.

### 2.1.2.3.2 *Les Muri*

Les Muri correspondent aux gaspillages dus à des excès, par exemple un excès de consommation de produits selon un standard inapproprié. Ces gaspillages ne sont pas des gaspillages subis mais dépendent de standards mal adaptés.

### 2.1.2.3.3 *Les Mura*

Les Mura correspondent à des gaspillages délibérés que l'on voit mais que l'on ne supprime pas, par commodité ou par habitude. On peut citer comme exemple l'irrégularité, l'interruption d'un rythme de production, la variabilité d'un processus.

## 2.2 Le Six Sigma

### 2.2.1 Définition de Six Sigma

Le Six Sigma est une méthode basée sur l'exploitation statistique des données permettant d'analyser et de maîtriser les paramètres influents d'un processus et donc d'en supprimer la variabilité. Ceci permet ainsi une amélioration importante de la qualité des produits et des services à destination du client, de la performance, de la productivité et de la satisfaction du client [11].

Cette méthode est fondée sur une règle éternelle : pour satisfaire les clients, il faut délivrer des produits (ou des services) de qualité [12].

Le Six Sigma présente peu de nouveautés en matière d'outils et de techniques utilisés. La méthode s'appuie, entre autres, sur des outils statistiques, et donc sur des événements incertains afin de prendre des décisions reposant sur la maîtrise de l'incertitude. [13]

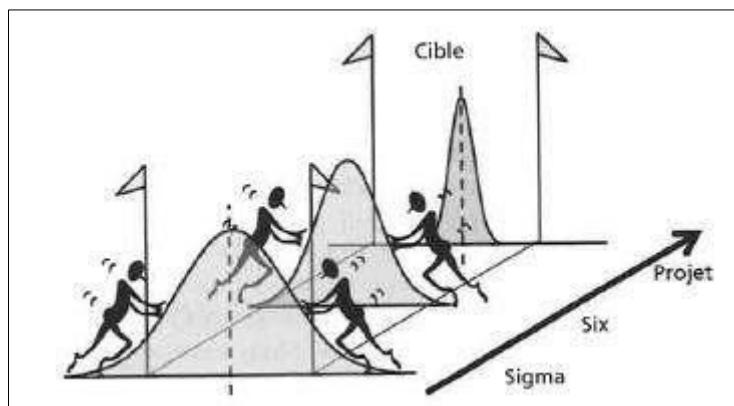


Figure 20 : Le but du Six Sigma : réduire la variabilité

Également, le Six Sigma comporte une démarche de gestion de résolution de problèmes en cinq étapes : Define (Définir), Mesure (Mesurer), Analyze (Analyser), Améliorer (Improve) et Control (Contrôler) formant l'acronyme DMAIC des termes anglais. Cette approche permet de réduire la variabilité et d'atteindre la cible sur les produits ou dans les services. Cette méthodologie sert ainsi de gestion de projet dans un projet Six Sigma.

Le Six Sigma peut, de plus, se décliner en un indicateur de performance permettant de savoir où se situe l'entreprise en matière de qualité. C'est une démarche de progrès qui va au-delà de la résolution de problèmes courants.

Contrairement aux démarches « essais erreurs », la démarche Six Sigma ne modifie le système étudié qu'à partir de la quatrième phase de la démarche de gestion de résolution de problèmes DMAIC, la phase améliorer.

Pour atteindre cette rupture de l'état actuel, trois étapes doivent être suivies (Définir, Mesurer et Analyser) afin de comprendre en profondeur le système et les relations entre les différents paramètres interagissant dans le processus. Également, ces trois phases vont permettre de mesurer ces paramètres, de comprendre leur variation et d'analyser les relations de dépendance existante entre eux [14].

### 2.2.2 La méthode de résolution de problèmes DMAIC

Pour atteindre ces objectifs, le Six Sigma applique une méthode structurée : le DMAIC utilisant des outils connus, et plus particulièrement des outils statistiques.

Se basant sur des données, la démarche DMAIC est un processus de résolution des problèmes permettant de réaliser des activités spécifiques dans un ordre déterminé. Les données recueillies à chaque phase permettent d'étayer les décisions et veiller à ce que les solutions mises en place éliminent les causes du problème à résoudre [15].

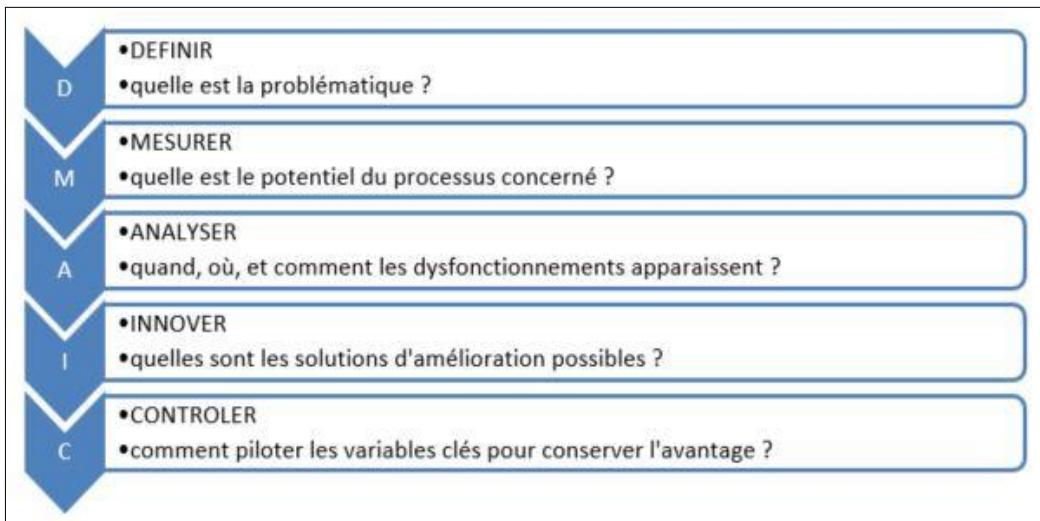


Figure 21 : La méthode DMAIC se déroule selon cinq étapes.

L'approche DMAIC a pour but d'améliorer un processus préalablement défini. Elle permet de mesurer la performance, d'optimiser le processus en se focalisant sur l'essentiel, et d'atteindre ainsi, des objectifs d'amélioration ambitieux.

Elle s'appuie sur 3 boîtes à outils :

- Outils de résolution de problème : 5M, brainstorming, diagramme de Pareto, matrice de cause à effet, etc.
- Outils d'amélioration de l'efficience : 5S, VSM, diagramme spaghetti, etc.
- Outils de mise sous contrôle des processus, c'est à dire les rendre stables, prévisibles : statistiques descriptives, analytiques, tests d'hypothèse.

La réussite d'un projet réside dans le fait qu'il soit structuré, rigoureux et déployé suivant les 5 phases du DMAIC :

- Définir : cette phase s'attache à la définition des objectifs et limites du problème à résoudre, à l'identification des questions nécessaires pour atteindre le niveau de sigma le plus élevé possible.
- Mesurer : son objectif consiste à rassembler les informations (les faits) et objectiver le problème à traiter, ainsi que de mieux identifier les zones à problèmes.

- Analyser : il s'agit de discriminer l'essentiel de l'accessoire, l'important du secondaire, afin de focaliser les efforts sur les vraies causes des problèmes, les paramètres influents.
- Améliorer : correspond à la mise en place des solutions visant à éradiquer les causes les plus probables des problèmes.
- Contrôler : vise à évaluer et suivre les résultats des solutions mises en œuvre sur une période suffisante pour juger de leur pertinence.

## 2.3 Lean Six Sigma

### 2.3.1 La complémentarité du Lean et du Six Sigma

Les deux méthodes, Lean et Six Sigma, sont orientées perception du client. Lorsqu'elles sont mises en œuvre avec circonspection, les avantages délivrés par les deux démarches sont complémentaires. Les activités à l'origine des déficiences qualité au sens du client, tout comme les retards pénalisant les processus, sont les principales sources d'opportunités pour améliorer la qualité, les délais, les coûts de revient et la part bénéficiaire [16].

La qualité et les délais sont en effet étroitement liés. Les retouches, retours et rebuts sont des causes majeures de ralentissement. D'autre part, l'amélioration des délais au sein d'un processus implique nécessairement la réduction systématique des défauts et erreurs de fabrication. En fait, toutes les phases du processus qui n'apportent aucune valeur ajoutée au sens du client méritent d'être évaluées, supprimées ou transformées pour la majorité des cas de figure [17].

### 2.3.2 Les quatre clefs du Lean Six Sigma

Les fondements du Lean Six Sigma reposent sur la base d'un travail en équipe et d'échanges d'idées. Les membres de cette équipe ont pour objectif de satisfaire le client, en leur fournissant un service de meilleure qualité plus rapidement. Pour parvenir à cet objectif, leurs processus doivent être améliorés. Pour se faire, les défauts doivent être éliminés, c'est à dire tout ce qui est inacceptable pour le client. Également, les membres de l'équipe doivent collaborer pour obtenir un gain maximal et fonder toutes leurs décisions sur des données. Ces fondements sont présentés par la figure 22.

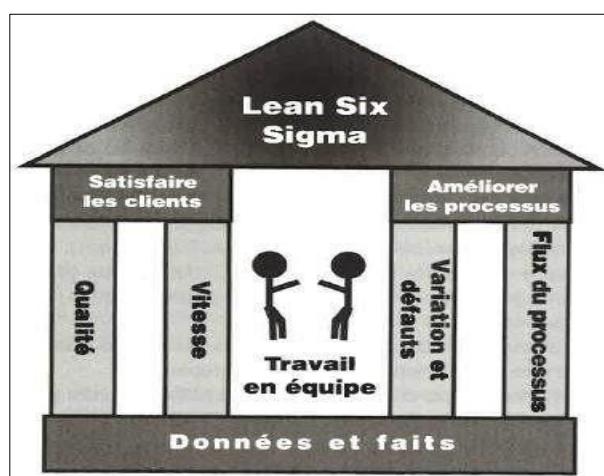


Figure 22 : Les clefs du Lean Six Sigma.

Chaque élément, chaque clef, fonctionne en parallèle afin de créer de véritables solutions. Chaque élément pris séparément n'est pas suffisant. La créativité des personnes travaillant au sein du processus doit être conjuguée à des données et une compréhension des clients et des processus.



# Chapitre III

---

## Traitemen~~t~~ du projet

---

Avant de démarrer le plan d'action, il est nécessaire de diagnostiquer l'état actuel de processus de fabrication et le définir. Le but est d'avoir des éléments objectifs pour mesurer le niveau de performance et l'analyser pour poser un plan d'action efficace.

Dans ce chapitre, on va déployer la démarche de résolution de problème DMAIC en commençant par ses trois premières étapes DEFINIR, MESURER et ANALYSER.

## Chapitre III : Traitement du projet

### 1 PHASE 1 : DEFINIR

Cette phase s'attache à la définition des objectifs et limites du problème à résoudre, à l'identification des questions nécessaires pour atteindre le niveau de sigma le plus élevé possible.

#### 1.1 Cadre de projet

La politique de VETCAM au cours des dernières années a connu un développement remarquable au niveau de l'amélioration des processus de production dans les 3 usines afin de couvrir les besoins clients en identifiant des possibilités d'amélioration des coûts de production et optimisant la performance et la maintenance des machines.

L'objectif principal de ce projet est l'amélioration de la productivité et l'efficience de la ligne de production ALPHA en augmentant la cadence par réduire les temps d'arrêts et toute sorte des gaspillages et attentes ainsi qu'attaquer les défauts de qualité des produits.

Notre projet de fin d'étude s'inscrit dans une vision qui mène à améliorer la productivité dans l'unité ALPHA par l'évolution des indicateurs de performance à mesurer dans l'état initial (début de projet) et les recalculer après la mise en place des actions d'amélioration.

#### 1.2 Problématique

Dans sa vision de progrès, VETCAM, dans l'unité ALPHA de fabrication des pavés, bordures, agglos et bordures, cherche à remonter sa cadence de production réelle sans influencer négativement sur les paramètres de qualité, coût, délai et sécurité. Sans oublier de garantir la stabilité au niveau de satisfaction client.

Depuis la dernière montée des besoins des clients, l'unité ALPHA s'est trouvée en difficulté pour honorer les exigences des demandes sachant que, au terme théorique, la ligne de production ALPHA peut garantir les objectifs cibles mais à conditions d'éliminer la dispersion entre le temps de cycle réel de la machine à celui théorique en gardant à la priorité la qualité des produits.

De plus, pour avoir une idée sur l'état initial de l'unité, on dispose de nombreux indicateurs KPI USINE pour évaluer les performances. Parmi ceux qui couvrent notre périmètre de productivité on retrouve le TRS avec ses trois indicateurs de disponibilité, performance et qualité, ainsi que le taux d'utilisation des capacités de production, perte vitesse, taux de rebut MTTF, MTBF qui restent encore loin de leurs cibles. Et pour calculer ces indicateurs, des données nécessaires ne sont pas disponibles à cause de manque de documentation et traçabilité. Alors, c'est un autre problème de collecte des données, et donc on est obligés de créer des fiches et des rapports à remplir pour constituer une base de données sur laquelle on se base dans notre étude et analyse et parmi les documents créés pour cet objectif, on cite « Fiche de relevé des temps d'arrêts » (**Annexe 1**) qui consiste l'un des documents les plus intéressants dans la phase de collecte des données statistiques.

Tous ces faits poussent à révoquer en doute l'état initial de la productivité et la performance dans l'unité ALPHA. C'est dans cette optique que le présent projet intitulé « Amélioration de la ligne de production ALPHA à l'aide de Lean Six Sigma » se présente.

## 1.3 La méthode QZOQCP

### 1.3.1 Définition

La méthode prendrait origine 20 siècles en arrière, sous l'Empire Romain en l'hexamètre dit de Quintilien. Sa version anglaise est connue sous le nom des "5 W's" - Who dit What ? Where, When and Why ? Son nom français "QZOQCP" vient de l'acronyme qui la définit :

Q - Quoi : objet, action, phase, opération.

Q - Qui : parties prenantes, acteurs, responsables.

O - Où : lieu, distance, étape.

Q - Quand : moment, planning, durée, fréquence.

C - Comment : matériel, équipement, moyens nécessaires, manières, modalités, procédures.

P - Pourquoi : motivations, motifs, raisons d'être, etc.

Le questionnement peut se voir attribuer un axe supplémentaire important : le "Combien ?" (Coûts, quantité...) [18].

### 1.3.2 Application

Pour mieux saisir les aspects essentiels du problème, la méthode QZOQCP a été choisie pour détailler la problématique. Les informations élémentaires obtenues sur les différentes dimensions du problème sont présentées dans le tableau8.

Donnée d'entrée : Problématique générale	Comment améliorer la productivité de l'unité ALPHA ?
Qui ? Qui est concerné par le problème ?	Le service de production et maintenance
Quoi ? C'est quoi le problème ?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Baisse de la cadence de production réelle par rapport à celle théorique.</li> <li>- Gaspillage de temps en arrêts, pannes et attentes.</li> <li>- Manque de documentation au service de production et maintenance.</li> <li>- Non-conformité de produit.</li> </ul>
Où ? Où le problème se manifeste-t-il ?	Ligne de production ALPHA de production des agglomérés béton, pavés, bordures et caniveaux.
Quand ? Quand le problème apparaît-t-il ?	Les derniers mois de 2020
Comment ? Comment mesurer le problème et ses solutions ?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- En déterminant l'état parfait de la productivité et performance.</li> <li>- En appliquant les outils du Lean Manufacturing et la démarche de résolution de problème DMAIC.</li> </ul>
Pourquoi ? Pourquoi résoudre ce problème ? Quels sont les enjeux quantifiés ?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Améliorer la productivité et la performance de l'unité ALPHA</li> <li>- Satisfaire les besoins de client</li> </ul>

Combien ? Combien le gain ajouté	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Plus de temps de production (nombre déterminé des produits)</li> <li>- Bonne qualité de produit</li> <li>- Documentation et traçabilité</li> </ul>
Donnée de sortie : Question explicite à résoudre	Quels sont les actions d'amélioratrices et quels sont leurs axes d'application et déploiement ?

Tableau 8 : La méthode QOQCPC.

## 1.4 Périmètre de projet

Dans notre projet, le volume de production, l'efficience et la performance sont les périmètres principaux à améliorer par la détermination de la capacité maximale de production de la ligne de production ALPHA à base des temps de cycle théorique de chaque produit, on passe à la recherche des causes de la baisse de la cadence réelle par analyser les résultats obtenus par la mise en place des indicateurs de performance de l'état initial.

## 1.5 Indicateurs de performance KPIs

Un indicateur de performance est un élément clé pour mesurer de la performance et guider les actions vers la réalisation de la stratégie. Et alors il permet de mesurer l'écart entre un objectif et l'état actuel de la situation. Après avoir expliqué l'opportunité du problème, on a défini les objectifs des KPIs. Pour les déterminer, les questions suivantes se poseront : Quels sont nos buts et objectifs d'amélioration ? Comment mesurer le succès ? Quels paramètres spécifiques seront mesurés ?

La classe des indicateurs de performance qui nous intéresse dans notre projet est KPIs USINE et plus précisément ceux concernent la productivité, équipement et maintenance [19]. On cite parmi les indicateurs les plus efficaces qu'on va mesurer pour piloter notre projet :

Indicateur	Signification	Formule *
TRS	Taux de rendement synthétique : un indicateur destiné à suivre le taux d'utilisation de la ligne de production.	Taux de disponibilité x Taux de performance x Taux de qualité
Capacité de production	Volume total pouvant être produit.	A partir de Temps de cycle théorique donné par le constructeur
Taux d'utilisation de la capacité de production	Le pourcentage de l'exploitation réelle de la ligne de production .	Production réelle ÷ capacité de production
Perte vitesse		Temps de cycle réel ÷ temps de cycle idéal (temps de cycle minimum)
Taux de productivité	Un indice permet de mesurer la performance des ressources et l'efficacité des processus.	Nombre de produits délivrés / Nombre d'heures de travail
MTBF	Moyenne des temps de bon fonctionnement entre deux défaillances (en heures).	Le temps de fonctionnement total sur une période/ Nbre de pannes
MTTR	Le temps moyen de réparation (en heures).	Somme des temps de pannes / Nombre de pannes
Taux de rebut	Un indice de non-qualité.	Nombre de pièces jetées / nombre de pièces fabriquées

Tableau 9 : Les indicateurs de performance KPIs utilisés.

\* Les formules du calcul des indicateurs seront bien détaillées dans la phase « MESURER »

## 1.6 Description du processus étudié

### 1.6.1 Définition

SIPOIC (en français FEPEC) est un outil sert à modéliser un processus. C'est l'acronyme anglo-saxon de Supplier (Fournisseur), Inputs (Intrant), Process (processus), Outputs (Extrant), Customer (Client). Ces cinq éléments constituent les axes à partir desquels le processus est cartographié [20].

Supplier → Input → Process → Output → Customer

### 1.6.2 Application

Pour mieux définir le processus de la ligne de production ALPHA déjà présenté dans [Figure 8 : Logigramme de processus de fabrication dans l'unité ALPHA](#) on a effectué une cartographie à l'aide de l'outil SIPOC.

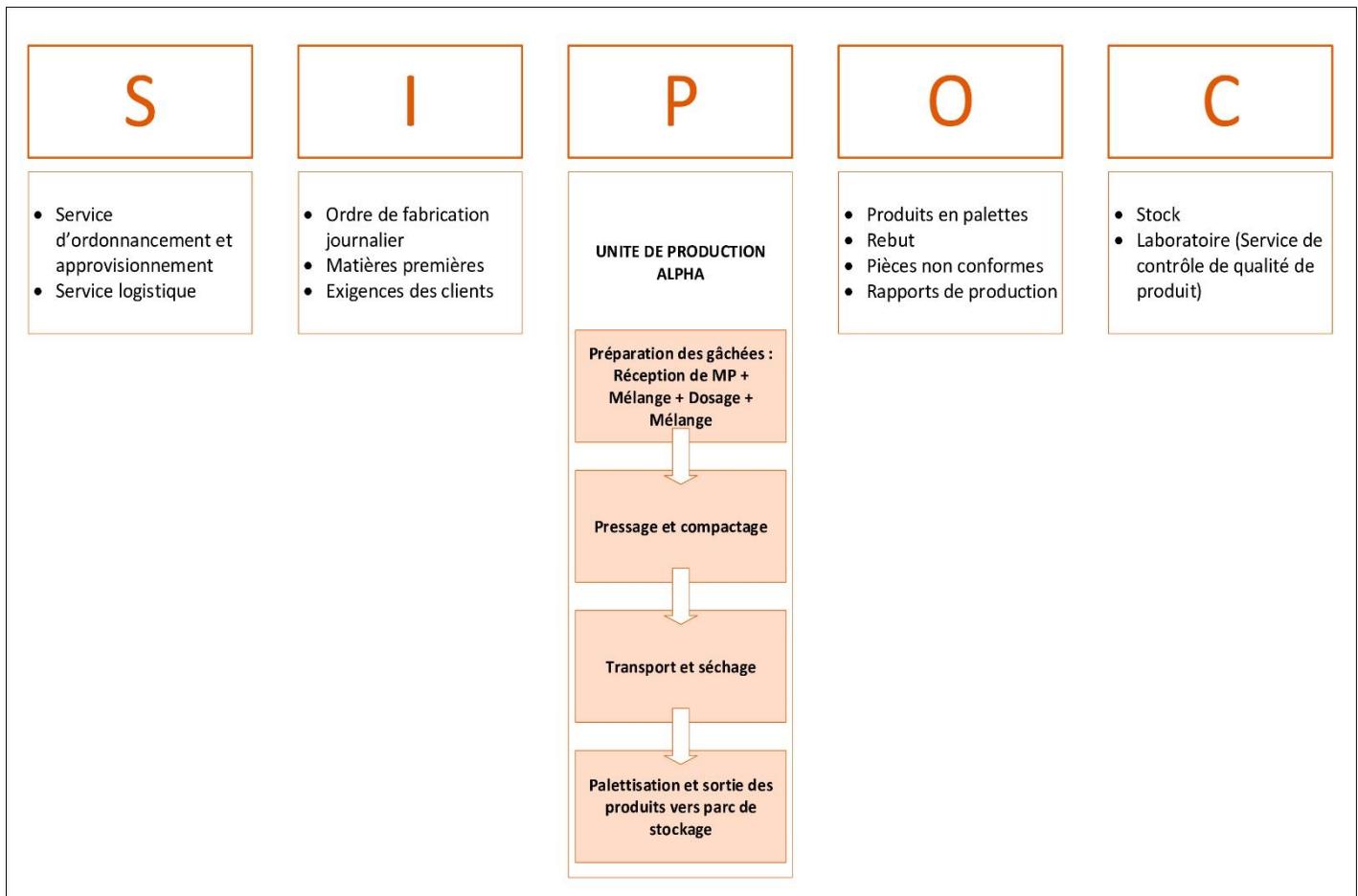


Figure 23 : Diagramme SIPOC.

## 1.7 Charte du projet

### 1.7.1 Définition

La charte de projet est utilisée pour résumer les éléments clés d'un projet. Il s'agit d'un outil très important puisqu'il permet de définir clairement le problème, de constituer l'équipe de projet et de fixer les objectifs. La charte de projet doit être revue et validée par le chef de projet à chaque étape du projet.

### 1.7.2 Application

Pour notre projet, la charte de projet se présente dans le tableau 10 suivant :

<b>CHARTE DU PROJET</b>			
Intitulé du projet	Amélioration de la ligne de production ALPHA à l'aide de Lean Six Sigma		
Entreprise	VETCAM		
Date de début	08/02/2021	Date de fin	30/06/2021
<b>Groupe de travail</b>			
Nom	Fonction		
Pr. A. ZEKRANI	Encadrant pédagogique		
Mr. I. BEKKALI GARCIA	Directeur industriel à VETCAM		
Mr. K. ELFAGHLI	Chef d'usine		
Mr. A. KISSI	Responsable de production ALPHA		
BENYAMNA Aadil	Elève ingénieur en génie industriel		
<b>Description générale</b>			
Périmètre du projet	Au niveau de la productivité, efficience et performance de l'unité ALPHA		
Objectif du projet	Augmenter la cadence par réduire les temps d'arrêts, standardiser les documents de service production et maintenance, garantir la conformité des produits, élaboration d'un planning de maintenance préventive ainsi que la mise en place des indicateurs de performance de production et maintenance, avoir une meilleure qualité de produit, moins de dommages et une grande flexibilité grâce à une organisation autour du processus de production dans l'unité ALPHA.		
Indicateurs de performance	TRS / Capacité de production /Taux d'utilisation de la capacité de production / Taux de productivité / MTBF / MTTR / Taux de rebut		
<b>Gains escomptés</b>			
Gains mesurables	Gains non mesurables		
Augmenter la cadence réelle	Amélioration de la réactivité vis-à-vis des défauts		
Réduire les gaspillages au niveau de temps et matière	Réduction des non-valeurs ajoutées		
Hypothèses et facteurs de succès	Assistance, engagement, et réactivité de l'équipe		
Contraintes	La difficulté d'accès à l'équipe de nuit		
	Manque de documentation		
	L'accès aux informations		

Tableau 10 : Charte de projet.

## 1.8 Grille SWOT

### 1.8.1 Définition

La matrice SWOT (Strengths- Weaknesses – Opportunities- Threats), en français FFOM (Forces Faiblesses Opportunités et Menaces) est une analyse SWOT est un outil structuré de réflexion et d'évaluation utilisé pour identifier des facteurs internes : vos forces et faiblesses, ainsi que des facteurs externes : vos opportunités et menaces [21].

### 1.8.2 Application

L'amélioration de performance du processus étudié nécessite une évaluation objective permettant de mettre en évidence ses points forts et ses points à améliorer. À cette fin, une analyse SWOT permettra d'identifier les facteurs internes et externes qui aident ou empêchent le processus d'atteindre ses objectifs de performance. Les facteurs internes font référence aux forces et aux faiblesses, et pour les facteurs externes sont les opportunités plus les menaces. Cette analyse permet de mieux comprendre les forces sur lesquelles il faut capitaliser, les opportunités à développer, les principales faiblesses sur lesquelles il faut travailler pour réussir, et les faiblesses sur lesquelles il faut travailler pour réussir, ainsi que les menaces qu'il faut éviter.

Le modèle SWOT peut très bien être adapté à la gestion de notre projet dans sa phase amont se présente dans le tableau 11.

	<b>S</b>	<b>Forces (STRENGTHS)</b>	<b>W</b>	<b>Faiblesses (WEAKNESSSES)</b>
INTERNE	1	Engagement de toute l'équipe	1	Manque de documentation
EXTERNE	2	Esprit d'amélioration et progrès	2	Manque de traçabilité
INTERNE	3	Les ressources humaines et financières requises sont disponibles	3	Répétitivité et non maîtrise des arrêts
EXTERNE	O	<b>Opportunités (OPPORTUNITIES)</b>	T	<b>Menaces (THREATS)</b>
EXTERNE	1	Champ vaste d'observation et d'analyse	1	Difficulté de l'accès à l'information d'autre service
EXTERNE	2	Environnement en pleine croissance	2	Beaucoup de réclamation des clients
EXTERNE	3	Projet ouvert et rentable et parmi les intérêts de l'entreprise	3	Coûts élevés de non-qualité et indisponibilité

Tableau 11 : Analyse SWOT.

Les faiblesses et les menaces du processus identifiées lors de l'analyse SWOT seront les points à analyser et mettre en tête avant la phase de MESURER.

## 1.9 Planning du projet

Pour la planification de déroulement des tâches de projet, on a posé un planning du projet selon les étapes de la démarche adoptée DMAIC qui est déjà présenté en cahier de charge dans « Chapitre II : Contexte du projet » dans [Figure 15 : Diagramme de Gantt](#) et qu'on faut le mentionner dans la fin de notre 1ere phase DEFINIR.

## 2 PHASE 2 : MESURER

Cette partie est consacrée à la phase de collecte de données, et de mesure de la performance du processus de production. On va mettre en relief les zones les moins performantes, puis identifier leurs problèmes majeurs pour y accorder la priorité dans le traitement.

Pour la phase MESURER, on pose l'équation suivante :  $Y = f(x)$  avec Y étant la mesure du productivité, efficience et la performances et x les variables qui influencent le Y et par la suite on va mesurer tous les x par les indicateurs de performance.

### 2.1 Réalisation de la cartographie VSM

#### 2.1.1 Définition

Le value Stream mapping VSM est un outil regroupe toutes les opérations et les actions (valeur ajoutée et non-valeur ajoutée) qui amènent un produit d'un état initial (MP) à un état final (PF). Il s'attache à travailler sur un ensemble et non une partie (sur une ligne de production), le VSM ne s'attaque pas à une machine de la ligne en particulier mais à l'ensemble de celles-ci [22].

L'objectif de cette cartographie est d'obtenir une vision simple et claire d'un processus et avoir une représentation du temps de déroulement de processus du produit choisi (lead time). L'analyse amènera par la suite à des améliorations qui porteront sur la globalité du processus.

#### 2.1.2 Application

##### 2.1.2.1 Dessin de VSM initial

Notre but de cet outil est de bien détailler le flux dans la ligne ALPHA pour mettre en lumière le processus et voir les postes gênants dont lesquels on peut réagir.

Pour la réalisation, on a collecté plein d'informations qui permis de décrire le flux avec tous les facteurs pour accroître la visualisation.

Premièrement, on a défini toutes les tâches de la fabrication, aussi les stocks et les encours de la matière première et les produits semi-finis.

Le chronométrage a été réalisé d'une façon ponctuelle et bien précis avec 5 essais en minimum en respectant le processus établi.

La figure 24 présente le VSM de la ligne ALPHA :

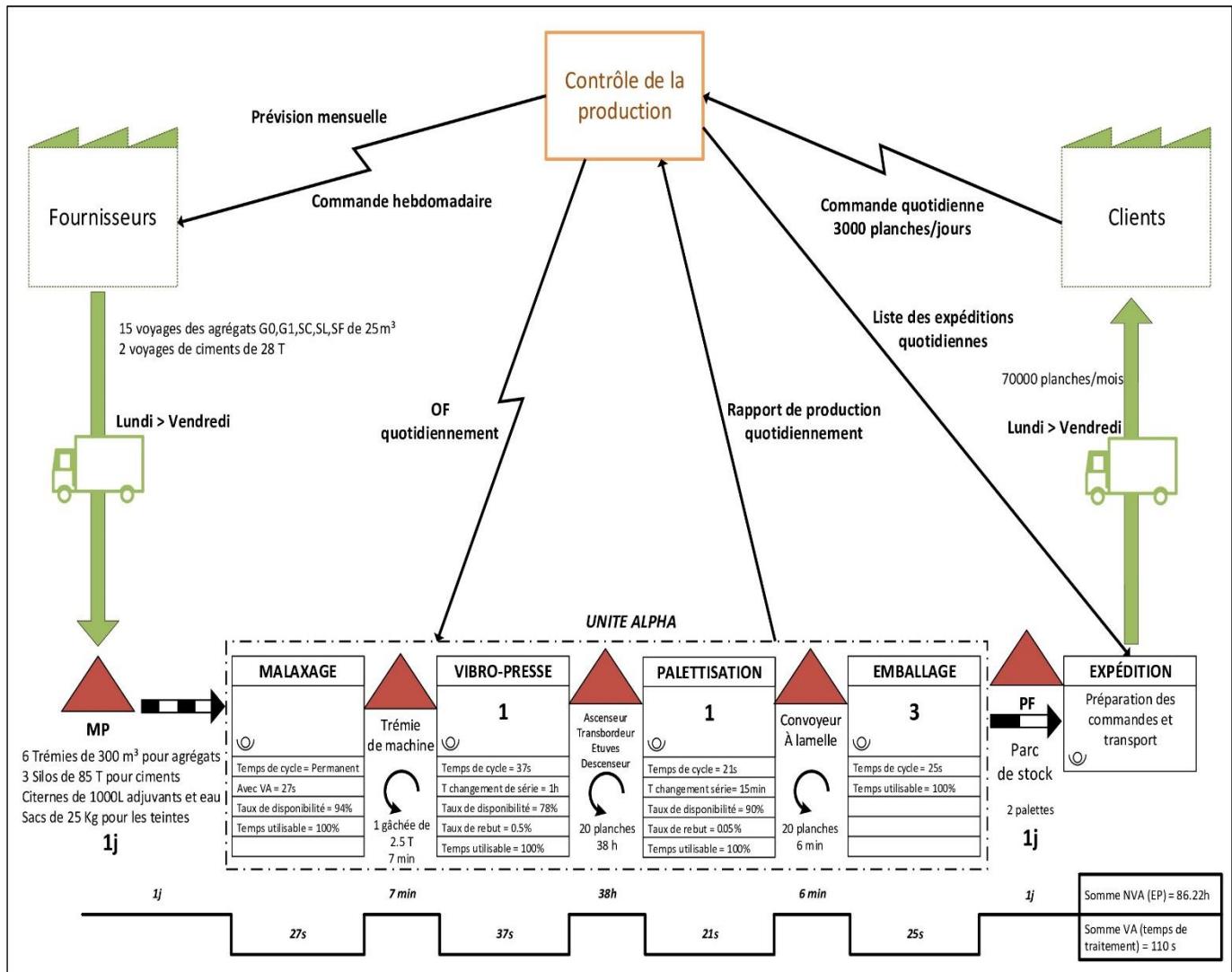


Figure 24 : VSM d'unité ALPHA.

### 2.1.2.2 Lead time, taux de valeur ajoutée et Takt time

Lead time ou temps de cycle de processus désigne le temps total nécessaire entre le moment où une commande est passée et celui où elle est livrée au client (ou reçue du fournisseur), en incluant dans cette période toutes les activités logistiques impliquées.

Il se calcule par la formule :

$$\text{Lead time} = \text{VA} + \text{NVA}$$

D'après le VSM, notre Lead time est :

$$\text{Lead time} = 86.25h$$

Le taux de valeur ajoutée (TVA) correspond au rapport de lead time sur le total des temps de cycle de processus. Il se calcule par la formule :

$$\text{TVA} = \frac{\sum \text{Temps de cycle VA}}{\text{Lead Time}}$$

D'après le VSM, notre TVA est :

$$\text{TVA} = \frac{110 \text{ s}}{86.25 \text{ h}} = \frac{110}{310500} = 0.04 \%$$

Ce qui signifie concrètement que le temps de l'apport de la valeur ajoutée ne représente que 0.04 % du temps global que passe les produits dans le processus. Cela donne une idée claire sur l'énorme gaspillage dont souffre la ligne de production ALPHA, il est donc nécessaire de chercher à réduire ou éliminer ces gaspillages pour améliorer l'efficience tout en garantissant la qualité des produits.

Pour qu'on puisse déterminer le poste de processus dont le cycle de plus sensible et influant sur la productivité de la ligne. Il faut effectuer l'analyse par rapport le takt time.

Le Takt Time est le temps nécessaire pour produire un bien dans le but de satisfaire la demande du client, ce temps est exigé par le client.

Le Takt time est calculé par l'équation suivante :

$$\text{Takt time} = \frac{\text{Temps disponible}}{\text{Demande client}}$$

Sachant que le temps d'ouverture disponible dans l'unité ALPHA est 24h en 3 shifts de 8h et la commande journalière reçue en ordre de fabrication est 3000 planches. Notre Takt time alors est :

$$\text{Takt time} = \frac{86400}{3000} = 28.8 \text{ s}$$

Notre Takt time = 28.8 s donc le cycle de chaque poste ou processus de la chaîne doit être inférieur à 28.8s pour qu'on peut atteindre l'objectif.

Les postes qui ont un cycle time supérieure au Takt time sont des postes goulot qui bloquent la bonne marche de la production.

Le tableau 12 présente les temps de cycle des 4 postes de la ligne.

Process	Temps de cycle	Takt Time
MALAXAGE	27 s	28.8 s
VIBRO PRESSE	37 s	
PALETTISATION	21 s	
EMBALLAGE	25 s	

Tableau 12 : les temps de cycle de chaque process.

La figure 25 illustre les temps des cycles des process par rapport au Takt time.

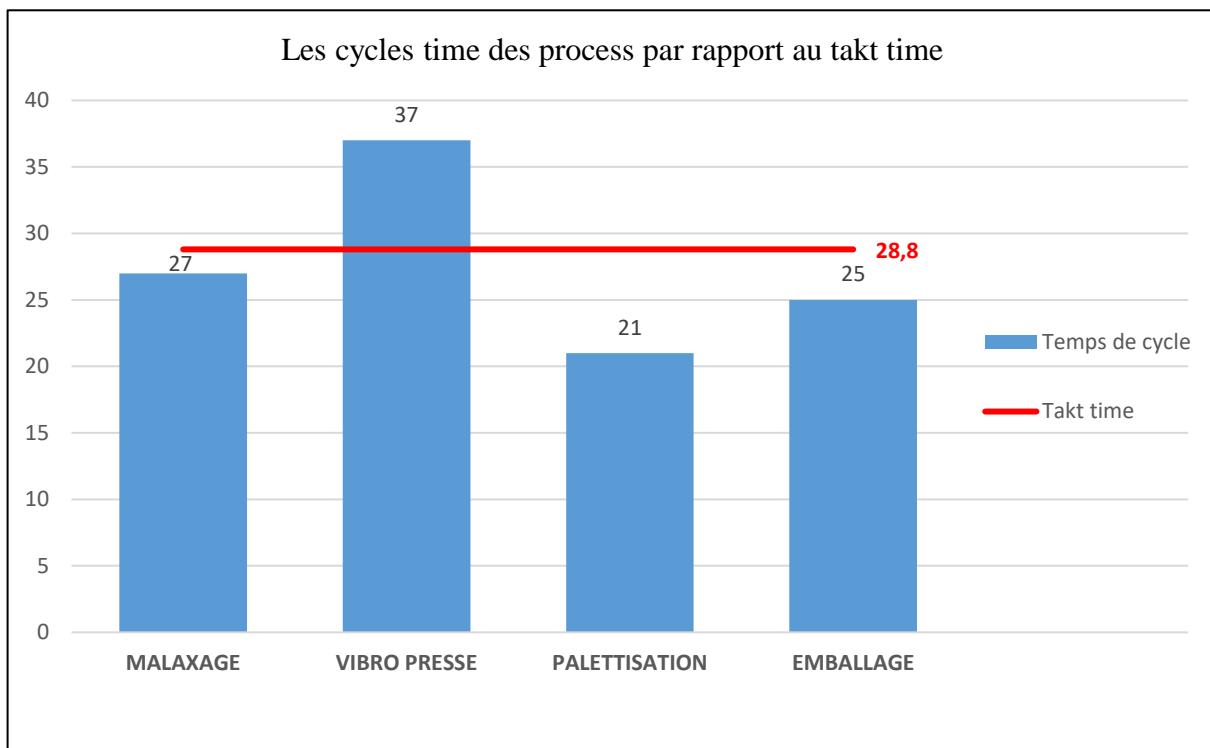


Figure 25 : les temps des cycles des process par rapport au Takt time.

Lors d'une observation détaillée sur le terrain et après l'élaboration de la cartographie des flux de valeur (VSM) et l'analyse de ces données, on a pu constater des premiers dysfonctionnements qui influencent sur la productivité de la ligne de production. C'était le temps de cycle de la machine vibro-presse situé au cœur de processus de fabrication (le cycle de plus sensible et influant sur la productivité de la ligne). Alors on va mesurer dans ce sens la capacité maximale de poste VIBRO PRESSE représenté par sa machine ALPHA pour tracer notre plan de stratégie d'amélioration.

## 2.2 Les indicateurs de performances

La classe des indicateurs de performance qui nous intéresse dans notre projet est KPIs USINE et plus précisément ceux concernent la productivité, équipement et maintenance.

### 2.2.1 La capacité de production et le taux d'utilisation de la capacité

#### 2.2.1.1 Définition

La capacité de production est la cadence ou le volume d'unités produites sous des conditions idéales d'opération.

Le taux d'utilisation des capacités de production (machines et équipements) est égal au ratio entre les capacités de production effectivement mobilisées pour la production et l'ensemble des capacités de production potentiellement disponibles [19].

#### 2.2.1.2 Application

Pour notre cas, on va déterminer la capacité maximale de production de la machine vibro-presse ALPHA à partir de son temps de cycle théorique idéal donné par le constructeur PRENSOLAND. On note que le temps de cycle de cette machine est déjà défini en [Figure 9 : Cycle de machine vebropresse ALPHA](#).

Produit	T cycle théorique (s)	Cadence théorique par heure (planches)	Cadence théorique par jour (24h sans arrêt)
<b>BORDURES</b>			
A2	34	106	2541
I2	33	109	2618
F1	36	100	2400
F2	36	100	2400
F3	40	90	2160
T1	36	100	2400
T2	36	100	2400
T3	36	100	2400
T4	48	75	1800
P1	34	106	2541
V1	36	100	2400
CR1	36	100	2400
CR2	36	100	2400
CC1	36	100	2400
CC2	36	100	2400
CS1	36	100	2400
CS3	36	100	2400
BOTTE	36	100	2400
<b>AGGLOS / HOURDIS</b>			
Hourdis 8	22	164	3927
Hourdis 12	22	164	3927
Hourdis 16	24	150	3600
Hourdis 20	24	150	3600
Hourdis 25	24	150	3600
Agglos 10	25	144	3456
Agglos 15	25	144	3456
Agglos 20	25	144	3456
<b>PAVES</b>			
Dalette 60x40x6	28	129	3086
Dalette 50x25x6	27	133	3200
Dalette 40x20x6	26	138	3323
Pavé 20x20x6	22	164	3927
Pavé 10x10x6	22	164	3927
Pavé 20x20x6	22	164	3927
Pavé Héritage 6	22	164	3927
Pavé 2T 6	22	164	3927
Pavé Trio 6	22	164	3927
Pavé Pentagone 6	22	164	3927
Pavé Bronze 6	22	164	3927

Pavé Uni 6	22	164	3927
Pavé 20x20x8	22	164	3927
Pavé 20x20x8	22	164	3927
Pavé 2T 8	22	164	3927
Pavé Uni 8	22	164	3927

Tableau 13 : La cadence théorique de la machine ALPHA par type de produit.

D'après l'historique des rapports de production, la cadence réelle est encore loin à celle théorique. Et dans la figure 26, on illustre l'écart entre la moyenne de la production par famille de mois Février et Mars 2021 par jour (3 shifts de 8h) et la cadence théorique :

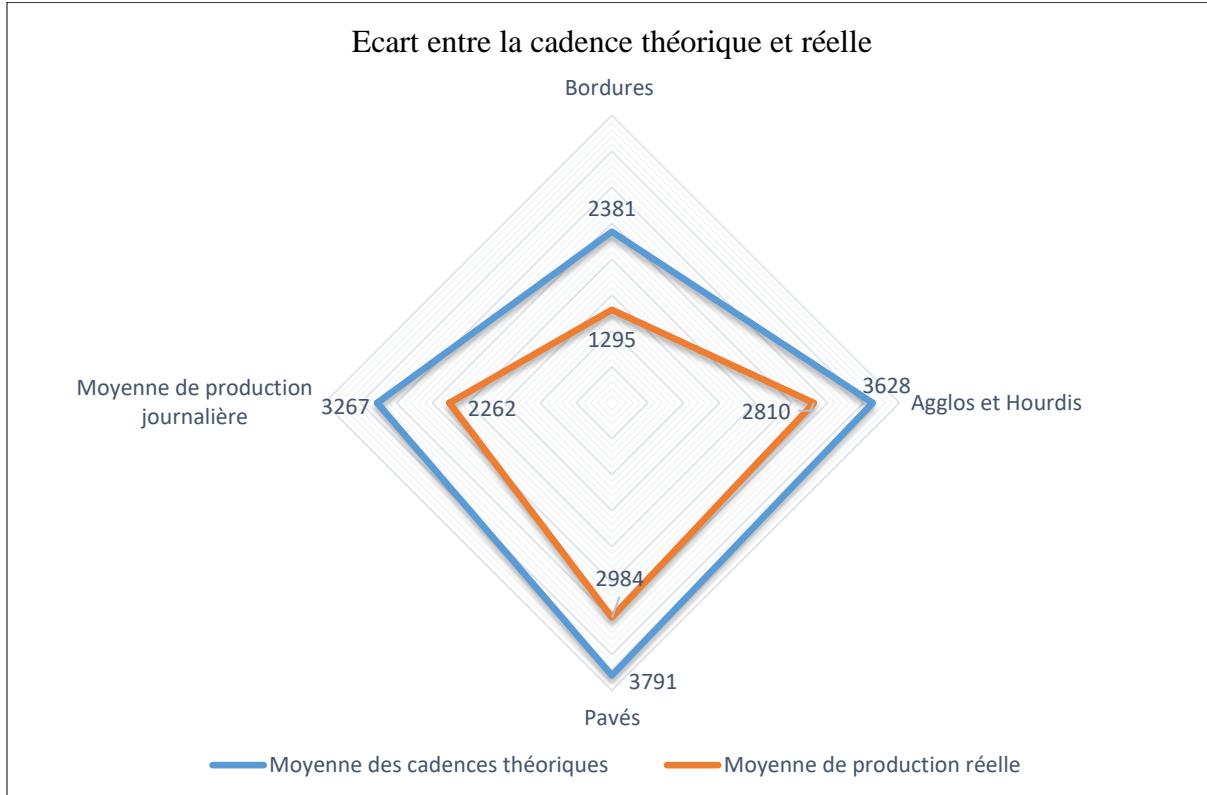


Figure 26 : Ecart entre la cadence réelle et théorique.

D'après les données de diagramme en radar ci-dessus, on va calculer le taux d'utilisation de la capacité comme suit :

$$\text{Le taux d'utilisation de la capacité} = \frac{2262}{3267} \times 100 = 69\%$$

Alors on n'utilise que 69% de la capacité de la ligne, sachant qu'on peut exploiter de 30% de plus. Par la suite on va chercher les causes amènent à ces écarts et la baisse de production réelle par rapport à la capacité de la machine ALPHA pour les attaquer par un plan d'action efficace pour éviter la dispersion entre les temps de cycle réels et ceux donnés par le constructeur (théorique). Sachant que le circuit est fermé, automatisé et synchronisé, on note que chaque arrêt dans une machine de toute la ligne provoque l'arrêt de tous les postes afin d'éviter le blocage d'un poste et apparaitre des postes goulots et donc garder la synchronisation de toutes les actions de la ligne pour un déroulement normale de la production et alors tout le temps d'arrêt ou de d'attente s'accumule en temps de cycle réel calculé par la machine et alors avoir un temps de cycle supérieur à l'idéal.

A la fin de chaque shift, l'opérateur tire « Rapport de production » (**Annexe 2**) regroupant toutes informations à propos de son poste de travail comme :

- Les informations de shift : Nom d'opérateur, N° Moule, Nom de moule, Couleur, Date ...
- Les données de fonctionnement : Heure début, Heure fin, Nombre de planches produites, Nombre des produits en pièces, Temps de cycle théorique et réel, Temps de fonctionnement manuelle et automatique, Temps d'arrêt à cause de manque de béton, Nombre de gâchées, poids de pièce ...
- La consommation de MP pour la monocouche et bicouche : Consommation de ciment, agrégats, adjuvants et eau ...
- Les informations de palettisation : N° Moule, Nom de moule, Couleur, hauteurs de palette, nombre de palettes ...

Ces informations et celles collectées par les fiches de relevés des arrêts (**Annexe 1**) nous aident à remplir autres fiches de calcul des indicateurs de performance suivants :

## **2.2.2 Taux de rendement synthétique - TRS**

### **2.2.2.1 Définition**

L'efficience correspond au rapport des bons produits réellement fabriqués sur le nombre de produits qu'on aurait fabriqué à la cadence nominale et sans interruption. Différentes méthodes permettent de classer les pertes d'efficience par familles : le T.R.S. (Taux de Rendement Synthétique) ou encore la méthode PAMCO qui classe les pertes en 3 familles essentielles : pertes planifiées, pertes de routine et pertes imprévues [19].

Le TRS (OEE - Overall Equipment Effectiveness) est défini par la norme NF E60-182 comme le rapport du temps utile sur le temps requis. Il représente donc le pourcentage du temps passé à faire des pièces bonnes à la cadence nominale, par rapport au temps pendant lequel le moyen était mis à disposition de la production (temps requis) [23].

Il peut aussi être calculé comme le rapport du nombre de pièces bonnes produites par le nombre de pièces qu'il serait théoriquement possible de réaliser pendant le temps de production.

Le Taux de Rendement Synthétique (TRS) est certainement un des indicateurs les plus suivis en entreprise. En un seul chiffre il donne une vision synthétique et sévère de la performance. Le TRS est un indicateur synthétique et composite. Pour choisir le bon levier d'action, il faut analyser ses trois composantes :

- La disponibilité de la machine, de l'équipement.
- La performance de celle-ci, en régime normal.
- La qualité quelle est capable de fournir.

Le TRS se calcule alors par la multiplication de ces trois taux.

$$\text{TRS} = \text{Taux de disponibilité} \times \text{Taux de performance} \times \text{Taux de qualité}$$

En calculant le taux de disponibilité par l'équation suivante :

$$\text{Taux de disponibilité} = \frac{\text{Taux brut de fonctionnement}}{\text{Taux net de fonctionnement}}$$

Et le taux brut et net de fonctionnement par les équations suivantes :

$$\text{Taux brut de fonctionnement} = \frac{\text{Temps d'ouverture} - \sum \text{Arrets}}{\text{Temps d'ouverture}}$$

$$\text{Taux net de fonctionnement} = \frac{\text{Temps de cycle réel} \times \text{production réalisée}}{\text{Temps d'ouverture} - \sum \text{Arrets}}$$

Et le taux de performance se calcule par la formule suivante :

$$\text{Taux de performance} = \text{Taux net de fonctionnement} \times \text{Rendement vitesse}$$

Avec le rendement vitesse exprimé par la formule suivante :

$$\text{Rendement vitesse} = \text{temps cycle théorique} / \text{temps cycle réel}$$

$$\text{Perte vitesse} = 1 - \frac{\text{Temps de cycle réel}}{\text{Temps de cycle théorique}}$$

Et le taux de qualité se calcule par la formule suivante :

$$\text{Taux de qualité} = \frac{\sum \text{pièces bonnes}}{\sum \text{pièces produites}}$$

Alors la formule finale qu'on va adopter pour calculer le TRS est comme suit :

$$\text{TRS} = \text{Taux brut de fonctionnement} \times \text{Rendement vitesse} \times \text{Taux de qualité}$$

Le taux de rendement global TRG est un indicateur économique qui prend en compte toutes les composantes de la production : temps de travail, nombre de pièces conformes fabriquées, charge et efficacité de l'outil de production. Il est plus sévère que le TRS car il se calcule comme le rapport du temps passé à produire des pièces bonnes sur le temps pendant lequel l'atelier est accessible. Il permet ainsi de responsabiliser l'ensemble des services de la production de façon à optimiser l'utilisation de l'outil pendant son temps de fonctionnement optimal (temps d'ouverture). Le TRG se calcule par la multiplication de TRS fois un taux de charge, c'est le rapport du temps requis et du temps d'ouverture :

$$\text{TRG} = \text{TRS} \times \frac{\text{Temps requis}}{\text{Temps d'ouverture}} = \text{TRS} \times \frac{\text{Temps d'ouverture} - \sum \text{Arrets planifiés}}{\text{Temps d'ouverture}}$$

### 2.2.2.2 Application

Pour le calcul du TRS, on a proposé un modèle de fiche de suivi de production journalière et calcul de TRS (**Annexe 3**) qui nous facilite par la suite avoir des données, des indicateurs et des taux sur notre ligne de production. La première partie de cette fiche se remplit par les données de Rapport de production (**Annexe 2**)

Opérateur
Poste
Nom de moule
N° moule
Couleur
Pièces par planche
Nbr planches produit
Heure de début
Heure de fin
Temps d'ouverture (min)
Temps cycle théorique (s)
Temps cycle réel (s)

Tableau 14 : Les données de rapport de production.

Et la deuxième partie se remplit à partir des données collectées par Fiche de relevés des temps d'arrêts (**Annexe 1**) qu'on a proposé au début de février 2021 à remplir à base de chronométrer les temps d'arrêts dans chaque heure de production en déterminant sa durée, sa zone et description de problème ainsi que le nombre des planches non conformes. Cette fiche consiste l'un des documents les plus intéressants dans la phase de collecte des données.

<b>Arrêts planifiés (min)</b>
<b>Temps requis (min)</b>
<b>Arrêts non planifiés (min)</b>
<b>Temps de fonctionnement (min)</b>
<b>Planches non conformes</b>

Tableau 15 : Les données de fiche de relevés des temps d'arrêts.

Pour la case des arrêts planifiés ou non planifiés, la valeur de la somme des temps d'arrêts s'affecte à cette case après la saisie de ces temps obtenus par la fiche de relevés des temps d'arrêts.

<b>Arrêts planifiés (min)</b>	Nettoyage planifié
	Maintenance planifiée
	Poste non planifié
	Changement de moule selon planning
	Jour férié / non travaillé
	Rupture de jeune / Shor
	Essais
	Réglage machine
<b>Arrêts non planifiés (min)</b>	Contrôle produit
	Changement de moule non planifié
	Manque de MP
	Changement mâchoire pince
	Nettoyage non planifié
	Maintenance non planifiée
	Coupure Courant
	Triage
	Problème qualité production
	Rupture de MP
	Problème Qualité MP
	Panne de la chargeuse de MP
	Manque Planche
	Coincement planche
	Manque Palette
	Palette cassée
	Etuve saturée
	Parc PF saturé

Panne/Manque chariot élévateur
Accident
Panne Ascenseur/Descenseur
Panne Pince
Panne Table Vibrante
Panne Trémie
Panne Convoyeur
Panne Malaxeur
Panne Skip
Panne Transbordeur
Arrêt Transbordeur
Panne Pousse Planche
Panne tiroir
Panne vérin pilon
Panne transporteur palettes
Panne vérin moule
Vis silo
Panne trémies presse
Panne agitateur
Panne cercleuse
Panne pignon
Changement de la brosse
Panne pompe d'adjuvant ou d'eau
Arrêt compresseur

Tableau 16 : les arrêts planifiés et non planifiés.

Et par la suite, les taux et les indicateurs se calculent automatiquement après l'implémentation des formules mentionnées préalablement dans une feuille Excel (**Annexe 3**).

<b>Taux de fonctionnement brut</b>
<b>Taux de fonctionnement net</b>
<b>Production/h</b>
<b>Perte de vitesse</b>
<b>Rendement vitesse</b>
<b>Taux de disponibilité %</b>
<b>Taux de performance %</b>
<b>Taux de qualité %</b>
<b>TRS %</b>
<b>TRG %</b>

Tableau 17 : Les taux calculés par Excel.

Après la mesure journalière de ces indicateurs, on pose à la fin de chaque mois un récapitulatif qui regroupe les moyennes de ces taux ainsi que la somme des temps d'arrêts et la quantité produites (**Annexe 4**). Et le tableau 18 résume les résultats les taux de disponibilité, qualité, performance, TRS et TRG des mois Février, Mars et Avril 2021.

	Février	Mars	Avril
Moyenne des Taux de disponibilité du mois	79,76%	80,16%	80,43%
Moyenne des Taux de performance du mois	88,44%	94,78%	83,03%
Moyenne des Taux de qualité du mois	93,55%	95,16%	91,07%
Moyenne de TRS du mois	74,73%	78,55%	72,74%
Moyenne de TRG du mois	70,42%	73,73%	68,25%

Tableau 18 : TRS et TRG des mois Février, Mars et Avril 2021.

Cette figure illustre l'évolution des indicateurs ci-dessus dans les 3 premiers mois de notre projet :

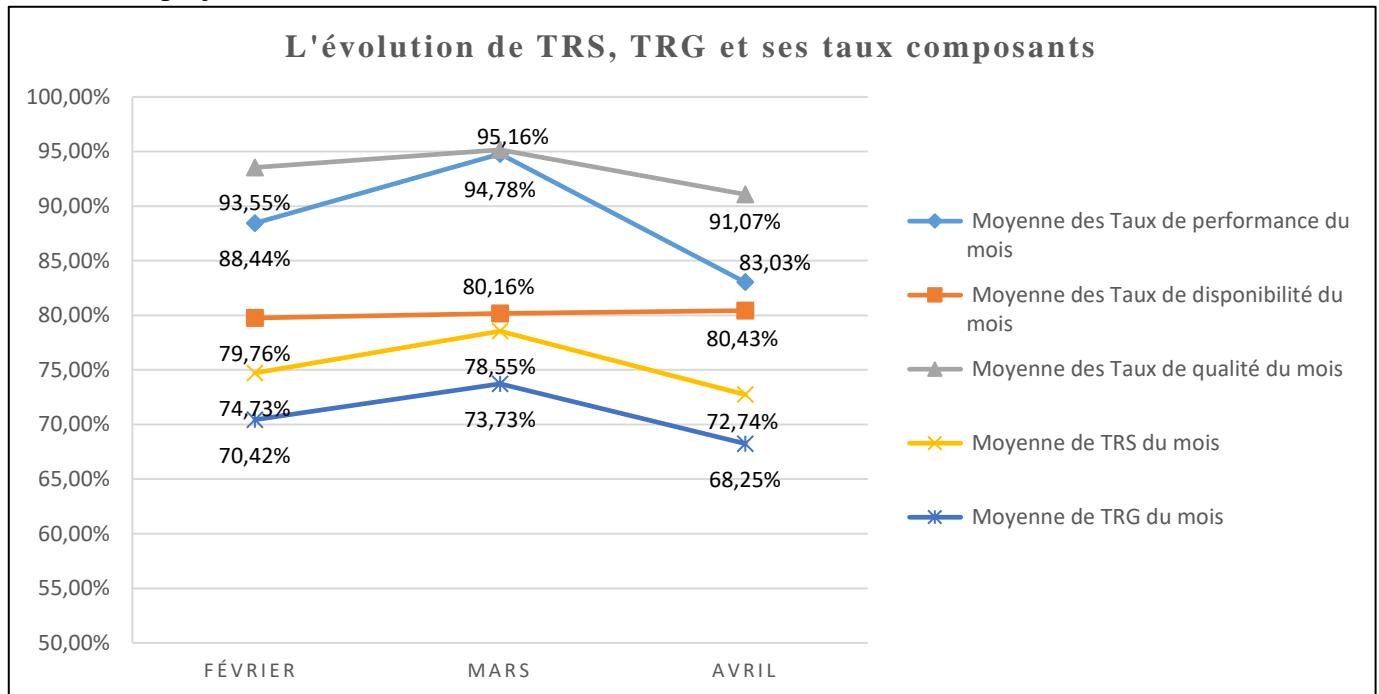


Figure 27 : L'évolution de TRS, TRG et ses taux composants.

En général le TRS (et le TRG proportionnellement) n'a jamais dépassé 80% sachant avec les ressources et les moyens disponibles dans l'usine en général et dans l'unité ALPHA en particulier, on peut atteindre jusqu'au 85% pour le TRS (cible de projet). Alors améliorer le TRS signifie l'amélioration de la cadence par élargir la disponibilité, la performance et le rendement de la ligne et donc atteindre notre objectif principal de notre projet.

### 2.2.3 MTBF et MTTR

#### 2.2.3.1 Définition

La maintenabilité concerne l'action de maintenance comme telle. Par la maintenabilité, on recherche l'optimisation du temps d'intervention afin d'augmenter le temps de production en diminuant les délais. Son indice est le MTTR (Mean Time To Repair) le temps moyen de réparation fait référence au temps nécessaire pour réparer un système et le restaurer à toutes ses fonctionnalités. L'horloge MTTR commence à clignoter au début des réparations et continue jusqu'à ce que les opérations soient restaurées. Cela comprend le temps de réparation, la période de test et le retour à l'état de fonctionnement normal [24]. Il se calcule par la formule :

$$\text{MTTR} = \frac{\Sigma \text{ Temps d'arrêt}}{\text{Nombre d'arrêt}}$$

La fiabilité est la probabilité qu'un produit fonctionne correctement sans panne dans des conditions d'utilisation données pendant une durée spécifique. L'indice de fiabilité le plus employé est le MTBF (mean time between failures) mesure le temps prévu qui s'écoule entre une défaillance précédente d'un système et la défaillance suivante en fonctionnement normal. En termes plus simples ; le MTBF vous aide à prévoir combien de temps un actif peut fonctionner avant la prochaine panne non planifiée. L'espoir qu'une défaillance se produira à un moment donné est une partie essentielle du MTBF. Il se calcule par la formule :

$$\text{MTBF} = \frac{\text{Le temps de fonctionnement total sur une période}}{\text{Nombre d'arrêt}}$$

Bien que le terme MTBF est utilisé pour les systèmes réparables ; mais il ne prend pas en compte les unités qui sont à l'arrêt pour une maintenance programmée de routine (rééquilibrage ; entretien ; lubrification) ou le remplacement préventif de pièces de rechange. Il capture plutôt les pannes qui se produisent en raison des conditions de conception qui obligent à mettre l'unité hors service avant de pouvoir la réparer.

Plus le chiffre du MTBF est élevé, plus le système fonctionnera probablement longtemps avant de tomber en panne.

Le taux de défaillance instantané est le taux de défaillance d'un système ayant fonctionné pendant une durée  $t$ . Il se calcule par la formule :

$$\lambda = \frac{1}{\text{MTBF}}$$

La disponibilité allie donc les notions de fiabilité et de maintenabilité. Il se calcule par la formule :

$$D = \frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF} + \text{MTTR}}$$

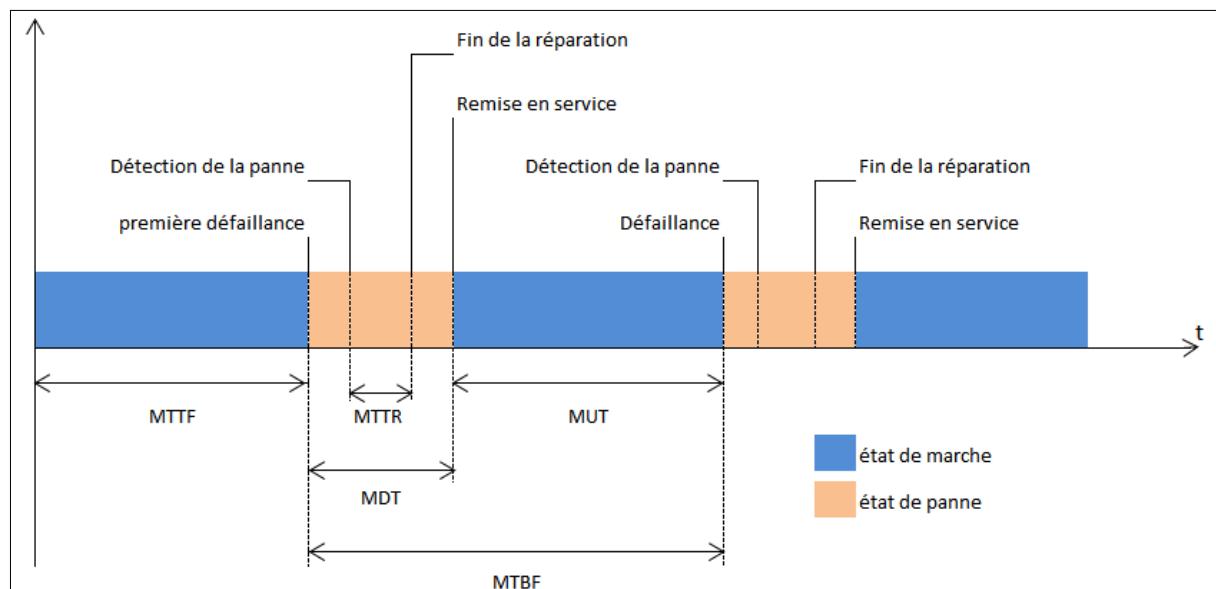


Figure 28 : MTBF et MTTR.

### 2.2.3.2 Application

Pour avoir plus des indicateurs pour une large vision au niveau de la maintenance sur notre ligne de production ALPHA, on a calculé aussi ces indicateurs de la maintenance pour les mois Février, Mars et Avril 2021 grâce à les données des fiches de relevés de temps d'arrêts (**Annexe 1**) et les rapports d'interventions (**Annexe 5**) qu'on a proposé à remplir à la fin de chaque intervention de maintenance. Le tableau 18 résume les résultats des mois Février, Mars et Avril 2021.

	Février	Mars	Avril
Somme des temps de bon fonctionnement (min)	30234	34178	34013
Nombre de pannes	92	113	102
Somme de temps des pannes (min)	7672	8461	8276
MTBF (min)	328,63	302,46	333,46
Taux de défaillance $\lambda$	0,18 panne/h	0,19 panne/h	0,17 panne/h
MTTR (min)	83,39	74,88	81,14
La disponibilité*	79,76%	80,16%	80,43%

Figure 29 : MTBF, MTTR et la disponibilité des mois Février, Mars et Avril 2021.

\*Pour la disponibilité est la même obtenue par le calcul par le TRS.

On a obtenu une idée sur la disponibilité ainsi que des données chiffrées à propos du temps prévu qui s'écoule entre deux défaillances qui ne dépasse pas 6h et le temps de réparation le temps de réparation qui dépasse 1h14min. Alors on aura plus de données de mesure de l'état actuel et qui va nous aider pour valoriser l'écart après les actions amélioratives par augmenter la disponibilité qui nécessite le passage par l'allongement de la MTBF (action sur la fiabilité) pour avoir le moins possible d'arrêts de production et la réduction de la MTTR (action sur la maintenance) afin d'être rapidement remis en bon état s'il tombe en panne.

### 2.2.4 Taux de productivité

#### 2.2.4.1 Définition

La productivité mesure l'efficacité d'une unité de production. C'est une information sur la vitesse et la qualité. Il ne faut pas confondre la productivité et la production, une entreprise peut être plus productive tout en produisant moins. Il permet de mesurer la performance des ressources et l'efficacité des processus [19]. On peut le calculer par la formule :

$$\text{Taux de productivité} = \frac{\text{Production réelle}}{\text{Nombre d'heures travaillées}}$$

#### 2.2.4.2 Application

On a calculé le taux de productivité pour les mois Février, Mars et Avril 2021.

	Février	Mars	Avril
Nombre de planches produites	65855	72312	60985
Nombre de heures travaillées	503,90	569,63	566,88
Taux de productivité	131	127	108

Tableau 19 : Taux de productivité des mois Février, Mars et Avril 2021.

## 2.2.5 Taux de rebut

### 2.2.5.1 Définition

Dans le processus de fabrication, il est souvent nécessaire de planifier une quantité supérieure à la quantité réelle requise, car une partie du produit obtenu peut ne pas être conforme aux spécifications. De plus, certains composants peuvent se casser ou être impropre à la fabrication. On peut alors définir le taux de rebut par le pourcentage des pièces rebutées (jetées) par rapport au nombre de pièces produites [19].

### 2.2.5.2 Application

Dans l'intérêt d'avoir une idée sur le taux de rebut de la ligne de production ALPHA avec un cible de moins de 2%, on a localisé les zones où le contact entre les produits et une source de frottement existe qui peut provoquer un rebut ou non-conformité des produits. Et pour bien contrôler la casse, les retouches et les rebuts, on a commencé à remplir chaque jour des fiches de calcul posée en 3 postes comme suit :

Poste	Fiche	Responsable	Annexe
Sortie presse ALPHA	Fiche de contrôle de la sortie presse	Ouvrier contrôle sortie presse	Annexe 6
Sortie de descenseur avant la palettisation	Fiche de calcul des pièces non conformes (La casse)	Ouvrier de triage	Annexe 7
Chariot élévateur	Fiche de calcul des palettes sortantes	Cariste	Annexe 8

Tableau 20 : Les fiches de calcul de rebut.

L'intérêt d'utiliser 3 procédures pour contrôler la casse et le rebut est pour bien préciser ce taux et éviter toute sorte de faute et erreur d'un poste en calculant le nombre des pièces non conforme ou rebutées ainsi que l'ouvrier avait une idée sur sa productivité. Ensuite on collecte les données obtenues par ces 3 fiches dans un tableau pour calculer le taux de rebut de mois (**Annexe 9**)

On a calculé d'après ces fiches le taux de rebut pour les mois Février, Mars et Avril 2021.

	Février	Mars	Avril
Nombre de planches produites	65855	72312	60985
Nombre de planches rebutées	397	452	375
Taux de rebut	0,60%	0,63%	0,61%

Tableau 21 : Taux de rebut des mois Février, Mars et Avril 2021.

Pour mieux améliorer la productivité en augmentant la production réelle et réduire les temps d'arrêts, il faut toujours mettre en priorité la conformité et la qualité des produits et pour notre cas le taux de rebut ne dépasse pas 0.6% et notre cible sera de diminuer <0.5%.

## 3 PHASE 3 : ANALYSER

Cette partie est consacrée à la phase d'analyser et diagnostiquer les données obtenues par la phase de mesure afin de dégager les sources importantes qui provoque la baisse des indicateurs de performance de la production et maintenance pour les attaquer par priorité par des actions amélioratives pour toucher des gains tangibles et intangibles de court terme, moyen terme et long terme.

### 3.1 Analyse des données

Pour bien analyser les données de la phase MESURER, on va résumer tous les indicateurs calculés dans le tableau 22 et les comparer avec la cible exigée par la direction après qu'ils ont reçu le récapitulatif des indicateurs de 3 premiers mois du projet et ont analysé l'existant en tout prenant en compte les ressources et les moyens de l'usine afin de déterminer les écarts et encadrer le sens d'analyse et de recherche les causes qui les provoquent.

Indicateur	Février	Mars	Avril	Cible
La moyenne de production journalière	⬇️ 2351	⬇️ 2032	⬇️ 2295	⬆️ 3000
Nombre de planches produites	⬇️ 65855	➡️ 72312	⬇️ 60985	⬆️ 80000
Le taux d'utilisation de la capacité	⬇️	69%		⬆️ 91%
Moyenne des Taux de disponibilité du mois	⬇️ 79,76%	⬇️ 80,16%	⬇️ 80,43%	⬆️ 90%
Moyenne des Taux de performance du mois	➡️ 88,44%	⬆️ 94,78%	⬇️ 83,03%	⬆️ 90%
Moyenne des Taux de qualité du mois	⬇️ 93,55%	➡️ 95,16%	⬇️ 91,07%	⬆️ 99%
Moyenne de TRS du mois	⬇️ 74,73%	➡️ 78,55%	⬇️ 72,74%	⬆️ 80%
Moyenne de TRG du mois	⬇️ 70,42%	➡️ 73,73%	⬇️ 68,25%	⬆️ 76%
MTBF (min)	⬇️ 328,63	⬇️ 302,46	⬇️ 333,46	⬆️ 720
Taux de défaillance $\lambda$ (panne/h)	⬇️ 0,18	⬇️ 0,19	⬇️ 0,17	⬆️ 0,08
MTTR (min)	⬇️ 83,39	⬇️ 74,88	⬇️ 81,14	⬆️ 60
Taux de productivité (planche/h)	⬇️ 131	⬇️ 127	⬇️ 108	⬆️ 150
Taux de rebut	⬇️ 0,60%	⬇️ 0,63%	⬇️ 0,61%	⬆️ 0,50%

Tableau 22 : Récapitulatif des indicateurs de performances des mois Février, Mars et Avril 2021 avec la cible

D'après le tableau 22, on est encore loin de cible, cela donne une idée claire sur le gaspillage dont souffre la ligne de production ALPHA, il est donc nécessaire de chercher à réduire ou éliminer ces gaspillages pour améliorer la productivité et l'efficience.

### 3.2 Analyse de processus

#### 3.2.1 Interprétation des données de VSM

Après l'élaboration de le VSM, on a constaté que le poste qui nécessite la priorité dans la recherche des causes de gaspillage de temps et matière est l'enchainement de la presse ALPHA, l'ascenseur, le chariot transbordeur et le descenseur. On note que le temps de cycle de la machine vibro-presse ALPHA se calcule automatiquement et au cas de retard dans la ligne, la presse s'arrête de compactage jusqu'au la résolution de problème d'arrêt (attente, panne ...) afin de ne pas bloquer le processus en créant des surcharge sur le poste aval (par exemple, on propose que l'arrêt était au niveau du chariot transbordeur alors que la presse continue son fonctionnement et les planches seront empilées dans l'ascenseur jusqu'à l'atteinte de son niveau maximal '10 étages', alors que la presse ne peut pas produire plus de planches jusqu'au déchargeement de l'ascenseur par le chariot transbordeur qui est en arrêt et alors un blocage et création des retards et étranglements), tout ce temps s'accumule sur le cycle de la planche suivante et alors avoir un temps de cycle plus supérieur qu'au normal. À la fin de poste, le temps de cycle réel se calcule par la moyenne de tous les temps de cycles de chaque planche et s'affiche dans le rapport de la production tiré de la base des données liée à l'automate de système.

### 3.2.2 Analyse des causes

Pour énumérer les différentes causes influant le niveau de la productivité de la ligne ALPHA, une analyse à l'aide des outils Ishikawa et 5P a été réalisée. Grâce à l'aide des données de mesure et des observations, on a déterminé un nombre de causes susceptibles d'être responsables de la baisse de performance, efficience et la productivité du processus. Cependant, afin de compléter notre liste de causes, on a fait un brainstorming avec l'équipe du projet pour déterminer les autres causes qui pourraient créer cet effet.

#### 3.2.2.1 Diagramme d'Ishikawa

##### 3.2.2.1.1 Définition

Le diagramme d'Ishikawa, également appelé diagramme de cause à effet ou diagramme en arête de poisson, est un outil de résolution de problèmes. Conçu par Kaoru Ishikawa, ce diagramme prend la forme d'un arbre à plusieurs branches (ou arête de poisson). L'effet, le problème auquel l'entreprise est confrontée, se trouve au sommet et les causes sont modélisées par des branches. Ces causes, les "5 M", représentent chacune une composante de l'unité. Les 5M sont fréquemment utilisés pour cette tâche :

- Main d'œuvre : les collaborateurs, leurs compétences...
- Matières : les matières concernées, la qualité...
- Matériels : Les moyens de production, les équipements...
- Méthodes : les techniques, les procédures, modes opératoires...
- Milieu : l'environnement de travail, la concurrence... [18]

##### 3.2.2.1.2 Application

La figure 30 présente le diagramme Ishikawa réalisé avec les différentes causes définies préalablement :

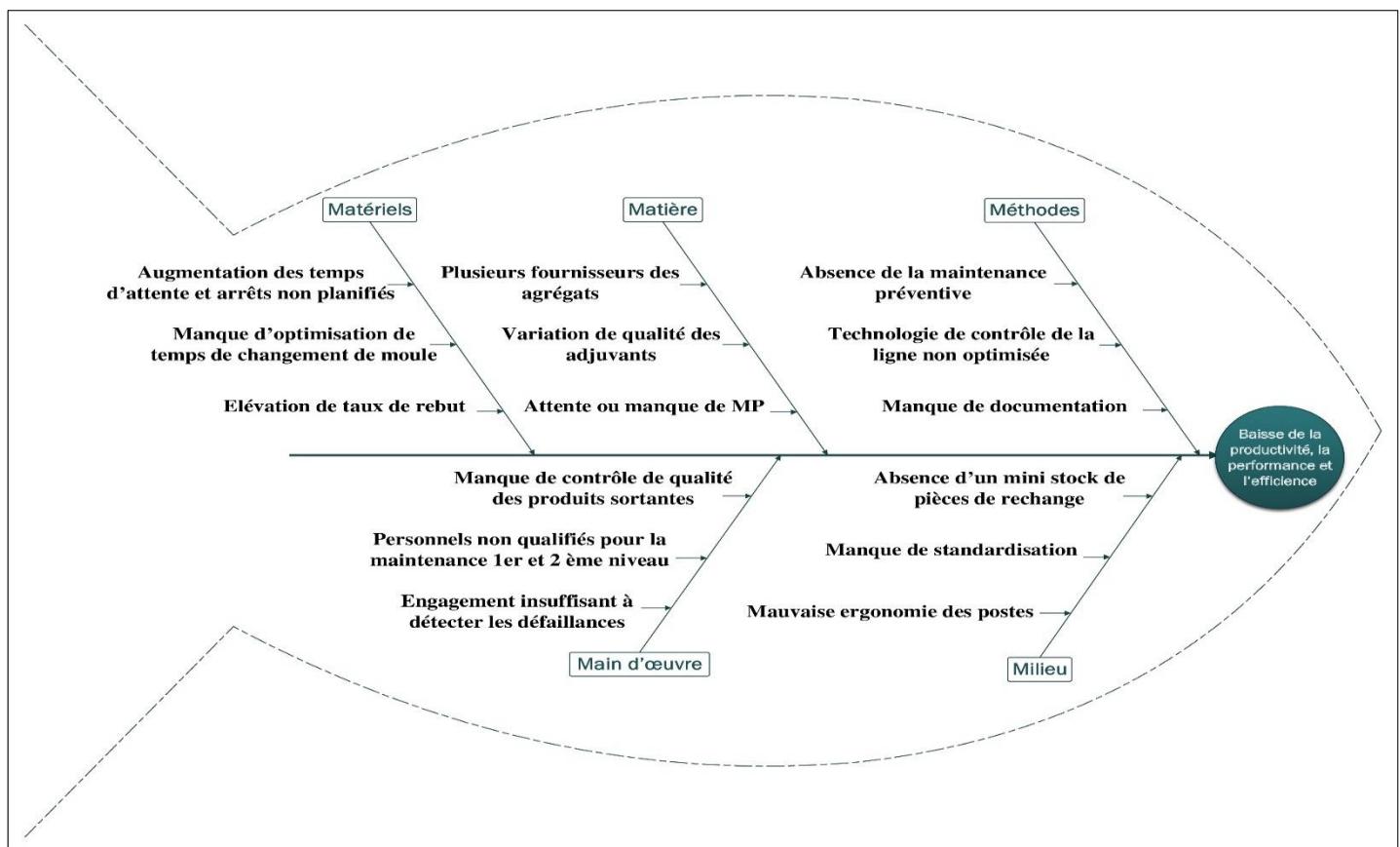


Figure 30 : Diagramme d'Ishikawa.

Le brainstorming a permis d'identifier et de classer selon les 5 M d'Ishikawa l'ensemble des causes qui seront prises en considération lors de la proposition des solutions.

### 3.2.2.2 Matrice des votes pondérés

#### 3.2.2.2.1 Définition

Le vote pondéré est un très bon outil pour prendre des décisions lorsque le groupe n'adhère pas entièrement à une idée. Par exemple, le choix du problème, le choix de la cause [18]. Le calcul de la fréquence de chaque cause est fait sur la base des critères suivants :

Indice	Gravité
3	Forte
2	Moyenne
1	Faible

Tableau 23 : Pondération de la gravité des causes.

#### 3.2.2.2.2 Application

Afin de déterminer les causes qui ont plus d'impact sur la performance de la qualité afin de proposer des actions d'amélioration respectant ainsi un ordre de priorité, on a réalisé la matrice des votes pondérés avec l'équipe de projet. Pour le choix des causes qui seront prises en considération dans la suite de notre analyse sont les causes qui ont un total qui égale ou dépasse dix.

	Chef d'usine	Responsable d'unité ALPHA	Opérateur 1	Opérateur 2	Responsable maintenance	Total
Augmentation des temps d'attente et arrêts	3	3	3	3	3	15
Manque d'optimisation de temps de changement de moule	2	2	2	3	2	11
Elévation de taux de rebut	2	1	1	1	2	7
Plusieurs fournisseurs des agrégats	2	3	2	1	1	9
Variation de qualité des adjuvants	2	2	1	1	1	7
Attente ou manque de MP	1	1	1	1	2	6
Absence de la maintenance préventive	3	3	2	2	2	12
Technologie de contrôle de la ligne non optimisée	1	2	2	1	1	7
Manque de documentation et traçabilité	3	3	1	2	2	11
Manque de contrôle de qualité des produits sortantes	3	2	2	1	2	10
Personnels non qualifiés pour la maintenance 1er et 2ème niveau	2	2	1	1	3	9
Engagement insuffisant à détecter les défaillances	1	1	1	1	1	5
Absence d'un mini stock de pièces de rechange	3	3	3	2	2	13
Manque de standardisation	1	1	1	1	2	6
Mauvaise ergonomie des postes	1	1	1	1	2	6

Tableau 24 : Matrice des votes pondérés.

D'après la matrice des votes pondérés, on distingue 6 causes majeures qui sont responsables de la baisse de productivité, la performance et l'efficience dans l'unité ALPHA :

- Augmentation des temps d'attente et arrêts
- Technologie de contrôle de la ligne non optimisée
- Absence d'un mini stock de pièces de rechange

- Manque d'optimisation de temps de changement de moule
- Manque de documentation
- Manque de contrôle de qualité des produits sortantes

On remarque que la cause « Augmentation des temps d'attente et arrêts » a eu toute la marque 15/15 avec l'unanimité de tous les membres d'équipe de projet, ce qui nous suggère d'analyser dans ce sens et rechercher les causes racines afin de les attaquer en priorité.

### 3.2.3 Analyses des temps d'arrêts dans l'unité ALPHA

#### 3.2.3.1 Recherche des causes majeures

Après la collecte des données des temps d'arrêts et d'attentes des 3 premiers mois dans notre projet à l'aide de « Fiche de relevé des temps d'arrêts » (**Annexe 1**) et « les rapports d'interventions » (**Annexe 5**), on les présente dans le tableau 25.

Les arrêts	Temps d'arrêt (min)	Fréquence (fois/3 mois)	% cumulé des temps d'arrêt
Changement de moule	11042	182	26,24%
Panne de chariot transbordeur	5122	50	38,41%
Nettoyage de fin de poste	5040	89	50,39%
Panne de la chargeuse	4366	6	60,76%
Coupure d'électricité	2040	3	65,61%
Essais des produits	1592	9	69,39%
Charge de trémie et attente de MP	1366	12	72,64%
Panne de la table vibrante	1039	9	75,11%
Panne de descenseur	947	9	77,36%
Manque de palette	720	1	79,07%
Vidange de fosse	622	12	80,55%
Panne de convoyeur	561	14	81,88%
Panne de pompe d'eau	461	5	82,97%
Nettoyage circuit de bicouche	405	8	83,94%
Panne de tiroir	391	8	84,87%
Panne d'ascenseur	379	9	85,77%
Changement des mâchoires de pince	378	36	86,66%
Blocage de planche sous presse	371	8	87,55%
Soudage de table vibrante	358	8	88,40%
Panne de casque de trémie	351	8	89,23%
Réglage de frappeur de table vibrante	349	6	90,06%
Changement et réglage d'agitateur	334	6	90,85%
Changement de brosse de pilon	329	9	91,64%
Panne de pilon	316	2	92,39%
Changement du tapis d'alimentation en béton	282	4	93,06%
Panne de malaxeur	272	9	93,70%
Panne de pince	256	9	94,31%
Changement des courroies de convoyeur	230	7	94,86%
Panne de vérin de moule	191	6	95,31%
Panne de skip	190	2	95,76%
Changement du moteur d'ascenseur	180	2	96,19%
Disfonctionnement de détecteurs / Fin de course.	178	6	96,61%
Panne de transporteur des palette	153	2	96,98%
Panne de nettoyeur de pilon	146	4	97,32%
Panne de variateur de vitesse	135	2	97,65%
Changement du flexible d'agitateur	132	3	97,96%

Panne de distributeur de presse	125	4	98,26%
Coincement vis de silo du ciment	121	4	98,54%
Blocage de pilon dans le moule	114	3	98,81%
Nettoyage de malaxeur	111	2	99,08%
Nettoyage sous skip	109	2	99,34%
Nettoyage de tiroir	104	1	99,58%
Soudage de vérin de tiroir	60	1	99,73%
Panne d'injecteur de planche	35	1	99,81%
Panne de magasin des palettes	32	1	99,89%
Changement des roulements de vérin d'agitateur	27	1	99,95%
Changement des flexible de moule	21	1	100,00%
Total	42083		

Tableau 25 : Les temps d'arrêts de l'unité ALPHA dans les mois Février, Mars et Avril 2021.

On va traiter ces temps d'arrêt par suivre la philosophie de PARETO qui se base sur la hiérarchisation des causes afin de déterminer les causes majeures (20%), les traiter pour avoir le maximum des bénéfices (80%) pour gagner du temps.

La figure 31 illustre le diagramme PARETO des temps des arrêts dans la période Février, Mars et Avril 2021.

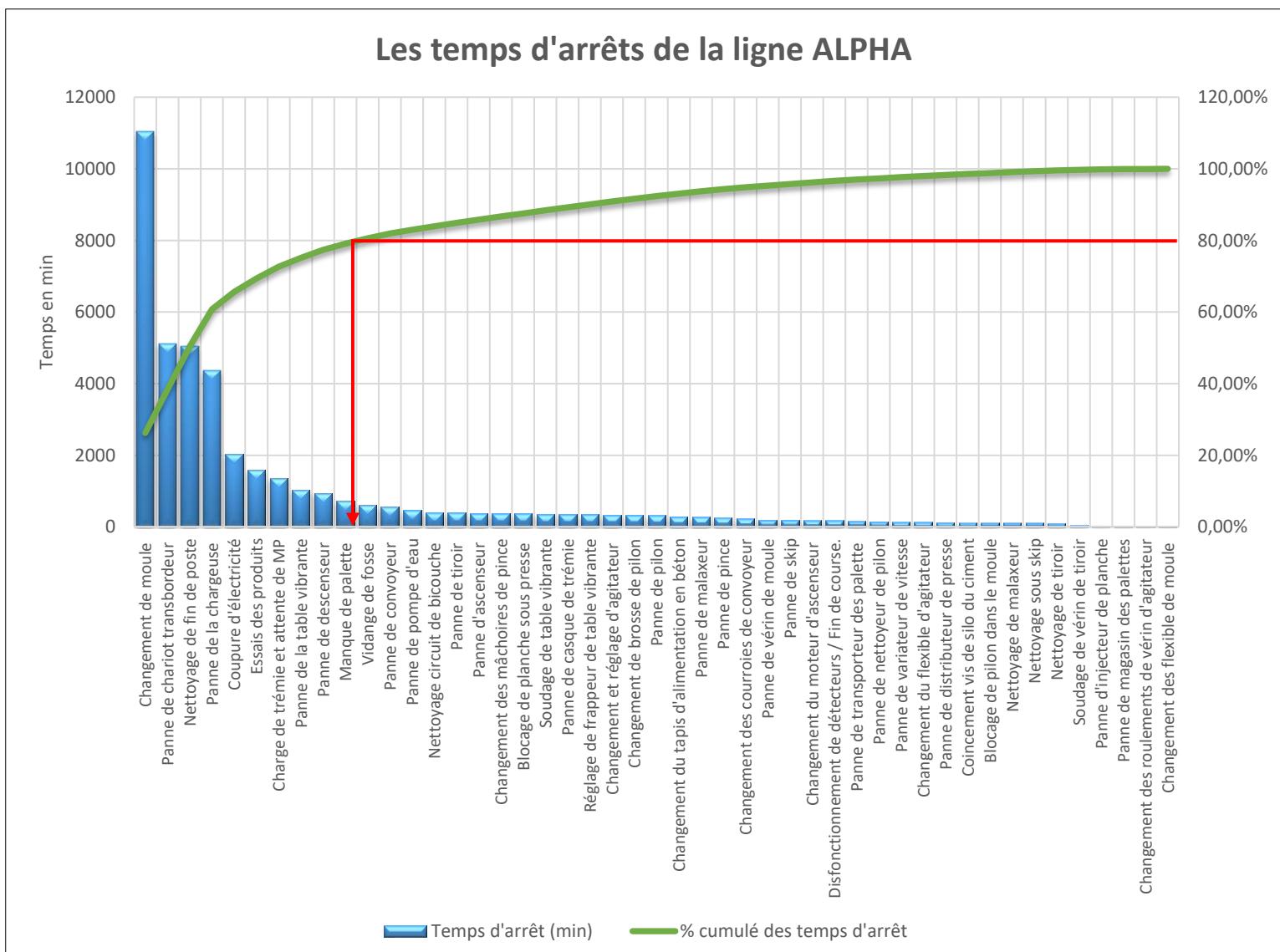


Figure 31 : Pareto des temps d'arrêt de la ligne ALPHA.

D'après ce Pareto on remarque que le changement de moule, nettoyage fin de poste, panne de chariot transbordeur, de la chargeuse, de descenseur et la table vibrante ainsi que manque de palette représentent les causes majeures des pertes du temps sur lesquelles on peut intervenir au niveau d'amélioration pour avoir un gain de temps de production et alors l'amélioration de la productivité et la performance de la ligne.

### 3.2.3.2 Analyse des causes majeures

En analysant la classe A correspond au 80% des temps d'arrêt, on peut avoir des idées préalables des actions à mettre afin de réduire ces temps et maximiser la disponibilité et la performance de la ligne ALPHA. Pour mieux analyser il faut atteindre la racine de chaque cause à l'aide de la méthode 5P.

#### 3.2.3.2.1 5 Pourquoi des causes majeures

##### 3.2.3.2.1.1 Définition

La méthode 5 Pourquoi est une méthode qui permet l'identification des causes racines d'un problème. Elle a été employée afin de remonter aux causes racines des problèmes soulevés dans la section précédente pour pouvoir proposer des solutions d'amélioration qui traitent les causes racines et non pas les symptômes des problèmes d'une manière superficielle [18].

##### 3.2.3.2.1.2 Application

Le diagramme présenté dans la figure 32 permet de recenser et de comprendre les causes de ces problèmes.

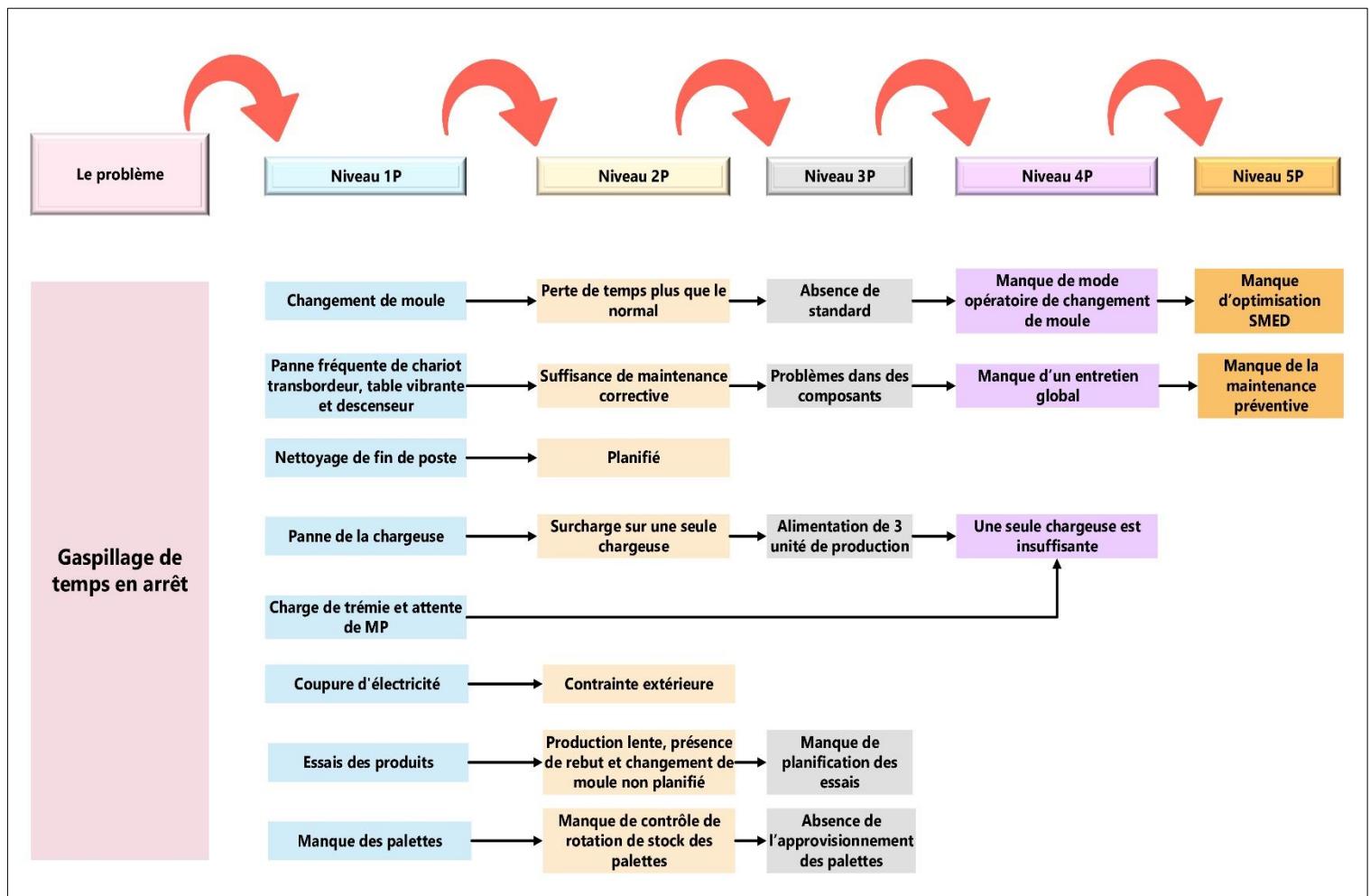


Figure 32 : La méthode 5P de gaspillage de temps en arrêts.

Le diagramme 5P a permis de déceler les causes racines de chaque arrêt majeur, ce qui va nous aider à attaquer chaque problème de sa racine par une action efficace.

En restant toujours sur la classe A des temps d'arrêt, on remarque que la panne la plus fréquentée et qui occupe plus de temps est celle de chariot transbordeur, qui nécessite alors une analyse profonde pour atteindre les racines de cause de ce problème et enrichir les résultats de la méthode 5P.

Dans ce sens, on a décidé de traiter cet ensemble « Chariot transbordeur » séparément tant que réduire ses pannes et ses arrêts signifie un gain important au niveau de temps pour plus produire. La méthode AMDEC est le meilleur outil pour identifier et de traiter les causes potentielles de défauts et de défaillance de l'équipement ainsi que vérifier sa fiabilité. Alors on va l'appliquer sur le chariot transbordeur pour analyser ses défaillances et préciser ses composants critiques.

### **3.2.3.2.2 AMDEC moyen pour le chariot transbordeur**

#### **3.2.3.2.2.1 Définition**

L'AMDEC Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur Criticité est une méthode sert à identifier les causes et les effets de l'échec potentiel d'un procédé ou d'un moyen de production et identifier les actions pouvant éliminer (ou du moins réduire) l'échec potentiel.

Il existe 3 types d'AMDEC. En effet, la méthode AMDEC peut être mise en œuvre au niveau du produit, du processus ou des moyens.

- AMDEC Produit, est mise en œuvre pour vérifier la conformité d'un produit développé par rapport aux exigences client,
- AMDEC Processus, est mise en place pour valider la fiabilité du processus de fabrication,
- AMDEC Moyen, ou AMDEC Machine. Elle concerne l'analyse des défaillances liées aux machines. Il est déployée pour vérifier la fiabilité d'un équipement. [25]

Dans notre cas, on va appliquer l'AMDEC Moyen sur le chariot transbordeur.

La grille AMDEC typique comprend les colonnes :

Sous-ensembles	Fonction	Défaillance	Cause du défaut	Effet critique du défaut	Eléments de Détection	G	F	D	Criticité	Actions correctives
----------------	----------	-------------	-----------------	--------------------------	-----------------------	---	---	---	-----------	---------------------

Tableau 26 : Grille AMDEC.

L'évaluation de la criticité de chaque combinaison cause, mode, effet se fait par des critères de cotation :

- La fréquence d'apparition de la défaillance.
- La gravité de la défaillance.
- La probabilité de non-détection de la défaillance.

La valeur de la criticité est calculée par le produit des niveaux atteint par les critères de cotation.

$$\text{Criticité} = \text{Gravité G} \times \text{Fréquence F} \times \text{Détection D}$$

Pour préciser la gravité, la fréquence et la détection, l'échelle de notes est libre et déterminée par le groupe de travail. Il est bien souvent plus pragmatique de choisir une notation de 1 à 5, que de 1 à 10.

Pour la gravité, l'échelle est comme suit :

<b>Gravité</b>	5	Panne supérieure à 1 jour
	4	Panne supérieure à 1 quart
	3	Panne supérieure à 1 heure
	2	Panne supérieure à 5 min
	1	Panne inférieure à 5 min

Tableau 27 : Cotation de gravité AMDEC.

Pour la fréquence, l'échelle est comme suit :

<b>Fréquence</b>	5	Au moins une fois par quart
	4	Au moins une fois par jour
	3	Au moins une fois par semaine
	2	Au moins une fois par mois
	1	Au moins d'une fois par mois

Tableau 28 : Cotation de fréquence AMDEC

Pour la détection, l'échelle est comme suit :

<b>Détection</b>	5	Défaut indétectable
	4	Défaut détectable à l'autocontrôle
	3	Défaut détectable en visuel
	2	Défaut signalé par la machine sans arrêt
	1	Défaut signalé par la machine avec arrêt

Tableau 29 : Cotation de détection AMDEC

La finalité de l'analyse AMDEC, après la mise en évidence des défaillances critiques, est de définir des actions de nature à traiter le problème identifié. Les actions sont de 3 types :

- Actions préventives : on agit pour prévenir la défaillance avant qu'elle ne se produise, pour l'empêcher de se produire. Ces actions sont planifiées. La période d'application d'une action résulte de l'évaluation de la fréquence.
- Actions correctives : lorsque le problème n'est pas considéré comme critique, on agit au moment où il se présente. L'action doit alors être la plus courte possible pour une remise aux normes rapide.
- Actions amélioratives : il s'agit en général de modifications de procédé ou de modifications technologiques du moyen de production destinées à faire disparaître totalement le problème. Le coût de ce type d'action n'est pas négligeable et on le traite comme un investissement.

### 3.2.3.2.2.2 Application

On va appliquer l'AMDEC moyen sur le chariot transbordeur pour analyser ses défaillances et préciser ses composants critiques afin de proposer des actions correctives à faire le plus proche possible puis des actions préventives et amélioratives à long terme.



Figure 33 : Le chariot transbordeur.

Pour formuler la grille des anomalies possibles et les critères de cotation de la criticité, notre démarche pour la collection des informations a été basée sur les observations, les données des « Fiches de relevé des temps d’arrêts » (**Annexe 1**), les rapports d’interventions (**Annexe 5**), les affirmations du responsable de l’unité ALPHA et le chef d’usine. Ces informations nous ont permis à construire le tableau AMDEC. Ce même tableau, nous a fourni des données afin de proposer des actions correctives à mener pour chaque mode de défaillance.

Pour bien comprendre la grille AMDEC et vous donner une idée sur les grands ensembles du chariot, la figure 34 les indique en image :

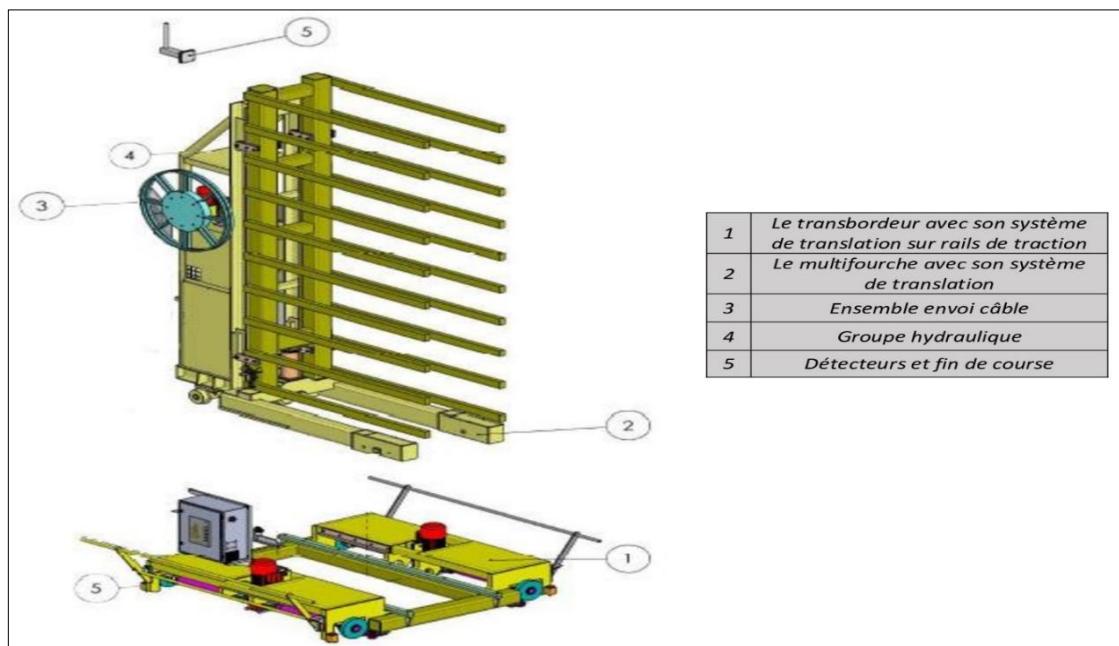


Figure 34 : Les ensembles composants du chariot transbordeur multifourche

La grille présentée dans le tableau 30 présente les modes de défaillance des éléments constituant le chariot transbordeur multifourche, leurs effets, et leur criticité.

### Chapitre III : Traitement du projet

ANALYSE DES MODES DE DÉFAILLANCE DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITÉ								AMDEC MACHINE			
Système : Chariot transbordeur et multifourche								Date d'analyse : 13/04/2021			
Ensemble	Sous-ensembles	Fonction	Défaillance (description du défaut)	Cause du défaut	Effet critique du défaut	Éléments de Détection	G	F	D	Criticité	Actions correctives
Ensemble renvoi câble	Cable Multifourche	Assurer la course de multifourche	Dégénération de câble	Surchauffe et surcharge	Arrêt de fonction de multifourche	Indicateur LED	4	2	2	16	MPA : contrôle PR : câble
	Malle tireur	Absorber les chocs de tension de câble	Dégénération	Frottement avec le câble	Détérioration de câble	Visuel	1	1	3	3	MPS : contrôle PR : Malle tireur + ressort
	Moteur	Garantir la rotation de l'enrouleur de câble	Pas de rotation	Pas d'alimentation ou Absence de commande	Arrêt de rotation de câble	Indicateur LED	5	1	1	5	MPS : contrôle PR : moteur
Ensemble déplacement	Galets de guidage	Dresser la translation de chariot sur les rails de traction	Dégénération des galets	Frottement avec les rails	Déraillement du transbordeur	Visuel	4	3	3	36	MPT : contrôle PR : galets, roulements, bagues D : Graissage chaque fin de semaine / Système d'évacuation
			Corrosion	Humidité à cause de condensation des gouttelettes d'eau	Détérioration des galets	Visuel	3	2	3	18	
	Roues de traction	Assurer la translation transversale de chariot sur les rails de traction	Déraillement des roues	Dégénération des galets de guidage	Déraillement du transbordeur	Visuel	5	1	3	15	MPS : contrôle PR : Roues, paliers, roulements, bagues D : Graissage chaque fin de semaine / Système d'évacuation
			Corrosion	Humidité à cause de condensation des gouttelettes d'eau	détérioration des roues	Visuel	3	2	3	18	
	Roues libres lisses Roues libres avec essui	Assurer la translation de chariot sur les rails de multifourche	Dégénération des roues	Dégénération de rail du multifourche	Déraillement du multifourche	Visuel	5	2	3	30	MPT : contrôle PR : Roues, paliers, roulements, bagues, fer plat D : Graissage chaque fin de semaine / Système d'évacuation
			Corrosion	Humidité à cause de condensation des gouttelettes d'eau	Détérioration des roues	Visuel	3	2	3	18	
	Motoréducteur transbordeur	Garantir le mouvement des roues sur les rails de traction	Pas de rotation	Pas d'alimentation ou Absence de commande	Arrêt du chariot	Indicateur LED	5	1	1	5	MPS : contrôle PR : motoréducteur
	Motoréducteur Multifourche	Garantir le mouvement des roues sur les rails de multifourche	Pas de rotation	Pas d'alimentation ou Absence de commande	Arrêt du chariot	Indicateur LED	5	1	1	5	MPS : contrôle PR : motoréducteur
Ensemble hydraulique	Rails multifourche	Guide et support de châssis de chariot	Corrosion	Humidité à cause de condensation des gouttelettes d'eau	Fissuration de terre et dégradation des roues	Visuel	3	1	3	9	MPA : contrôle D : Système d'évacuation
	Axe de traction	Liaison entre les roues de traction	Blocage d'axe	dégradation des paliers	Arrêt des roues de traction	Indicateur LED	4	1	1	4	MPS : contrôle PR : Roues, paliers, roulements, fer plat D : Graissage chaque fin de semaine / Système d'évacuation
	Vérin	Garantir le levage des fourches	Fuite hydraulique	Usure de tige ou joints	Détérioration du vérin	Visuel	4	1	3	12	MPT : contrôle PR : vérin
	Pompe	Débiter le lubrifiant sous pression	Pas de débit	Rupture interne / blocage	Détérioration moteur / Arrêt de fonction de levage des fourches	difficile à détecter	4	1	5	20	PR : joints, pompe, accouplement
DéTECTEURS	Moteur	Entraîner la pompe	Pas de rotation	Pas d'alimentation ou Absence de commande	Arrêt de fonction de levage des fourches	Indicateur LED	5	1	2	10	MPS : contrôle PR : moteur
	Laser	Sécuriser le circuit de déplacement de chariot et sa position	Pas de détection	Présence de brouillard à cause d'humidité et poussière	Arrêt du chariot dans des positions anormales	Visuel	3	4	3	36	MPS : contrôle PR : détecteurs D : Système d'évacuation
	Capteurs de proximité	Pour limiter le positionnement du chariot				Indicateur LED	2	3	1	6	
	Fin de course	Arrêter la translation automatique mu par le moteur		Dysfonctionnement des capteurs ou présence d'un obstacle		Indicateur LED	2	2	1	4	

#### Légende

D : divers MPT : maintenance préventive trimestrielle MPS : maintenance préventive semestrielle MPA : maintenance préventive annuelle PR : pièce de rechange

Tableau 30 : Grille AMDEC du chariot transbordeur multifourche.

D'après l'analyse AMDEC, on a déterminé les éléments critiques constituants le chariot transbordeur qui nécessitent la priorité de l'intervention. Ces éléments sont les galets de guidage, le laser et les roues libres d'où viennent les causes principales des pannes du chariot transbordeur. La grille AMDEC du chariot nous aide aussi par la proposition des actions amélioratives et préventives qu'on va détailler dans le chapitre suivant.

A la lumière de cette analyse, et à l'aide des différents outils utilisés pour détecter les causes (les cinq pourquoi, diagramme d'Ishikawa et AMDEC machine), on a identifié les causes racines qui rendent la ligne ALPHA incapable de satisfaire les niveaux de productivité et performance recommandées.



# Chapitre IV

---

## Action d'amélioration et proposition des solution optimales

---

Dans ce chapitre on va entamer la phase « INNOVER » qui vient juste après l'analyse qui sert principalement à mettre en place des solutions et des pistes d'amélioration qu'on a jugées adéquates pour atteindre les résultats désirés et valoriser notre analyse. Par la suite, on va élaborer la phase « CONTROLER » après la mise en place des chantiers d'amélioration pour les rendre durables, ce qui nécessite une attention particulière afin d'éviter que les performances obtenues ne s'émoussent lentement avec le temps.

## Chapitre IV : Action d'amélioration et proposition des solution optimales

### 1 PHASE 4 : INNOVER

On commence par déterminer les actions amélioratives proposées pour atteindre nos objectifs fixés dans le début de notre projet :

#### 1.1 Plan d'action

##### 1.1.1 Les axes principaux du plan d'action

Tout d'abord, D'après l'analyse des données et des causes, on a posé notre plan d'action après un brainstorming entre l'équipe de projet approuvé par le directeur industriel pour chaque problème qui nous empêche d'atteindre la productivité et performance recommandées à l'aide des résultats de la phase analyser, le tableau 31 présente ces actions.

Le problème	Actions	Début	Intervenant	Résultats attendus
Augmentation des temps d'attente et arrêts	TPM	Immédiatement	Responsable d'unité ALPHA / Chef d'usine / Responsable de maintenance	Améliorer le TRS, MTBF et la productivité et diminuer MTTR et les temps d'attente et d'arrêts par rapport au valeurs initiales
Absence d'un mini stock de pièces de rechange	Chantier 5S	A partir de Mai 2021	Chef d'usine / Responsable de maintenance	Rapprocher les pièces et les outils de l'unité et éliminer les mouvements inutiles
Manque d'optimisation de temps de changement de moule	Chantier SMED et 5S	A partir de Mai 2021	Responsable d'unité ALPHA / Chef d'usine	Diminuer le temps de changement à plus de 40%
Manque de documentation	Création de la documentation	Depuis début de projet	Responsable méthode	Constituer une base de données et de traçabilité de l'unité
Manque de contrôle de qualité des produits sortantes	TPM	A partir de Mai 2021	Responsable d'unité ALPHA / Chef d'usine / Responsable de maintenance	Réduire les erreurs de rebuts et le taux de rebut et non-conformité

Tableau 31 : Plan d'action d'amélioration.

##### 1.1.2 La priorité de la mise en place des actions

La priorité est déterminée selon les gains apportés par chaque solution et la difficulté de la mise en place. Pour résumer et ordonner ces actions, on a mis en place une matrice gain-effort qui permet de classer les actions selon leurs gains potentiels et leurs efforts de mise en place.

Les actions simples à mettre en place avec des gains intéressants sont classées comme des Quick-Win, cela signifie qu'elles seront mises en place aussi rapidement que possible. En

revanche, les projets d'amélioration nécessitent un grand effort pour leur mise en place mais leurs gains sont très importants.

Le tableau 32 représente la matrice gains-efforts de notre plan d'action.

- (1) TPM
- (2) SMED
- (3) 5S
- (4) Documentation

		Rapidité de la portée d'action		
		Court terme (1 à 3 mois)	Moyen terme (3 à 6 mois)	Long terme (6 à 12 mois)
Gain	Fort	Actions simples à fort enjeu <b>(2)</b> <b>(3)</b>		Actions intermédiaires <b>(1)</b>
	Moyen		<b>(4)</b>	
	Faible	Actions à gain rapide		Actions complexes à enjeu faible

Tableau 32 : Matrice Gains-Efforts

## 1.2 Mise en place des actions

### 1.2.1 La TPM

Dans notre projet, on va appliquer la base de la TPM les 5S principalement dans l'unité, près de la presse ALPHA, le mini stock et surtout dans la zone des moules, on va voir plus de détails dans l'axe « Lancement de chantier 5S »

Dans cet axe, on va déployer les piliers qu'on a commencé à élaborer parmi les 8 piliers de la TPM :

#### 1.2.1.1 Amélioration au cas par cas et Maintenance autonome

Sous ces deux piliers, on va attaquer les problèmes liés au gaspillage de temps et disponibilité de la ligne de production à cause des pannes majeures et fréquentes sachant que la plupart des interventions dans l'unité ALPHA sont effectuées par l'équipe ALPHA à l'encadrement de Chef d'usine et le responsable de maintenance, on note aussi que les opérateurs ainsi que le responsable d'unité ALPHA identifient les problèmes liés aux pannes d'équipement et collaborent pour trouver l'origine première des problèmes et proposer des solutions.

##### 1.2.1.1.1 Les actions correctives des pannes majeures

Ces actions sont les Quicks Win amélioratrices, simples et rapides au niveau de leur mise en place et elles impactent positivement le déroulement du processus :

### 1.2.1.1.1.1 Les pannes du chariot transbordeur

D'après l'analyse AMDEC appliquée sur le chariot transbordeur et par affirmation des observations de l'opérateur et l'historique des temps d'arrêts, on a constaté que les galets de guidage, le laser et les roues libres sont les causes racines des pannes fréquentes du chariot et alors nécessitent la priorité des interventions correctives et amélioratives

Ensemble	Sous-ensembles	Actions correctives	Actions préventives	
Ensemble déplacement	Galets de guidage	✓ Changement des galets dégradés avec d'autres de longue durée de vie	Fait	A FAIRE
	Roues libres lisses Roues libres avec essui	✓ Changement des paliers des arbres des roues ✓ Changement des roues libres avec essui après la dégradation de ses talons ✓ Changement de fer plat des rails de multifourche		
Détecteurs	Laser	✓ Réglage et diagnostic de détection de laser avec le tableau de détection ✓ Disparition de ce problème après le réglage de problème des galets et roues qui provoque le déraillement du chariot d'où vient le problème de détection	✓ Changement des galets chaque 20j ✓ Graissage chaque fin de semaine ✓ Alimenter le mini stock par des galets et des roulement  ✓ Changement des fer plat chaque mois ✓ Graissage chaque fin de semaine ✓ Alimenter le mini stock par des paliers, fer plat et roulement  ✓ Etude et proposition d'un système d'évacuation pour attaquer le problème de brouillard et poussière au sein de l'unité (plus de détails dans le chapitre de perspectives d'amélioration) ✓ Alimenter le mini stock par l'ensemble laser	

Tableau 33 : Les actions correctives et préventives sur le chariot transbordeur.

On note que parfois le manque de pièce de rechange dans le magasin provoque un allongement de temps d'arrêts et d'attente sans considérer le temps de panne et de réparation (le pire est que parfois le temps d'intervention pour la réparation est court à celle d'attente de pièce de rechange). C'est pourquoi l'équipe de projet lance une étude et recherche des éléments des pièces critiques et les plus consommables en se basant sur la partie des pièces consommable dans les rapports d'intervention pour alimenter le magasin d'usine et éviter le gaspillage de temps en attente et savoir l'unité qui consomme plus de pièce (avoir plus d'indicateurs qui nous aident à la décision).

### 1.2.1.1.1.2 Les pannes de la chargeuse, charge des trémies et attente de MP

Après les arrêts fréquents de la chargeuse, on a réclamé à chaque fois ce problème qui provoque des retards par la création des temps d'attente de la matière première (Sable, graviers) puisqu'une seule chargeuse est insuffisante sachant qu'elle alimente 3 unités de production et alors très probable de tomber en panne à cause de la surcharge et le déplacement entre les unités.

Engin	Actions correctives		Actions préventives	
Chargeuse	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Location d'une autre chargeuse</li> <li>✓ Réparation de démarreur</li> <li>✓ Changement de pompe</li> </ul>	Fait	<ul style="list-style-type: none"> <li>⌚ Achat recommandé d'une autre chargeuse</li> </ul>	A FAIRE

Tableau 34 : Les action correctives et préventives sur la chargeuse.

#### 1.2.1.1.3 Les pannes de descenseur

Pour le descenseur, le frein de moteur était la cause racine des pannes alors que, d'après le responsable d'unité ALPHA, n'était jamais changé ou contrôlé vu la difficulté de l'atteindre (se situé au-dessus du descenseur)

Ensemble	Sous-ensembles	Actions correctives		Actions préventives	
Descenseur	Frein de moteur	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Changement de frein</li> <li>✓ Commander un autre frein (réserve)</li> </ul>	Fait	<ul style="list-style-type: none"> <li>⌚ Contrôler en trimestre l'état du frein</li> </ul>	A FAIRE

Tableau 35 : Les action correctives et préventives sur le descenseur.

#### 1.2.1.1.4 Les pannes de système vibration (table vibrante)

Pour l'ensemble vibration, une journée d'entretien 01/04/2021 du était réservé pour la réparation et les réglages de tout l'ensemble pour la reprise de production en toute performance

Ensemble	Actions correctives		Actions préventives	
Ensemble vibration	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Changements des cardans</li> <li>✓ Remplacement des roulements</li> <li>✓ Changement des Cardans</li> <li>✓ Changements des axes pilons, silentblocs, galets d'injecteurs, freins planches et les bagues de casque.</li> <li>✓ Nettoyage et Réglage</li> </ul>	Fait	<ul style="list-style-type: none"> <li>⌚ Graissage chaque fin de semaine</li> <li>⌚ Contrôle préventif chaque fin de semaine</li> <li>⌚ Alimenter le mini stock par les pièces de rechange de l'ensemble vibration</li> </ul>	A FAIRE

Tableau 36 : Les action correctives et préventives sur l'ensemble vibration.

Pour chaque intervention ou entretien, on rédige un rapport d'intervention de maintenance qui résume tous les informations à propos de l'opération avec une partie qui concerne les informations de l'intervention (le système, demandeur, intervenant, date de demande et d'intervention, temps d'intervention et temps d'arrêt machine) et une partie qui résume les pièces fournies (désignation, fabricant et référence) et une partie qui décrit le problème, ses causes, le type de maintenance et les solutions. Par exemple, le rapport d'intervention de la panne de système vibration est dans **l'annexe 10**.

### 1.2.1.1.5 Manque de palette et essais des produits

Pour ces deux problèmes, Les actions proposés se représentent dans le tableau 37.

Problème	Description	Actions
Manque des palettes	Ce problème est rarement fréquenté (1 fois/3mois mais avec un arrêt de 12h) alors il faut éviter que ce problème se reproduire.	Mise en place d'une étude de rotation de palette et son approvisionnement.
Essais de produits	Essais non planifiés provoque une perturbation du déroulement normal de la production et un changement de moule non planifié et augmentation de temps de rebut et de cycle.	Planification des essais 2h avant la fin de poste et informer le service production 24h avant avec l'ordre de fabrication.

Tableau 37 : Les actions de manque de palette et les essais non planifiés.

On va contrôler les résultats de ces interventions dans la phase « CONTROLER » à partir du mois Juin 2021.

### 1.2.1.2 Maintenance planifiée et Maintenance préalable des équipements

#### 1.2.1.2.1 Le planning de maintenance préventive

La maintenance planifiée comprend des routines de maintenance préventive et prédictive basées sur la surveillance de l'état des équipements, l'historique de maintenance et les données des capteurs. La maintenance planifiée sert à anticiper les pannes majeures, de réduire les temps d'arrêt non planifiés et donc d'augmenter la capacité de production.

Dans ce sens, on a proposé d'élaborer un plan de maintenance préventive qui contient des opérations à contrôler, faire le jour même ou à faire dans l'entretien hebdomadaire. Ce plan sert à améliorer la fiabilité, la disponibilité et le rendement des équipements, diminuer les pannes et les coûts de maintenance, optimiser la gestion des pièces de rechange, assurer la sécurité du personnel et satisfaire le client.

Ce planning de maintenance préventive est sous forme d'une check-list hebdomadaire attachée au bloc note du responsable d'unité ALPHA à remplir pour déterminer les actions faites ou à faire le jour d'entretien avec une rédaction de rapport d'intervention. Les opérations sont proposées à la base d'historique des pannes et l'analyse des mesures des temps d'arrêts.

Le tableau 38 présente les opérations du planning préventif.

Unité : ALPHA	Mois :	Semaine :					N° :								
<b>Codes :</b>															
<b>B : Bien      F : Fait      AF : A Faire le jour d'entretien      R : Voir le Rapport d'intervention détaillé</b>															
Opération	Lun	Ma	Mer	Jeu	Ven	Sam	Dim								
Lubrifier en graisse les points nécessaires															
Contrôler l'état des trémies															
Contrôler l'état de la table vibrante															

Vérifier l'état de moule et sa fiche de vie								
Contrôler le fonctionnement des vérins								
Contrôler globalement les boulons de fixation								
Contrôler les fuites hydrauliques								
Contrôler l'état des mâchoires de pince								
Contrôler les courroies								
Contrôler l'état du tapis d'alimentation des gâchées								
Contrôler l'état des ventouses								
Vérifier le fonctionnement des capteurs et détecteurs et cellules photoélectrique								
Vérifier le fonctionnement de Laser de transbordeur								
Nettoyage / Lubrification des pignons et crémaillères								
Contrôler le niveau d'huile hydraulique								
Nettoyage capot ventilateur								
Contrôler l'état des tuyaux d'air et câbles électriques								
Contrôler l'état des galets et rails								
Contrôler des voyants et boutons								
Contrôler l'état des fins de course des skips								
Vérifier les fiches de commande des API et électrovannes								
Contrôler l'état des moteurs électriques								
Vérifier le verrouillage des armoires électriques								
Essai arrêt d'urgence								

Tableau 38 : Le planning de maintenance préventive d'unité ALPHA.

Le tableau 39 représente le plan de maintenance préventive annuel qui se remplit à la fin de chaque mois à l'aide du planning de maintenance hebdomadaire et cela est détaillé par composant.

		Planning annuel												Observations	
		Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre		
Composant	Sous composant														
Tiroir	Vérin														
	Fin de course														
Pilon	Vérin														

DéTECTEUR													
Table de vibration	Roulements												
	Moteur												
Pince	Roulements												
	Mâchoires												
	La chaîne												
Agitateur	Courroies												
	Chaîne												
Platte forme de chariot	Galets												
	DéTECTEUR												
	Palier												
	Moteur												
	L'arbre de galets												
Les fourches	Etat												
L'ascenseur	Chaîne												
Les planches	Etat												
Les étuves	Etat												
Système pneumatique	Perte d'air												
	Bouton d'urgence d'arrêt et démarrage												
	Manomètres de l'unité de fluidification												

LEGENDE :

Code	Type de contrôle	Code	Type de contrôle
N	Nettoyage	RE	Révision
G	Graissage	RG	Réglage
V	Vidange	R	Remplacement
P	Purge		

Tableau 39 : Le planning préventif annuel.

Et pour organiser l'entretien de l'unité, un programme d'entretien est proposé comme suit :

Unité : ALPHA		Fréquence			Quand	Qui
Composant	Opérations	/ Jour	/ Semaine	/ Mois		
Presse	Nettoyage du hall presse	X			Chaque fin de poste	Equipe de production
	Nettoyage des bascules des tapis peseurs	X			Chaque fin de poste	Opérateur presse
	Nettoyage des armoires électriques	X			Chaque fin de poste	Opérateur presse
	Nettoyage et graissage de la machine	X			30 min avant le démarrage de la presse	Equipe de production
	Contrôle du niveau d'huile au niveau du distributeur	X			Chaque début de poste	Opérateur presse
	Contrôle du bruit (serrage des boulons)	X			En cours de fabrication	Equipe de production
	Contrôle d'échauffement des Moteurs		X		En cours de fabrication	Equipe de production
	Contrôle des rails de glissement		X		En cours de fabrication	Opérateur presse
	Contrôle de la tension des courroies		X		En cours de fabrication	Opérateur presse
	Vérification des cages des moteurs		X		Chaque début de poste	Opérateur presse
	Contrôle des flexibles		X		En cours de fabrication	Opérateur presse
	Contrôle des silent bloc			X	En arrêt d'entretien	Technicien maintenance
	Vidange			X	En arrêt d'entretien	Opérateur presse
Tiroir	Contrôle fonctionnement	X			En cours de fabrication	Opérateur presse
Pilon	Contrôle fonctionnement : Vérifier le niveau de compactage à chaque changement de moule	X			Chaque début de poste	Opérateur presse
Table de vibration	Contrôle fonctionnement : Contrôler l'aspect du produit en cours de fabrication (pas de fissure)	X			En cours de fabrication	Opérateur presse
Pince	Contrôle fonctionnement	X			En cours de fabrication	Ouvrier palettisation

	Contrôle des roulements et fer doux	X			En cours de fabrication	Ouvrier palettisation
<b>Agitateur</b>	Contrôle de la distribution du béton dans le moule	X			En cours de fabrication	Opérateur presse
<b>Transbordeur</b>	Contrôle de l'alignement de la plateforme dans les rails	X			En cours de fabrication	Opérateur presse
	Contrôle de l'alignement du chariot dans les étuves				En cours de fabrication	Opérateur presse
	Contrôle de la robustesse des fourches et de leurs alignement	X			Chaque début de poste	Opérateur presse
<b>Ascenseur</b>	Contrôle de la chaîne	X			En cours de fabrication	Opérateur presse
<b>Les planches</b>	Contrôler l'état des planches (isoler les planches cassées ou usées)	X			En cours de fabrication	Ouvrier palettisation
	Vérifier le fonctionnement de la brosse de nettoyage et le niveau de contact avec la planche	X			Chaque début de poste	Opérateur presse
	Huilage des planches (mélange 20% huile+80% eau)			X	En arrêt d'entretien	Ouvriers

Tableau 40 : Le programme d'entretien de l'unité ALPHA.

Les actions préventives incluent aussi l'état des moules, c'est pourquoi un suivi d'état de moule est effectué à l'aide de la fiche de vie de moule présentée par le tableau 41.

Identification et caractéristiques techniques du moule							
Type de moule		Dimensions nominales	Largeur :	L :			
Code de moule			Langueur :	L :			
Marque			Hauteur :	H :			
N° de série			Epaisseur de paroi :	E :			
Date d'achat		Tolérances selon la NM 10.1.009	Largeur		+ 3mm - 5mm		
Date de mise en service			Langueur				
Contact fournisseur			Hauteur				
Poids de produit fini après première utilisation de moule			Epaisseur de paroi	≥ 17mm			
Ces tolérances ne doivent pas s'appliquer aux dimensions des éléments fabriqués avec des faces non planes.							
Planning de suivi de l'état du moule							
Date	Contrôle dimensionnel				Actions effectuées		
	Largeur 1	Largeur 2	Longueur	Hauteur	Epaisseur	Type défaillance	Intervention
Il est recommandé d'effectuer le contrôle dimensionnel de chaque moule d'une manière régulière de minimum 1 fois par mois							

Tableau 41 : Fiche de vie de moule.

### 1.2.1.2.2 Proposition d'une solution GMAO

Le système de gestion de la maintenance assistée par ordinateur (GMAO) est un système de gestion de la maintenance assistée par ordinateur développé sous un système de gestion de base de données, qui permet de suivre et de programmer sous les aspects techniques, budgétaires et organisationnels, toutes les activités et les objectifs de la maintenance.

La GMAO est parmi les projets prochains dans notre plan d'action à moyen et long terme. Cela nécessite une base de données collectée par le bon remplissage des documents des planning de maintenance préventive et implique l'engagement de toute l'équipe et leur persévérance.

La GMAO va nous aider notamment à optimiser l'organisation et la planification des interventions, faciliter le suivi et la communication entre les différentes parties, et simplifier la documentation de maintenance (Rapports d'interventions dématérialisés, des photos et de pièces jointes, transmission des rapports ...).

Cette solution se compose de deux phases, la première étant la recherche d'une solution appropriée pour mettre en œuvre l'application (Le choix entre une solution prête à développer selon nos besoins ou création de notre propre application), et la seconde, la phase de conception et de développement.

- Phase de recherche : C'est la phase comprenant l'étude bibliographique, dans laquelle on doit appréhender les différents concepts et technologies à utiliser dans le projet, les architectures, etc. De même, on met en place les outils nécessaires à la réalisation du projet.
- Phase de conception et de développement : C'est une étape au cours de laquelle on spécifie les besoins fonctionnels et modélisons le système à réaliser afin de clarifier les tâches à accomplir dans la partie développement. Elle se termine par une de programmation et les tests.

Cette solution de GMAO touche principalement le service production (représenté par le chef d'unité), le service maintenance (représenté par le responsable de maintenance) et le magasin de pièces de rechange (représenté par le magasinier) et génère une gestion des équipements (inventaire, localisation), des demandes d'intervention (DI), des stocks (magasins, réapprovisionnements), du personnel et planning (activités, métiers, planning de charge, prévisionnel), des coûts et budget (main d'œuvre, stocks, achats), même une application Mobile (connectée ou en hors connexion pour gagner en productivité), et enfin des indicateurs de performance (tableau de bord des KPIs par des requêtes de base de données concernant des statistiques, des alertes, TRS, MTTR, MTBF, Pareto...)

Pour préparer la voie à ce projet dont le début est prévu le mois juillet 2021, on a exprimé nos besoins à l'aide du diagramme de cas d'utilisation présenté dans la figure 35 qui permet de recueillir, d'analyser et d'organiser les besoins, et de recenser les grandes fonctionnalités du système.

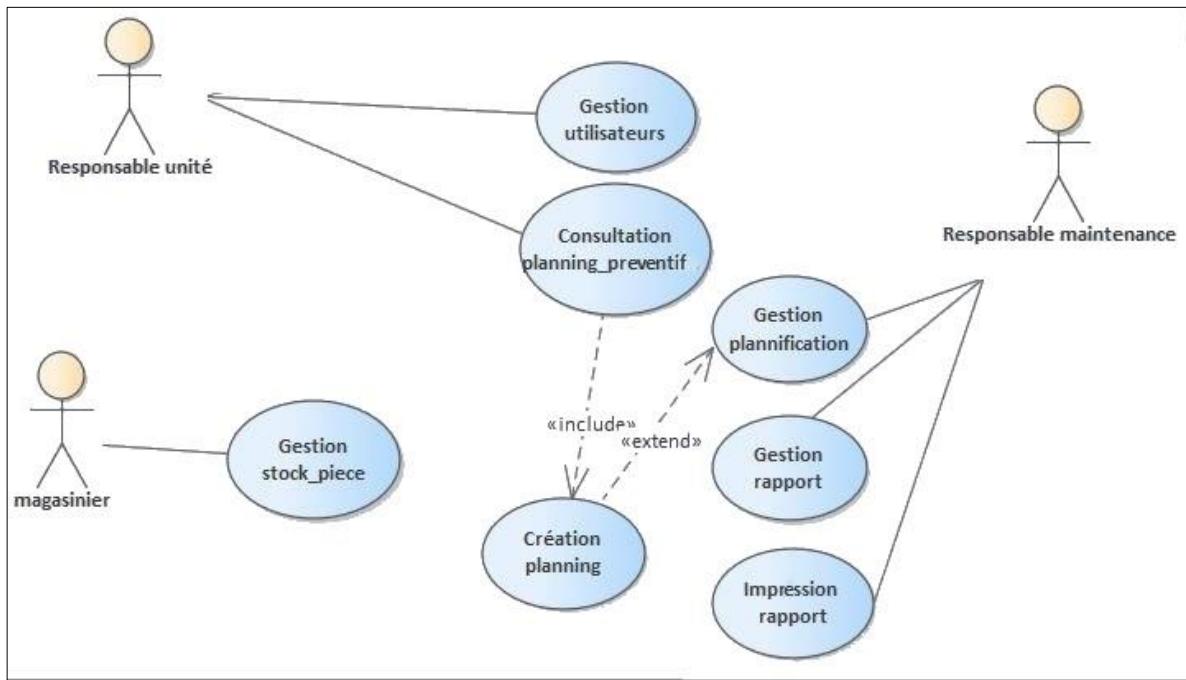


Figure 35 : Le diagramme de cas d'utilisation du système GMAO.

Et pour savoir les liens peuvent entretenir les objets du système et leurs relations, on a proposé le diagramme de classe présenté dans la figure 36.

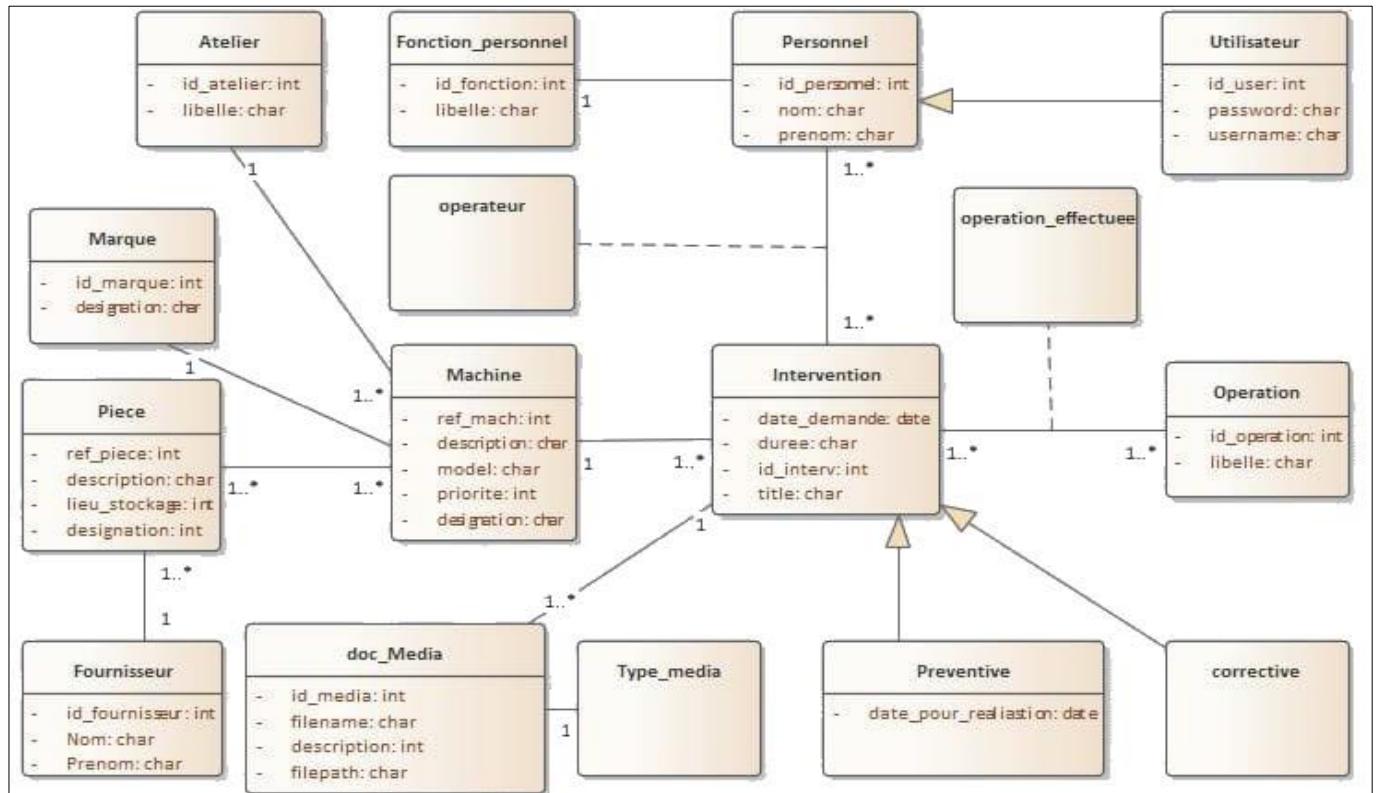


Figure 36 : Le diagramme de classe du système GMAO.

Ces outils sont des prérequis nécessaires à offrir pour l'équipe de développement pour les aider dans la phase de conception et expression de besoin et avoir une idée préalable et claire sur le projet.

### 1.2.1.3 Maintenance de la qualité

Dans ce pilier, avant d'arriver au niveau où les machines peuvent détecter et signaler toute condition anormale en ciblant l'élimination des causes premières des défauts par l'automatisation Jidoka et la mise en place des andons, les opérateurs et les ouvriers sont formés par signaler toute sorte d'anomalie (soit liée à la qualité du produit ou sécurité du personnel) pour arrêter l'activité de poste par appuyer sur des boutons des avertisseurs sonores avec feu tournant lumineux et des arrêts d'urgence pour les cas d'urgence.

Pour le poste le plus sensible par les défauts de qualité produits et qui nécessite un contrôle strict est le poste de sortie presse, alors que l'ouvrier chargé par ce poste est obligé de signaler chaque anomalie à l'opérateur qui est dans la salle de commande pour arrêter la production et détecter le problème et le résoudre.



Figure 37 : Poste sortie presse.

Parmi les outils proposés pour contrôler la conformité des produits est le remplissage des fiches de contrôle (**Annexe 6**) dont le concept est de mesurer la hauteur réelle des pièces sortantes chaque 20 min et les comparer avec la hauteur nominale pour vérifier sa conformité au niveau de dimensions, ainsi que déterminer le nombre de planches non conformes et vides pour chaque heure de production.

Après que les fiches sont remplies, on va traiter dans la phase « CONTROLER » les données collectées par l'outils de carte de contrôle pour surveiller la fabrication en s'assurant que les caractères contrôlés restent stables ou conformes aux spécifications.

### 1.2.1.4 Sécurité, santé et environnement

Dans ce dernier pilier de la Maintenance Productive Totale, on a commencé à appliquer des actions concernant les conditions de travail des employés dans le but d'éliminer les risques pour leur santé et leur sécurité. On peut résumer ces actions dans les points suivants :

#### 1.2.1.4.1 L'élaboration des fiches des postes et de sécurité

Les fiches de postes sont des supports écrits permettant à l'opérateur d'être informé sur les risques à son poste de travail ainsi que le mode d'opératoire. (**Annexe 11**)

#### 1.2.1.4.2 Le contrôle périodique des arrêts d'urgence

L'action de contrôler et essayer les boutons d'arrêts d'urgence et les boutons des avertisseurs sonores sont incluses dans la checklist du planning de maintenance préventive pour vérifier leur état et bon fonctionnement pour signaler toute sorte d'anomalie et assurer utilisation des machines en toute sécurité.



Figure 38 : Les arrêts d'urgence et avertisseur sonores

#### 1.2.1.4.3 La mise en place de la signalisation de santé et sécurité de travail

La signalisation de sécurité et de santé au travail permet de donner aux travailleurs des instructions appropriées relatives aux risques auxquels ils peuvent être exposés sur le lieu de travail et aux consignes à respecter. Elle s'inscrit dans le cadre de la démarche de prévention que l'employeur doit mettre en œuvre pour satisfaire son obligation de sécurité de résultat. En effet, pour assurer la sécurité des travailleurs, ce dernier doit mettre en place diverses mesures en s'appuyant sur les principes généraux de prévention et, notamment, des actions de prévention des risques professionnels, d'information et une organisation et des moyens adaptés.

La signalisation permet à cet égard d'informer les salariés concernant certains risques pour leur santé et leur sécurité, propres à certains objets, certaines activités ou situations déterminées. Cette signalisation peut prendre la forme, selon les cas, d'un panneau, d'une couleur, d'un signal lumineux ou acoustique.

En communiquant des informations, les panneaux et les pictogrammes jouent un rôle essentiel dans la sécurité des personnes en minimisant les risques d'accidents du travail. En effet, c'est un moyen simple et universel de faire passer votre message. Intuitifs et visibles, ils facilitent la circulation de vos employés et visiteurs, mais aussi l'intervention des secouristes. L'installation d'un panneau est nécessaire lorsque la situation ou le lieu présente un risque pour la santé ou la sécurité de quiconque. Dans ce sens et après une étude d'identification des sources des risques dans l'usine en global par l'équipe de projet, la direction et le service de santé de travail, on a implanté :

- Des panneaux de signalisation de sécurité dans les sites de production et des endroits qui attirent le regard des salariés et les visiteurs.

- Un plan d'évacuation (**Annexe 12**) qui contient les sorties de secours, les trajets pour se rendre aux sorties de secours, le point de rassemblement et l'emplacement des extincteurs.



Figure 39 : Les panneaux de signalisation de sécurité et santé.

### 1.2.2 Changement des nombres de shifts de travail dans l'unité

On a constaté que l'ancienne organisation des shifts de travail dans l'unité provoque un gaspillage important de temps au niveau de changement des équipes à cause d'un arrêt exploité généralement dans le changement de moule ou nettoyage de fin de poste mais qui casse la continuité et la performance des équipes.

Ancienne organisation	3 opérateurs (8h/op)	3 équipes (5 ouvriers/eq/8h)
Nouvelle organisation	2 opérateurs (12h/op)	

Tableau 42 : L'organisation des shifts de travail dans l'unité ALPHA.

On a évité la discontinuité de travail en augmentant la productivité et la performance et diminuer le temps et les fois de changement de moule ainsi que le temps de nettoyage (1h de nettoyage chaque 12h au lieu de 1h de nettoyage chaque 16h). Et pour savoir si cette action est utile et rentable, on va l'appliquer au mi-mars 2021 en comparant la première quinze jours avec la deuxième pour contrôler l'évolution de gain, ce qu'on va savoir dans la dernière phase CONTROLER de DMAIC.

### 1.2.3 Le chantier SMED et 5S

Dans notre projet ces 2 techniques sont complémentaires, on va exploiter les gains de la démarche 5S principalement dans l'entourage de la machine presse ALPHA, salle de commande, mini stock et la zone des moules. L'effet de 5S va nous aider à réduire le temps de changement de moule et cela est l'objectif commun d'appliquer ces deux chantiers.

### 1.2.3.1 La démarche SMED

D'après la phase « MESURER », on constate que le temps de changement de moule occupe 26% des temps d'arrêts, avec une moyenne de 1h pour chaque changement de série. Notre but est de réduire de 40% du temps pendant le changement de moule à travers l'application de la démarche SMED pour un gain de temps, de productivité et d'argent.

Le SMED a l'avantage d'être structuré et ordonné de façon bien précise, la méthode se décompose en 4 étapes présentées dans la figure 40.

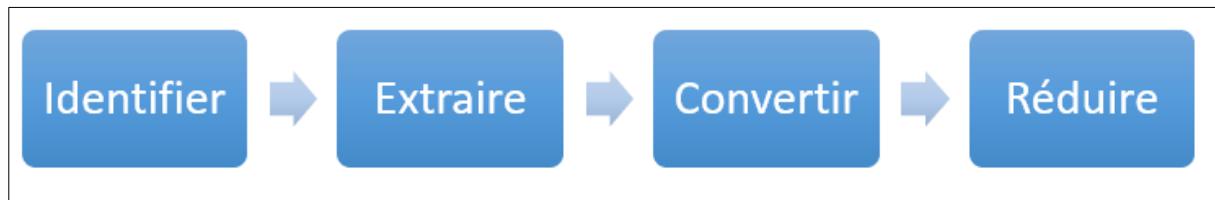


Figure 40 : Les étapes de la démarche SMED.

#### 1.2.3.1.1 Etape 1 : Identifier

Afin d'analyser plus précisément possible les opérations de changement de moule, on a réalisé une vidéo qui commence du la sortie de dernière planche et arrêt machine jusqu'à la production de la première planche conforme après le changement de moule et le réglage. La vidéo est visionnée plusieurs fois, chaque séquence est chronométrée et analysée afin de mettre en évidence tous les dysfonctionnements. Cela étant, on a décidé pour vérifier nos informations et éviter des erreurs de s'organiser autrement en prenant des notes bien précises à la base de chronométrage (on a pris la moyenne des mesures de 5 changements de moules dans 5 jours différents du mois Avril 2021). Cela permet d'identifier les opérations internes et externes, sachant que les tâches internes sont des activités faites lors de l'opération de changement, donc pendant que la machine est en arrêt, et les tâches externes sont des activités faites avant l'opération de changement, donc hors de la période d'arrêt de production en toute sécurité personnelle. Enfin on a déterminé précisément à l'aide de la vidéo et les 5 chronométrages réels le temps pour chaque séquence, le nombre de déplacement, le type et le nombre des outils utilisés, et on les résume dans le tableau 43 sous forme des grands éléments qu'on va les détailler après dans l'étape EXTRAIRE.

Elément	Durée (min)
Arrêter la presse et démonter de moule	14,5
Chercher le moule et des outils	9
Montage et réglage de moule	26,5
Essai, réglage et contrôle	12
Maintenance et nettoyage	12

Tableau 43 : La répartition de temps de changement de moule.

#### 1.2.3.1.2 Etape 2 : Extraire

On a extrait les temps pour chacune de ces éléments (La durée, les temps internes et externes) :

Séquence	Durée (min)	Externe/Interne
Arrêter la presse et desserrer les grands boulons de fixation de châssis monocouche et bicouche	5	I
Positionner du chariot support du moule par le chariot élévateur sur le circuit de planche	3,5	I
Relâcher de commande de vérin de contre moule et évacuer le moule par le chariot support	6	I
Déplacer de moule vers la zone de nettoyage et lubrification puis le classer dans l'étagère des moules	7	E
Nettoyer la machine et son entourage	5	I
Chercher l'autre moule à monter selon l'ordre de fabrication	9	I
Mettre le moule sur le chariot support et le positionner dans sa position adéquate	3,5	E
Fixer le contre moule avec crochets de vérin et situer le moule sur les amortisseurs pneumatiques (ventouses)	6	I
Changer la brosse de pilon	13	I
Fixer le châssis monocouche et bicouche par les grands boulons de fixation	4	I
Rechercher la formule de fabrication et l'implémenter dans le programme	4	I
Lancer la production et le 1er compactage (Essai et réglage)	8	I
<b>Total de temps interne de changement</b>	<b>63,5</b>	
<b>Total de temps externe de changement</b>	<b>10,5</b>	
<b>Temps total</b>	<b>74</b>	

Tableau 44 : Etat avant de changement de moule

On peut s'apercevoir que très peu d'opérations sont réalisées en temps externes sachant que on peut convertir d'autres opérations effectuées avant comme des opérations internes en externe sans arrêter la machine et même on peut réduire la durée de ces temps par proposer des actions amélioratives pour gagner du temps.

#### 1.2.3.1.3 Etape 3 : Convertir

L'objectif de cette étape est de convertir les tâches à réaliser en interne à l'en externe. Chaque étape est prise une par une et une solution est recherchée afin qu'il ne soit pas nécessaire d'arrêter la machine pour la réaliser. On a observé dans cette partie de l'analyse que les temps qui étaient internes sont devenus externes. Après avoir fait cela sur l'ensemble des éléments, on a obtenu les résultats suivants :

Séquence	Durée (min)	Externe/Interne
Arrêter la presse et desserrer les grands boulons de fixation de châssis monocouche et bicouche	5	I
Positionner du chariot support du moule par le chariot élévateur sur le circuit de planche	3,5	I
Relâcher de commande de vérin de contre moule et évacuer le moule par le chariot support	6	I
Déplacer de moule vers la zone de nettoyage et lubrification puis le classer dans l'étagère des moules	7	E
Nettoyer la machine et son entourage	5	E
Chercher l'autre moule à monter selon l'ordre de fabrication	3	E
Mettre le moule sur le chariot support et le positionner dans sa position adéquate	3,5	E

Fixer le contre moule avec crochets de vérin et situer le moule sur les amortisseurs pneumatiques (ventouses)	6	I
Changer la brosse de pilon	13	I
Fixer le châssis monocouche et bicouche par les grands boulons de fixation	4	I
Rechercher la formule de fabrication et l'implémenter dans le programme	1	E
Lancer la production et le 1er compactage (Essai et réglage)	8	I
<b>Total de temps interne de changement</b>	<b>45,5</b>	
<b>Total de temps externe de changement</b>	<b>19,5</b>	
<b>Temps total</b>	<b>65</b>	

Tableau 45 : Etat après de changement de moule

Le temps que demande le changement de moule est de 65 min mais ne demande plus que 45 min d'arrêt machine contre 63 min avec l'ancienne organisation.

On a pu à convertir des actions internes au externes en toute sécurité, ainsi que réduire la majorité des temps des opérations par la mise en place des actions dont la méthode 5S était parmi les efficaces stratégies qui ont un effet d'amélioration sur l'organisation du milieu de travail (zone des moules, près de la presse...).

#### 1.2.3.1.4 Etape 4 : Réduire

Le but de cette étape est de réduire les temps internes pour réduire les temps d'arrêt des machines, les arrêts en cours de production et les temps externes pour augmenter l'efficacité en changeant certains moyens techniques qui contribueront à réduire ces temps sans trop d'investissement. Le tableau 46 présente des exemples d'améliorations ou de changements de moyens.

L'opération	L'action améliorative	Gain de temps après l'action
Nettoyage de l'entourage de machine	Laisser le nettoyage jusqu'à le lancement de la prochaine production (opération externe)	5 min
Recherche de l'autre moule à monter	L'organisation et identification de l'espace des moules dans la démarche 5S	9 min
Recherche de la formule de fabrication	Proposition des fiches de formule à remplir (Annexe 13)	4 min
Déplacement inutile jusqu'au magasin pour chercher des pièces de rechange	Création d'un mini stock des pièces près de l'unité	10 min

Tableau 46 : Les actions amélioratives de temps de changement de moule.

Pour l'identification et l'organisation de l'espace des moules, on va les traiter dans l'axe prochain de la démarche 5S.

##### 1.2.3.1.4.1 Les fiches de formule de fabrication

Les fiches de formule de fabrication proposées à remplir pour chaque produit selon le client nous aident à éviter de chercher la formule d'un produit précis à chaque fois dans l'historique des rapports de production pour l'implémenter dans le programme. Cette fiche

(Annexe 13) contient des informations sur le client, et autres sur le dosage des matières premières (Ciment, agrégats, teintes et adjuvants...) de la couche de masse et de finition.

#### 1.2.3.1.4.2 Création de mini stock des pièces de rechange

L'idée de créer un mini stock des pièces de rechange à l'extérieur de l'unité a été après l'observation des mouvements inutiles et fréquents des ouvriers au cas du besoin des pièces et des outils surtout dans le changement de moule et réparation des pannes de 1ere et 2eme niveau. L'action améliorative était de rapprocher des quantités des outils et pièces souvent utilisées. Une stratégie était adoptée pour l'alimentation de ce mini stock par les éléments les plus importants se basait sur poser 2 pièces en stock à chaque importation des pièces ainsi que préparer une liste des pièces critiques souvent consommées à commander pour alimenter le mini stock.

Elément	Les pièces critiques
Centrale à béton	Tapis a bande, Galets skip, Pale malaxeur
Presse alpha	Vérin pilon, Axe de casque, Flexibles, Rotule, Brosse, Cardan, Clapet anti-retour, Accouplement cardan-moteur
Chariot transbordeur	Galets de guidage, Déetecteurs fin de course, Silent block, Roulement, Roue des fourches
Ascenseur / descenseur	Chaines
Retourneur des planches	Déetecteurs fin de course
Convoyeur - sortie descenseur / palettiseur	Pignon, Galets, Roulement, Chaines
Convoyeur lamelles	Chaîne lamelles, Pignon à chaîne
Convoyeur - sortie presse	Ensemble poulie, Courroie, Roulement
Brosse nettoie-planches	Ensemble axe de brosse

Tableau 47 : Les pièces critiques de l'unité ALPHA.

Et pour la localisation<sup>1</sup> du mini stock étais dehors de l'unité ALPHA à quelque pas dans une salle alimenté par le grand magasin de l'usine qui se situe à 800m de l'unité. Cette action était rentable en termes de temps par éliminer le déplacement inutile jusqu'au magasin.



Figure 41 : La localisation de mini stock, l'unité ALPHA et le magasin d'usine.

### 1.2.3.2 La démarche 5S

L'application de cette démarche surtout dans la salle de commande (près de la presse ALPHA) et l'espace des moules est pour but du maintien de l'organisation de ces espaces et ajout de la valeur à son processus de production, ainsi que le gain de temps des mouvements de personnels et matières inutiles afin de rendre les outils et matériels nécessaires à la production plus accessibles et l'espace de travail plus ergonomique.

Pour la mise en place des actions d'organisation et nettoyage, on va suivre les étapes de 5S :

#### 1.2.3.2.1 1er S – SÉLECTIONNER

On a trié tous les objets et conservé que ce qui est utile à l'utilisation quotidienne, pour chaque zone suivante :

- ❖ Salle de commande :
  - ⌚ Jeter les brosses de pilon dégradées, les roulements usés, courroies déchirées ...
  - ⌚ Placer les outils selon leur fréquence d'utilisation : les outils utilisés rarement sont mis dans le mini stock crée à l'extérieur de l'unité, les outils utilisés souvent et toujours sont mis près de l'opérateur.
- ❖ Espace des moules :
  - ⌚ Débarrasser les moules dégradés inutilisés et réparer les moules cassés.

<sup>1</sup> La localisation est prise via Google Maps 30.32897111279191, -9.486510330973672 le 03/06/2021



Figure 42 : Triage des moules selon leur état.

#### 1.2.3.2.2 Le 2ème S : Ranger

On a classé de manière à limiter les déplacements physiques tous les outils utilisés fréquemment, et dans ce sens on a ranger tous les moyens nécessaires pour le changement de moule dans une armoire à outils très proche à la presse ALPHA, et c'était parmi les actions amélioratives qui nous aident à réduire le temps de changement de moule.



Figure 43 : Ranger les outils dans une armoire près de la presse.

Pour l'espace des moules, on a formé des étagères pour classer les moules selon leur fréquence d'utilisation et leur poids : les moules des bordures les plus lourds et utilisés dans le 1er niveau des étagères et ainsi de suite.

L'état « avant »	Fabrication des étagères par l'équipe de chaudronnerie	L'état « après »
		

Tableau 48 : Rangement des moules dans les étagères.

#### 1.2.3.2.3 Le 3ème S : Scintiller

Le nettoyage de ces deux espaces sont programmés périodiquement, après chaque 12h pour l'entourage de la presse ALPHA et chaque fin de semaine pour l'espace des moules sachant que le nettoyage et la lubrification de chaque moule s'effectue juste après son utilisation dans une opération externe au changement de moule.

#### 1.2.3.2.4 Le 4ème S : Standardiser

Pour mettre des standards après le changement d'état de ces espaces, on a défini des règles à respecter surtout dans le changement de moule afin de ne pas dépasser plus de 45 min dans ses opérations internes. Et grâce à les efforts et le niveau de gestion d'équipe du responsable de l'unité ainsi que l'engagement de toute l'équipe dans ce projet d'amélioration, les résultats de cette démarche mettent en tête. Et parmi les actions qui ont standardisé et facilité le processus, on cite l'identification des moules dans le cadre du pilotage visuel par mettre leur nom sur des plaques dans les étagères ainsi que sur les moules par une peinture jaune. Cette action nous aide à éviter le gaspillage de temps dans la recherche de moule qui s'effectuait à 3 min au lieu de 9 min auparavant.



Figure 44 : L'identification des moules par leur nom et numéro par une peinture jaune.

Dans le cadre d'identification en pilotage visuel, on a mets des étiquettes portantes les noms des pièces sur les boîtes dans des tiroirs de rangement dans la salle de mini stock pour faciliter l'accès à l'outils.



Figure 45 : Identification des tiroirs de rangement des outils dans le mini stock.

#### 1.2.3.2.5 Le 5ème S : Impliquer et maintenir

Afin que ces nouvelles procédures mises en place soient effectives sur la durée, on a proposé d'appliquer des audits et des contrôles périodiques pour vérifier le degré de respect des standards de manière que les 5S s'intègrent à la culture de l'entreprise et les appliquer dans toutes les autres unités de l'usine.

L'exemplaire de check-list d'audit proposé était sous la forme suivante :

Critères	Note /5	Observation
L'absence des articles inutiles		
La propreté de l'espace		
L'absence d'accumulation des matières désuètes		
Les supports et étagères sont bien rangés.		
Les outils sont placés dans un endroit pratique.		
L'outil et sa localisation sont bien identifiés et visibles.		
L'accès au matériel d'urgence est facile		
Les méthodes de travail sont standardisées, communiquées et comprises par tout le personnel.		
Les employés ont pris l'habitude de maintenir leur environnement de travail propre et bien rangé quotidiennement.		
Un suivi périodique du maintien des 5S est réalisé.		
Evaluation	0-10 : Système débutant 11-30 : Système en développement 31-50 : Système en rodage	

Tableau 49 : Check-list d'audit des 5S.

On va découvrir dans la phase CONTROLER de DMAIC les résultats d'audits après 30 jours de la mise en place des 5S.

#### 1.2.4 Le management visuel

Afin d'aider les responsables à véhiculer des informations à leurs équipes ou impliquer le personnel en l'encourageant à participer activement à l'amélioration de l'usine, on a décidé de mettre en place des outils pratiques de management visuel dans le but de visualisation et prévention du gaspillage dans l'unité, visualisation immédiate des écarts par rapport à la norme de travail, et l'implication des employés pour leur permettre de donner du sens à leurs actions et de suivre les performances.

Et le principal domaine d'application du management visuel est le suivi de production en temps réel, qui comprend les statuts des machines et des opérateurs, la gestion des stocks et des en-cours, et les tableaux de suivi de production.

Parmi les outils de management visuel appliqués dans notre projet :

- L'identification des moules dans leur étagères.
- L'étiquetage des tiroirs et des boîtes de rangement.
- L'étiquetage des palettes des produits finis.
- Le tableau d'affichage pour la gestion de production et maintenance.

Pour l'identification des moules dans leur étagères et des tiroirs et des boîtes de rangement, on a traité déjà dans le 4ème S (Standardiser) de la méthode 5S.

##### 1.2.4.1 L'étiquetage des palettes des produits finis.

L'étiquetage des palettes a été appliqué dans le but de faciliter la détermination de la date et le poste de fabrication par une étiquette qui contient :

- La date de fabrication
- Case à cocher selon l'opérateur de poste (1ère lettre de son nom)



Figure 46 : Etiquette des palettes.



Figure 47 : Palettes étiquetées et stockées.

La pose des palettes dans le stock s'effectue selon un programme de manutention formé par le service de production en respectant les signes marqués au sol des voies de parc.



Figure 48 : Voie "K" du parc de stock.

#### 1.2.4.2 Le tableau d'affichage pour la gestion de production et maintenance.

Dans le cadre de management visuel, un tableau d'affichage des indicateurs, méthodes, réglementation, procédures et des résultats de production, placé stratégiquement dans la zone de production de manière à être le plus visible possible, et qui doit être mis à jour périodiquement. Les indicateurs visuels affichés sont des informations qui permettent d'identifier et de détecter les anomalies, les problèmes et les déviations par rapport à un objectif de production donné.

On a tracé un plan de ce tableau d'affichage avant de le mettre en place pour obtenir un outil efficace qui va nous aider pour suivre la production, détecter les anomalies, et faciliter la proposition des actions amélioratives sur place.

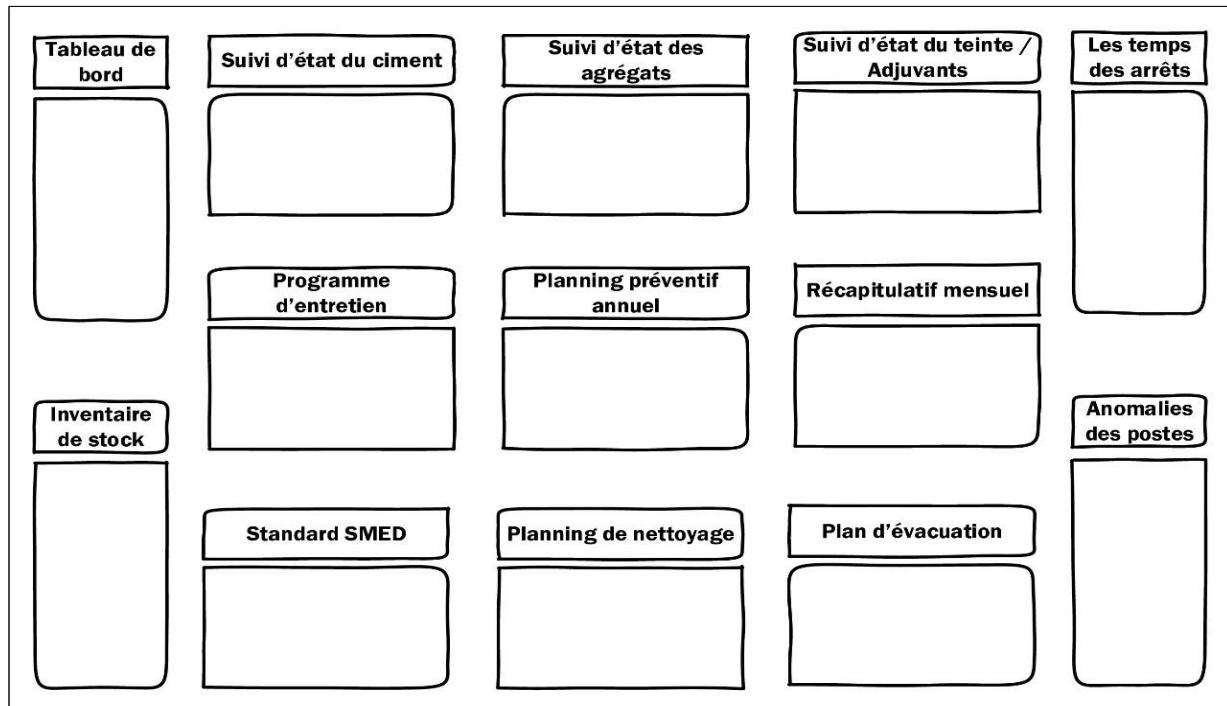


Figure 49 : Plan de tableau d'affichage.

Ce tableau reprend les informations les plus représentatives qui permettent de faire une synthèse rapide de la production et maintenance. L'organisation de ce tableau était selon :

- L'unité concernée : ALPHA
- La périodicité de l'information : des données sont mises à jour quotidiennement, autres hebdomadairement et autres mensuellement.
- Ces données sont :
  - ⌚ Tableau de bord : des indicateurs de performance de production et maintenance (TRS, TRG, disponibilité machine, production réelle, temps d'arrêts, ...).
  - ⌚ Suivi de matières premières : Les quantités entrées, consommées et restées du ciment, des agrégats, des teintes et des adjuvants.
  - ⌚ Inventaire de stock : Le stock initial du mois des matières premières et produits finis.
  - ⌚ Récapitulatif mensuel : Résumé de la production quotidienne avec des indicateurs.
  - ⌚ Données de maintenance : Planning préventif de la maintenance, programme d'entretien des machines, récapitulatif des temps d'arrêts.
  - ⌚ Données de 5S : Standard SMED, planning de nettoyage et le plan d'évacuation.
  - ⌚ Anomalies de postes : Des observations, réclamations, informations des opérateurs et ouvriers notées dans des papiers notes colorés (rouge pour les pannes des machines, orange pour la qualité des produits, jaune pour l'attente de matières premières)

La figure 50 représente la mise en place de tableau d'affichage pour la première fois dans le mois du juin 2021 et qui a été bien accueilli et admiré par la direction, les responsables et les ouvriers et qui a donné une valeur ajoutée au travail quotidien des personnels en les organisant et modélisant par des indicateurs et des données chiffrées en rapprochant et intégrant toutes les parties dans le projet d'amélioration.

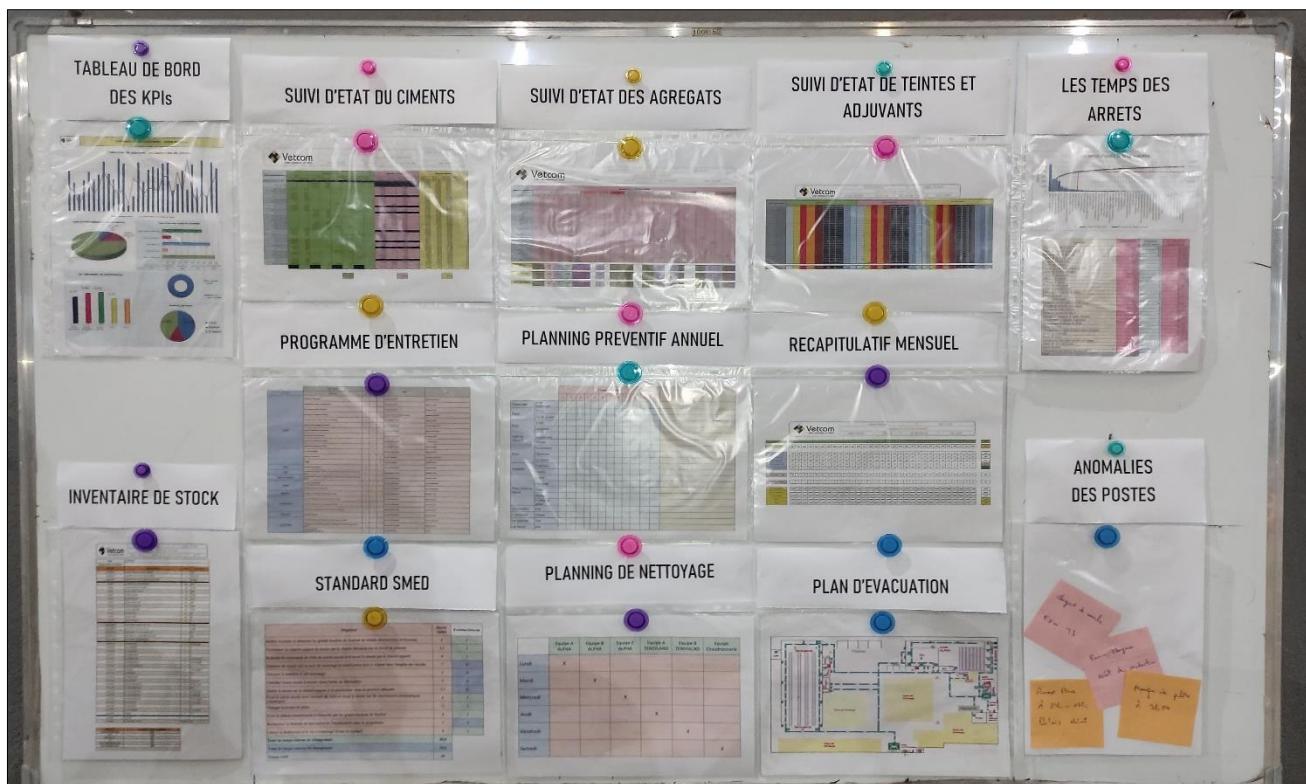


Figure 50 : La mise en place du tableau d'affichage (management visuel)

## 2 PHASE 5 : CONTROLER

L'objectif cette dernière phase est de remarquer l'impact d'amélioration après la mise en place de plan d'action ainsi que s'assurer que les gains obtenus sont maintenus au-delà et après la fin du projet.

La plupart des actions mises en place vont influencer sur le taux d'amélioration au moyen et long terme. Pour bien évaluer ce taux de l'amélioration après les actions mentionnées dans la phase précédente « INNOVER » de court terme, on a effectué les actions suivantes :

### 2.1 Recalcul des KPIs et estimation des gains

L'adaptation de l'ensemble des améliorations dans l'unité va générer un gain à partir de plusieurs niveaux :

- Augmenter la disponibilité de la ligne.
- Augmenter la production réelle journalière et alors la productivité.
- Améliorer le temps de cycle de la vibro-presse ALPHA et alors de toute la ligne.
- Réduire les temps d'arrêts et d'attente et le temps de rebut.

Dans ce sens on a recalculé les indicateurs de performance de production et maintenance déjà mesurés dans la phase « MESURER » dans la période 20 Mai jusqu'au 20 Juin 2021 (à raison de contrainte de temps limité de notre projet) pour les améliorations qui ont un impact sur place à court terme. Le tableau 50 récapitule brièvement le recalculation des indicateurs de performance en déterminant les gains :

Indicateur	Moyenne (Février/Mars/Avril)	20Mai-20Juin	Gain	Cible
La moyenne de production journalière (planche)	2226	2536	310	<b>3000</b>
Nombre de planches produites (planche)	66384	78616	12232	<b>80000</b>
Le taux d'utilisation de la capacité	69%	78%	9%	<b>91%</b>
Moyenne des Taux de disponibilité du mois	80,12%	85,37%	5%	<b>90%</b>
Moyenne des Taux de performance du mois	88,75%	92,78%	4%	<b>90%</b>
Moyenne des Taux de qualité du mois	93,26%	99,46%	6%	<b>99%</b>
Moyenne de TRS du mois	75,34%	79,15%	4%	<b>80%</b>
Moyenne de TRG du mois	70,80%	75,15%	4%	<b>76%</b>
Somme des temps de bon fonctionnement (min)	32808	36247		
Nombre de pannes	102	47		
Somme de temps des pannes (min)	8136	6413		
MTBF (min)	321,52	771,21	449,70	<b>720</b>
Taux de défaillance $\lambda$ (panne/h)	0,18	0,078	-0,10	<b>0,08</b>
MTTR (min)	79,80	136,45	56,64	<b>60</b>
Nombre de heures travaillées	546,80	604,12		
Taux de productivité (planche/h)	122	130	8	<b>150</b>
Nombre de planches rebutées	408	412		
Taux de rebut	0,61%	0,52%	-0,09%	<b>0,50%</b>
Temps de changement de moule (min)	63	45	18	<b>40</b>

Tableau 50 : Recalculation des indicateurs et détermination des gains.

Le tableau 51 montre les temps d'arrêt critiques qui ont été les causes majeures de la baisse de production représentées en classe A de diagramme de Pareto (20%) et alors après les traiter on a obtenu le maximum des bénéfices (80%) en termes de temps disponible à la production.

Les arrêts	Temps d'arrêt (min)
Changement de moule	1518
Panne de chariot transbordeur	63
Nettoyage de fin de poste	1620
Panne de la chargeuse	555
Coupure d'électricité	24
Essais des produits	240
Charge de trémie et attente de MP	348
Panne de la table vibrante	42
Panne de descenseur	25
Manque de palette	278

Tableau 51 : Les temps d'arrêt de la classe A de Pareto pour la période 20 Mai – 20 Juin 2021

En prenant cette période comme preuve d'évaluer l'impact des actions amélioratives, on constate que grâce au plan de maintenance et entretiens correctifs, les temps d'arrêts sont réduits surtout au niveau de chariot transbordeur et la presse ALPHA et un gain du temps de 18 min de chaque changement de moule est exploité maintenant pour la production (18min correspond à la production de 50 planches)

Un gain important au niveau de la productivité atteint en produisant 12000 planches de plus avec un taux de 130 planches/h, une moyenne de production journalière de 2500 planches/jour et en se rapprochant à la cible plus que jamais.

En termes de maintenance, le TRS et ses composants atteignent la cible fixée au début de projet (TRS 80%) grâce à la réduite des temps d'arrêts et d'attente en augmentant la disponibilité qui nécessite le passage par l'allongement de la MTBF et la réduction de la MTTR.

Tant que le système est un circuit fermé et synchronisé, toutes les améliorations au niveau de la disponibilité et la réduite des temps d'arrêts améliorent proportionnellement la performance de la ligne ALPHA par réduire son temps de cycle réel de la vibro-presse ALPHA et le rapprocher au théorique en améliorant alors le taux d'utilisation de la capacité (Rendement vitesse tend vers 1 et la perte vitesse tend vers 0).

Pour la qualité des produits, on a réduit le temps de rebut de 0.64% à 0.54% (la cible) et pour le contrôle de la conformité au niveau de la hauteur des produits, on a élaboré l'outils de carte de contrôle pour surveiller la fabrication en s'assurant que les caractères contrôlés restent stables ou conformes aux spécifications.

## 2.2 Le tableau de bord

Parmi les outils appliqués pour le contrôle et la surveillance des actions mises en place et pour bien suivre et évaluer l'amélioration, on a élaboré un tableau de bord qui récapitule en graphes les indicateurs de performance de production et maintenance pour rapprocher les opérations de fabrication, des consommations de matières premières, les temps d'arrêts et des indices de productivité selon les opérateurs et les shifts de travail.

Ce tableau de bord est l'un des documents affichés sur [Figure 50 : le tableau d'affichage](#) dans l'unité dans le cadre de management visuel.

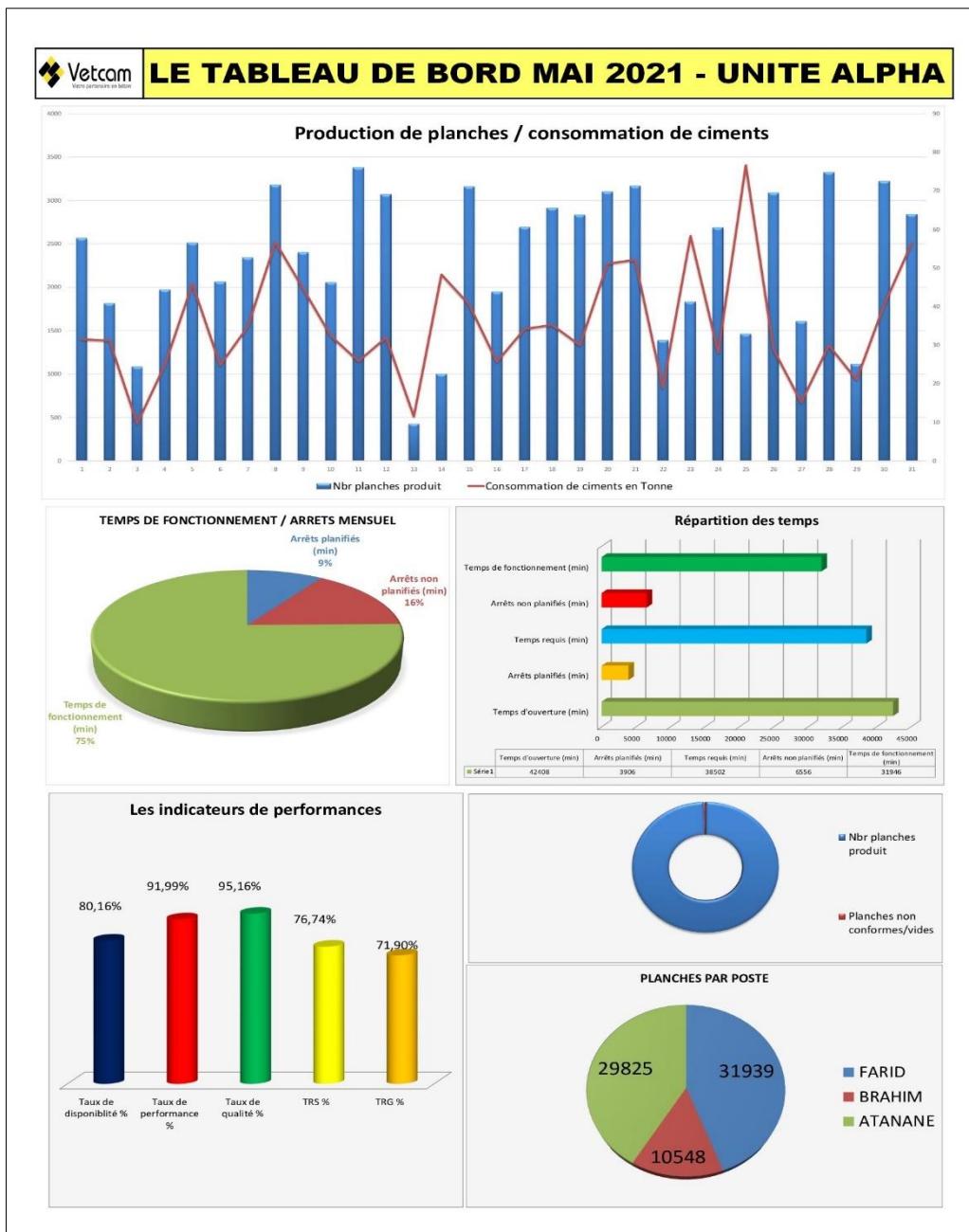


Figure 51 : Le tableau de bord d'unité ALPHA.

### 2.3 L'impact de changement des nombres de shifts de travail dans l'unité

Après l'application de l'organisation des shifts de travail en 2 opérateurs au lieu de 3, on constate que cette action est rentable au niveau de productivité et continuité de travail en comparant la première quinze jours avec la deuxième après l'application de cette action entre ces deux quinze jours.

Période	Nombre d'opérateurs	Nombre de planches produites
1ere quinze jours	3	29899 (41%)
2eme quinze jours	2	42413 (59%)

Tableau 52 : Nombre des planches produites dans le mois MARS.

La figure 52 présente l'évolution de la production en mois Mars 2021 après le changement des nombres de shifts de travail dans l'unité.

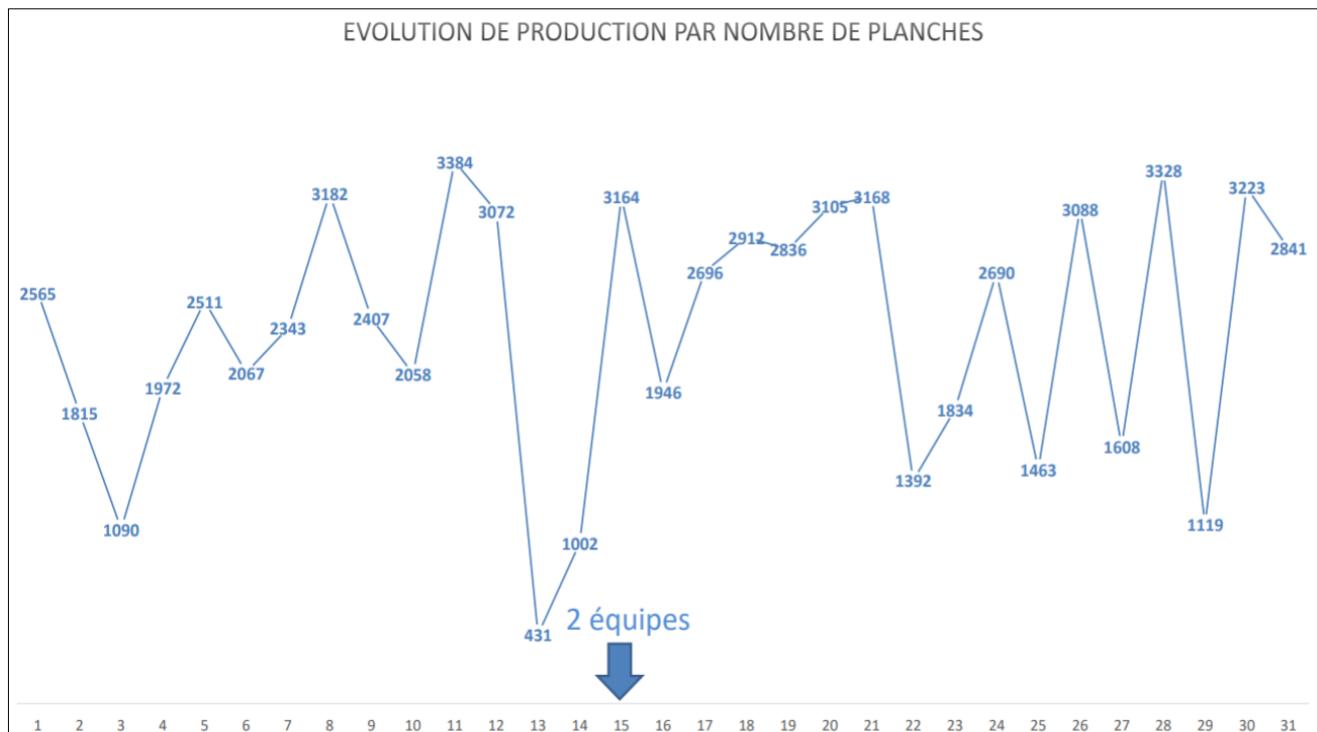


Figure 52 : L'évolution de la production après l'application de 2 shifts.

## 2.4 Le contrôle périodique de déploiement des 5S

Après le déploiement de chantier 5S au sein de zone des moules et la salle de commande, un audit proposé pour bien suivre le respect des règles des 5S. Un premier audit était effectué après un mois dont le tableau 53 présente son évaluation.

Critères	Note /5	Total
L'absence des articles inutiles	4	43 (Le système est en rodage)
La propreté de l'espace	5	
L'absence d'accumulation des matières désuètes	4	
Les supports et étagères sont bien rangés.	4	
Les outils sont placés dans un endroit pratique.	4	
L'outil et sa localisation sont bien identifiés et visibles.	5	
L'accès au matériel d'urgence est facile	5	
Les méthodes de travail sont standardisées, communiquées et comprises par tout le personnel.	3	
Les employés ont pris l'habitude de maintenir leur environnement de travail propre et bien rangé quotidiennement.	4	
Un suivi périodique du maintien des 5S est réalisé.	5	
Evaluation	0-10 : Système débutant      11-30 : Système en développement      31-50 : Système en rodage	

Tableau 53 : Premier audit après un mois de déploiement du chantier 5S.

La figure 53 suivante montre l'état de zone des moules après un maintien des règles de 5S.



Figure 53 : La zone des moules ALPHA.

## 2.5 La MSP : La carte de contrôle et l'analyse de capacité machine

### 2.5.1 Collecte des données

Dans notre cas, on a différents types des produits classés en 3 familles (Pavés, Bordures et Agglos-Hourdis), on va l'appliquer par priorité à la suite de deux réclamations reçues par le service de productions dont la hauteur réelle des produits ne correspond pas à la hauteur nominale en prenant en considération les tolérances dimensionnels.

Le tableau 54 présente les tolérances de la hauteur pour nos produits exigées par le service de qualité de produit.

Produit	Tolérance de la hauteur
Bordure	$\pm 10$ mm
Pavé	$\pm 3$ mm
Agglos - Hourdis	$\pm 4$ mm

Tableau 54 : Les tolérances de la hauteur des produits.

Au cas où la mesure des produits a détecté un dépassement de ces intervalles de tolérance, l'ouvrier de contrôle signale à l'opérateur qui est dans la salle de commande pour arrêter la production et détecter le problème, et cette planche se considère non conforme au niveau de dimension.

On a collecté les mesures obtenues par les fiches de contrôle de sortie presse de mois Avril et Mai 2021 dans un tableau, et on les classait par produits pour faciliter le traitement des données, on prend l'exemple sur le produit 'la bordure T3'

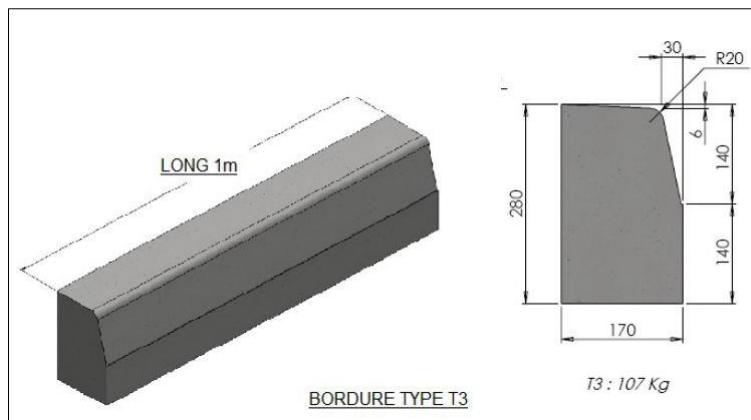


Figure 54 : Bordure T3.

Le tableau 55 présente les mesures de la hauteur de 5 échantillons, chaque échantillon est pris dans une 20 min (La durée de chaque contrôle). On prend les mesures de 2 mois dont les jours où le produit fabriqué est la bordure T3.

N° d'échantillon	Date d'échantillon	H1	H2	H3	H4	H5	Moyenne	Etendue
1	02/04/2021	284	283	282	282	280	282,2	4
2	02/04/2021	281	281	280	282	281	281,0	2
3	02/04/2021	284	283	282	284	286	283,8	4
4	02/04/2021	286	280	284	284	282	283,2	6
5	02/04/2021	284	285	285	285	280	283,8	5
6	03/04/2021	279	281	282	279	282	280,6	3
7	03/04/2021	278	283	286	278	280	281,0	8
8	03/04/2021	289	287	280	281	280	283,4	9
9	03/04/2021	278	281	278	279	282	279,6	4
10	03/04/2021	281	283	282	278	280	280,8	5
11	08/04/2021	281	283	280	288	282	282,8	8
12	08/04/2021	280	281	281	281	282	281,0	2
13	08/04/2021	280	285	284	279	286	282,8	7
14	08/04/2021	278	281	286	284	278	281,4	8
15	08/04/2021	283	279	282	283	282	281,8	4
16	09/04/2021	284	280	288	280	286	283,6	8
17	09/04/2021	282	281	281	280	281	281,0	2
18	09/04/2021	280	283	281	278	283	281,0	5
19	09/04/2021	281	281	280	288	284	282,8	8
20	09/04/2021	286	281	283	278	285	282,6	8
21	18/04/2021	283	280	281	280	278	280,4	5
22	18/04/2021	283	278	282	278	282	280,6	5
23	18/04/2021	283	281	279	279	281	280,6	4
24	18/04/2021	280	278	280	280	284	280,4	6
25	18/04/2021	285	285	284	280	285	283,8	5
26	19/04/2021	286	280	279	280	283	281,6	7
27	19/04/2021	278	278	281	280	278	279,0	3
28	19/04/2021	280	278	283	278	282	280,2	5
29	19/04/2021	280	282	285	285	282	282,8	5
30	19/04/2021	281	280	282	278	278	279,8	4
31	02/05/2021	279	278	283	283	281	280,8	5

32	02/05/2021	279	282	283	283	280	281,4	4
33	02/05/2021	280	282	280	282	282	281,2	2
34	02/05/2021	281	278	282	282	278	280,2	4
35	02/05/2021	280	280	282	279	281	280,4	3
36	03/05/2021	283	278	282	278	283	280,8	5
37	03/05/2021	281	284	284	281	281	282,2	3
38	03/05/2021	279	279	283	282	282	281,0	4
39	03/05/2021	283	281	280	280	282	281,2	3
40	03/05/2021	281	280	280	279	285	281,0	6
41	27/05/2021	279	280	281	283	278	280,2	5
42	27/05/2021	281	282	278	283	281	281,0	5
43	27/05/2021	281	283	281	281	280	281,2	3
44	27/05/2021	283	283	283	280	281	282,0	3
45	27/05/2021	281	282	282	281	279	281,0	3
46	28/05/2021	281	280	283	279	279	280,4	4
47	28/05/2021	282	279	280	281	278	280,0	4
48	28/05/2021	282	282	281	280	282	281,4	2
49	28/05/2021	283	281	280	278	279	280,2	5
50	28/05/2021	278	282	283	278	283	280,8	5

Tableau 55 : Les mesures de la hauteur de la bordure T3 pendant le mois Avril et Mai 2021.

Selon l'intervalle de tolérance de la bordure T3 [270mm,290mm] tous les échantillons sont dans cet intervalle et alors ils sont conformes au niveau de dimension.

Pour visualiser l'évolution et la variation de la valeur moyenne des dimensions fabriquées, on va exploiter ces données pour tracer des cartes de contrôle selon la Maîtrise Statistique de Processus MSP.

## 2.5.2 La carte de contrôle et la capacité machine

### 2.5.2.1 Définition

La maîtrise statistique des processus (MSP) est l'un des principaux outils de l'approche Six sigma. Il fait également partie du pilier JIDOKA de l'approche Lean dans la mesure où il réduit la variabilité du processus de production.

Le but de la MSP est de donner aux opérateurs des machines de production un outil graphique simple de contrôle de la production (c'est l'autocontrôle) leur permettant de garder la production centrée sur sa cible et de maintenir sa dispersion dans l'intervalle de tolérance (TI) spécifié.

La MSP est basé sur deux outils fondamentaux :

- le suivi des processus par des "cartes de contrôle" (créées par W. Shewhart, dès 1930)
- la mesure des capacités des moyens de production (développée depuis les années 1970). [26]

#### 2.5.2.1.1 La carte de contrôle

Les cartes de contrôles permettent de piloter la production (régler les consignes appliquées aux machines) par rapport aux limites naturelles du processus (il s'agit de la dispersion du moyen de production autour de sa consigne en l'absence de cause particulière de déréglage) et non par rapport aux spécifications (intervalle de tolérance défini par la tolérance supérieure, TS et la tolérance inférieure, TI), qui servent seulement à accepter ou non une production.

Elles permettent d'effectuer un réglage opportun du procédé de fabrication et de connaître sa capacité machine. Cet outil se présente comme un graphique dont les points représentent le suivi dans le temps d'une caractéristique du processus dont la valeur centrale (souvent la moyenne) est représentée par une ligne horizontale ainsi que les limites inférieures (LCL) et supérieures (UCL) (UCL : Upper Control Limit, LCL : Lower Control Limit). [26]

Ces deux valeurs sont les limites à l'intérieur desquelles le processus est sous contrôle. Les valeurs de la caractéristique contrôlée doivent se trouver à l'intérieur de ces limites, sinon ces valeurs sont 'hors contrôle' et doivent être examinées. On détermine ces valeurs par les relations suivantes :

Pour la moyenne :

$$LIC\bar{X} = \bar{X} - A2\bar{R}$$

$$LSC\bar{X} = \bar{X} + A2\bar{R}$$

Pour l'étendue :

$$LICR = D3 \times \bar{R}$$

$$LSCR = D4 \times \bar{R}$$

Avec :

LIC : limites inférieures de contrôle

LSC : limites supérieures de contrôle

$\bar{R}$  : étendue moyenne dans l'échantillon.

$\bar{X}$  : La mesure moyenne dans l'échantillon.

Les coefficient A2, D3 et D4 dépend du nombre d'observations dans chaque échantillon (Pour notre cas 5 échantillons : A2= 0.577 et D3= 0 et D4= 2.114)

#### 2.5.2.1.2 *La capacité machine*

La capacité machine est l'adéquation d'une machine ou d'un processus pour produire une performance requise. Elle est utilisée pour rendre compte de l'aptitude d'une machine ou d'un processus à produire des pièces dans la plage de tolérance souhaitée [27].

Les indices de capacité sont Cm et Cmk, ils se calculent par les relations suivantes :

$$Cm = \frac{IT}{6\sigma} \quad \text{Et} \quad Cmk = \min \left( \frac{\bar{X}-Ti}{3\sigma}, \frac{Ts-\bar{X}}{3\sigma} \right)$$

Avec

$\bar{X}$  : La mesure moyenne dans l'échantillon.

$\sigma$  : L'écart-type

IT : Intervalle de tolérance avec ses bornes [Ti,Ts]

Pour interpréter les résultats :

Si Cm et Cmk supérieurs à 1,33 machine capable et bien centrée.

Sinon si Cm>1,33 et Cmk<1,33 machine capable et mal centrée.

Sinon Cm<1,33 machine non capable.

### 2.5.2.2 Application

Après la collecte des données dans le tableau précédent, on a appliqué l'outils de carte de données avec les coordonnées suivantes :

Poste	Sortie presse ALPHA
Pièce	Bordure T3
Caractéristique	Hauteur
Unité de mesure	mm
Hauteur nominale	280 mm
Taille d'échantillon	5 échantillons chaque 2h
Fréquence de contrôle	20 min
Moyenne globale	281,4
Etendue moyenne	4.7
LICX	278,62
LSCX	284,09
LICR	0
LSCR	10

Tableau 56 : Les coordonnées de la carte de contrôle.

Les données de la carte plus détaillées sont dans (**L'Annexe 14**)

Les figures 55 et 56 illustrent les cartes de contrôle de la moyenne et l'étendue des hauteurs de la bordure T3.

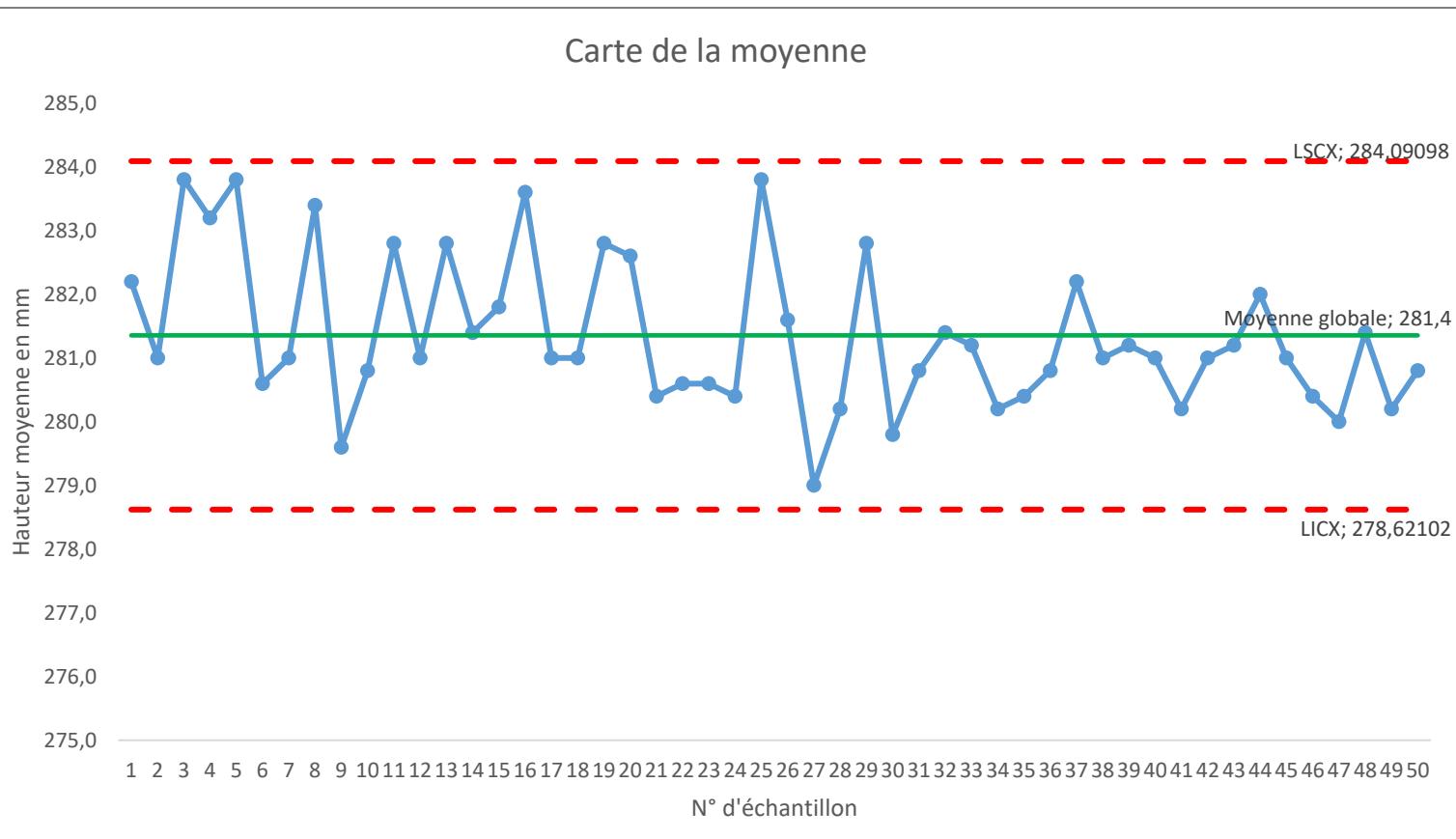


Figure 55 : La carte de contrôle de la moyenne.

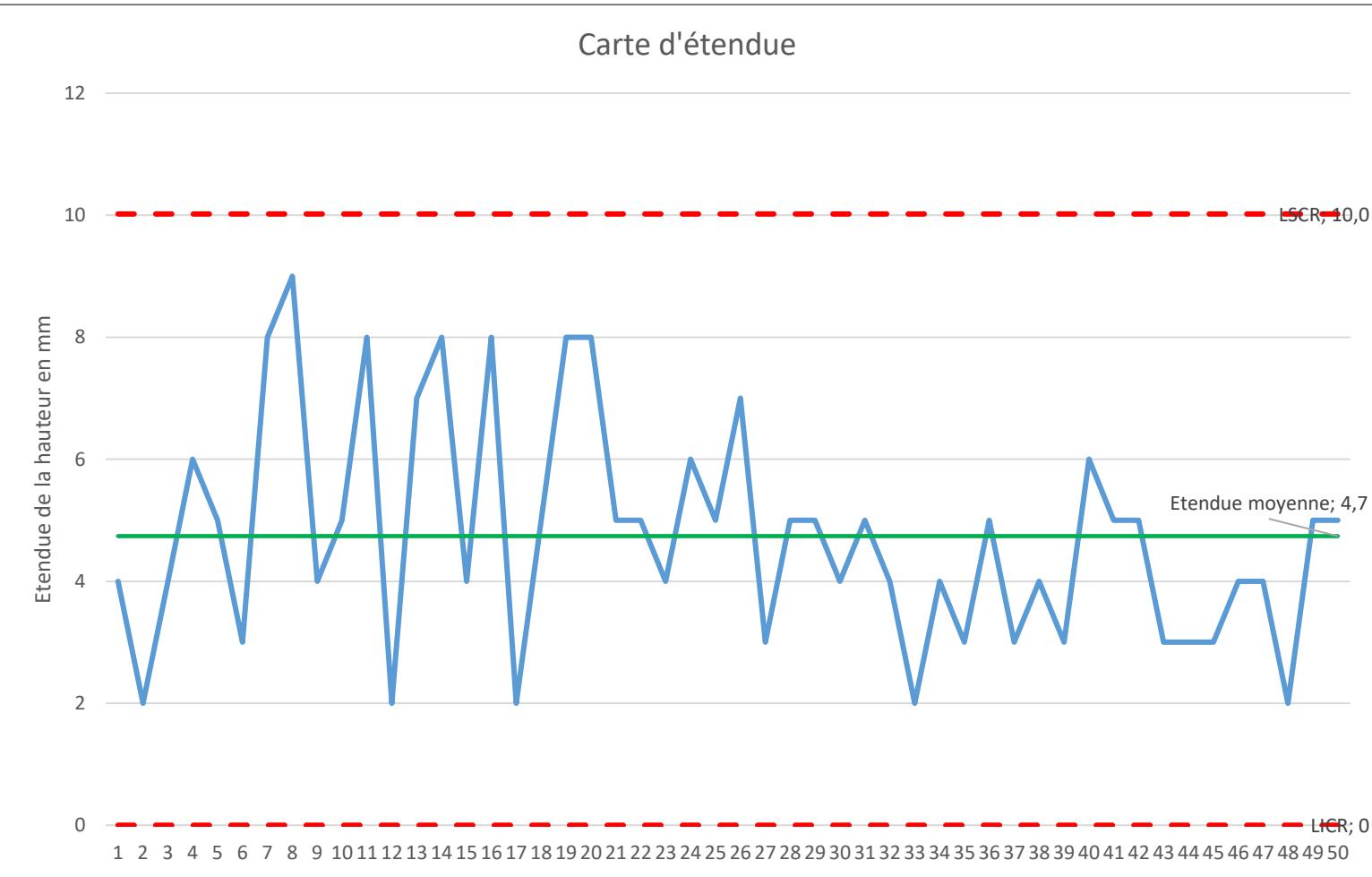


Figure 56 : La carte de contrôle de l'étendue.

D'après ces cartes de contrôle, La courbe des résultats oscille de façon aléatoire de chaque côté de la valeur cible entre les limites de contrôle. Cela signifie que le procédé analytique est sous contrôle (Les résultats sont fidèles) :

- Pas de points hors limites.
- 2/3 des points sont près de la ligne centrale.
- Peu de points sont situés près des limites de contrôle.
- Les points sont situés tantôt au-dessus de la ligne centrale, tantôt au-dessous.
- Pas de cause assignable (Les cause assignable sont : 7 points consécutifs sont supérieurs ou inférieurs à la moyenne, 7 points consécutifs sont en augmentation régulière ou en diminution régulière ...)

Pour la capacité machine, la figure 57 présente l'étude de la capacité pour la hauteur.

Mesures	Tolérances	Capacité machine		Limites du graphique	
Min	279,00	Min	270,00	Cm min	3,20
Max	283,80	Max	290,00	Cm max	2,44
Écart type	1,18	Étendue	20,00	Cm	2,82
Moyenne	281,36	Centre	280	Cmk	2,44
				Mini	270,00
				Maxi	290,00
				Pas	1,00
				Nombre	50,00

Tableau 57 : Les données de la capacité machine.

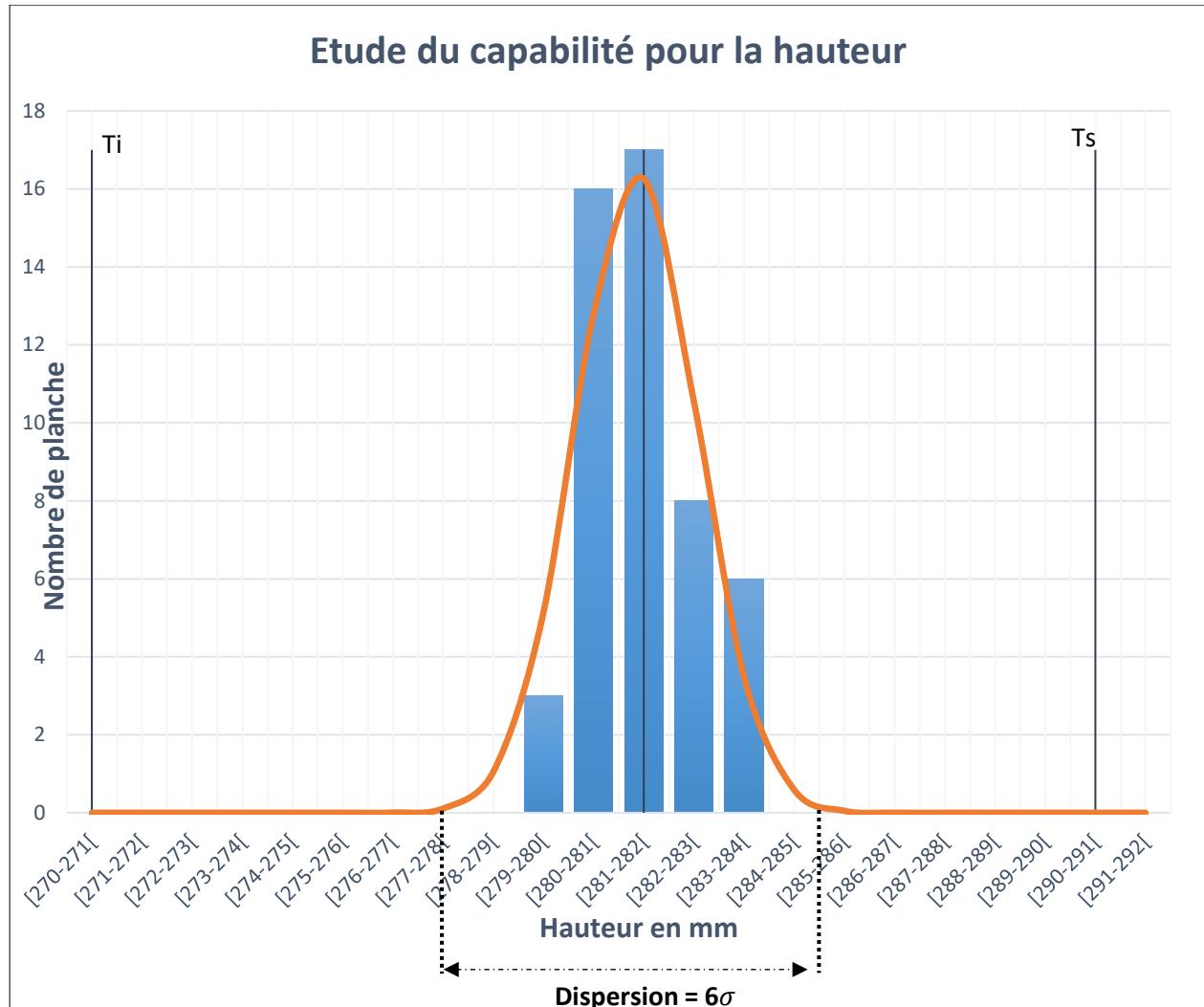


Figure 57 : La capabilité machine selon la hauteur.

La distribution des mesures est selon la loi normale (la courbe en cloche de gauss) et pour interpréter les résultats sur la machine, on constate que la presse ALPHA est apte, capable et bien centrée ( $C_m$  et  $C_{mk}$  sont supérieurs à 1.33).

On a commencé à adopter les cartes de contrôle pour tous les produits et en commençant par les produits les plus souvent réclamables (Les bordures et les pavés) et on a ajoutés comme des indicateurs importantes à visualiser dans notre tableau de bord de production. En raison de son importance, le tri permet d'écartier les pièces non conformes alors que les cartes de contrôle permettent d'éviter de produire des pièces non conformes. Le suivi de production par cartes de contrôle consiste à prélever, à fréquence constante, un échantillon de pièces dont on mesure la caractéristique qui fait l'objet du suivi (la hauteur dans notre cas) : on calcule alors la moyenne et l'étendue de chaque échantillon qu'il reporte sur une carte afin de les comparer aux limites naturelles du processus. Lorsque ces valeurs sortent des limites, l'opérateur sait que le processus fait l'objet d'une cause spéciale (un déréglage, un défaut de lubrification, un outil usé ...). Il doit, alors, prendre l'action corrective qui va permettre de recentrer le processus sur sa cible, à l'intérieur de l'intervalle de tolérance.



# Chapitre V

---

## Autres perspectives d'amélioration

---

Dans ce chapitre, on va traiter les autres actions d'améliorations mises en place immédiatement après la détection de besoin qui ne nécessite pas une étude profonde, et appliquées en parallèle avec le déroulement de notre projet d'amélioration de la ligne de production ALPHA selon la démarche DMAIC de Six Sigma.

## Chapitre V : Autres perspectives d'amélioration

### 1 Génération de la documentation

Parmi les actions amélioratives qui ont un gain intangible, la génération de la documentation pour le service de production et maintenance afin de garantir une traçabilité et constituer une base des données pour les exploiter au calcul des indicateurs de performances ainsi que garder une trace immédiate (vérification de faits), cumulative (transfert d'expertise) ou à long terme (informations authentiques) et justifier son activité au cas de contrôle ou audit.

Constituer une archive des documents et assurer la traçabilité ont été l'un des besoins détectés dès le lancement de notre projet d'amélioration puisqu'on a rencontré une contrainte de manque de documentation pour collecter les données qu'on va exploiter dans la phase « MESURER » de DMAIC.

Pour cela, La création des documents de service de production a été la première action améliorative mise en place même si avant le lancement de notre projet principal du DMAIC.

#### 1.1 Les documents de service production et maintenance

La création des documents a été effectuée en séparant entre le service production et maintenance et par unités d'usine ALPHA et TENSYLAND. Et pour la désignation de classification a été garantie par des éléments de références notés dans un cartouche à l'entête de chaque document.



Figure 58 : Le cartouche d'entête des documents.

Le tableau 58 représente ces documents et leur classification.

Unité	Service	Titre du document	Edition	Version	Réf.
ALPHA	Production	Rapport de production journalier	02/2021	00	ENG-PROD-001
		Relevé des temps d'arrêts	02/2021	00	ENG-PROD-002
		Fiche de calcul des planches sortantes (la casse)	02/2021	00	ENG-PROD-003
		Inventaire de stock	02/2021	00	ENG-PROD-004
		Rapport explicatif d'anomalie	02/2021	00	ENG-PROD-005
		Suivi d'état de ciments	02/2021	00	ENG-PROD-006
		Suivi d'état de teintes / Adjuvants	02/2021	00	ENG-PROD-007
		Suivi d'état des agrégats	02/2021	00	ENG-PROD-008
		Récapitulatif de production mensuelle	02/2021	00	ENG-PROD-013
		Fiche de calcul CARISTE	02/2021	00	ENG-PROD-014

	Maintenance	Fiche des essais	02/2021	00	FE-PROD-001
		Fiche de contrôle de la sortie presse	02/2021	00	FC-PROD-001
		Fiche de rebut	02/2021	00	ENG-PROD-017
		Fiche de formule	02/2021	00	ENG-PROD-018
	Maintenance	Fiche de moule	02/2021	00	ENG-MAINT-001
		Rapport d'intervention de maintenance	02/2021	00	ENG-MAINT-002
		Planning de la maintenance préventive	02/2021	00	ENG-MAINT-003
		Fiche d'entretien	02/2021	00	ENG-MAINT-004
		Liste de besoin	02/2021	00	ENG-MAINT-005
		Fiche de poste et sécurité	02/2021	00	MO-MAINT-001
TENSYLAND	Production	Récapitulatif de production mensuelle	02/2021	00	ENG-PROD-009
		Suivi d'état de ciments	02/2021	00	ENG-PROD-010
		PV contrôle	02/2021	00	ENG-PROD-011
		Récapitulatif de consommation mensuelle de Fioul	02/2021	00	ENG-PROD-012
		Fiche de contrôle de casse	02/2021	00	ENG-PROD-014
		Fiche de contrôle de fabrication	02/2021	00	ENG-PROD-015
		Rapport de production	02/2021	00	ENG-PROD-016
	Maintenance	Rapport d'intervention de maintenance	02/2021	00	ENG-MAINT-006
		Planning de la maintenance préventive	02/2021	00	ENG-MAINT-007
		Fiche d'entretien	02/2021	00	ENG-MAINT-008

Tableau 58 : La documentation créée pour le service production et maintenance VETCAM.

La plupart de ces documents a été exploité dans la phase de collecte des données et mesures sur laquelle notre projet d'amélioration a été basé dans la phase de mesurer et analyser les données statistiques (ces principaux documents sont accompagnés dans les annexes).

## 1.2 Les croquis des pièces

Une autre sorte de documentation a été établie est celle concernée la création des croquis des pièces mécanique dans le but d'alimenter le service maintenance et le magasin par des croquis des pièces fabriquées en usinage et fabrication mécanique (tournage, fraisage, perçage ...). L'impact d'amélioration de ces croquis se traduit dans la création des dossiers techniques des outils et machine, ainsi qu'éviter le gaspillage de temps d'envoyer la pièce physique à l'atelier de fabrication mécanique pour prendre ses cotations et alors il suffit d'envoyer un croquis de la pièce après la prise précise des cotations et la modéliser sur le logiciel CATIA V5 en générant un croquis de ces pièces.

Les figures 59, 60, 61 et 52 illustrent quelques croquis réalisés.

## Chapitre V : Autres perspectives d'amélioration

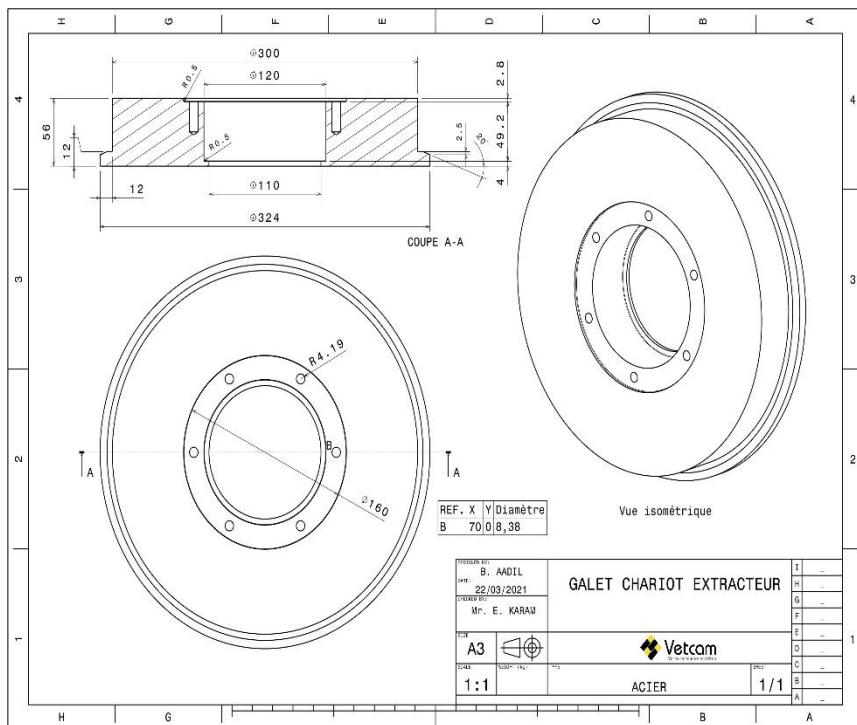


Figure 59 : Croquis du galet du chariot extracteur.

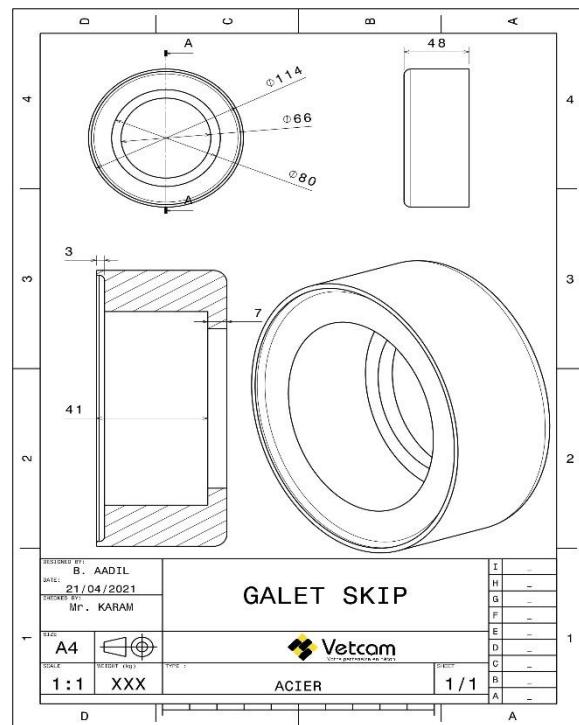


Figure 60 : Croquis du galet de skip.

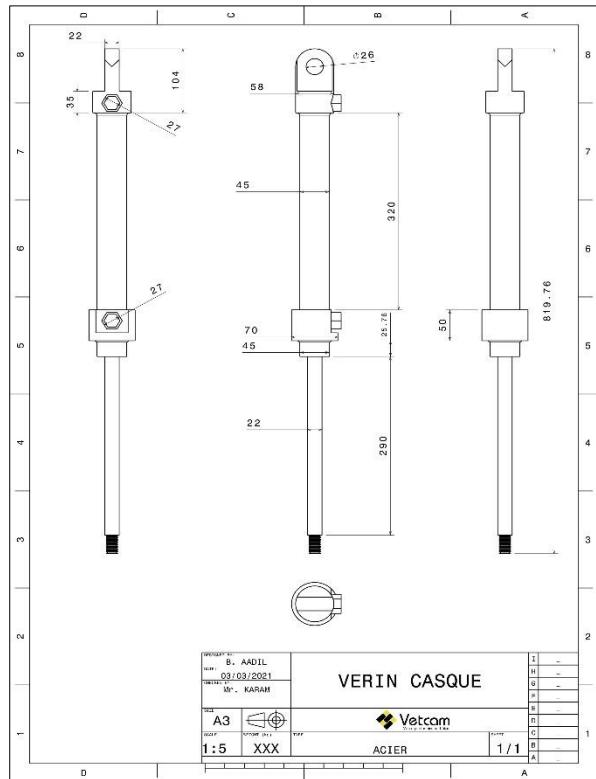


Figure 61 : Croquis du vérin de casque trémie.

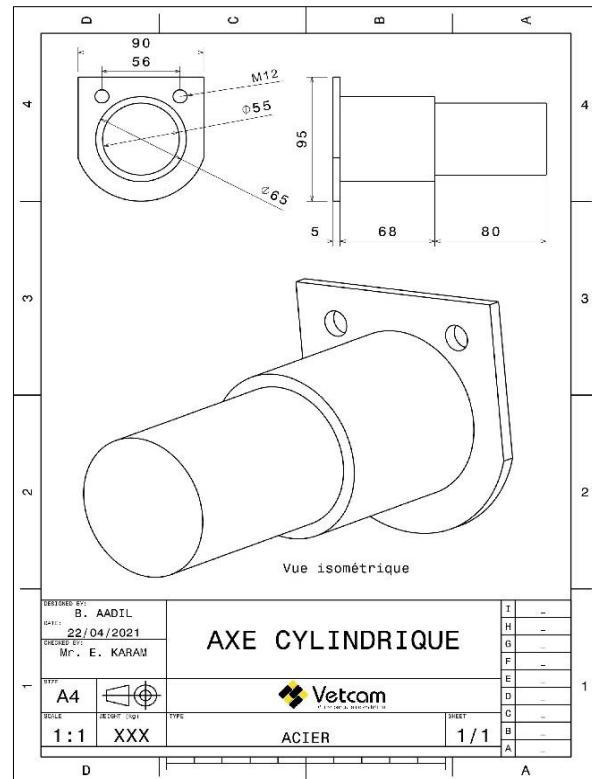


Figure 62 : Croquis d'axe cylindrique.

Ces croquis ont servi aussi pour la réalisation des outils mécanique au sein de l'atelier de chaudronnerie en facilitant la conception des systèmes et l'enregistrement des dimensions.

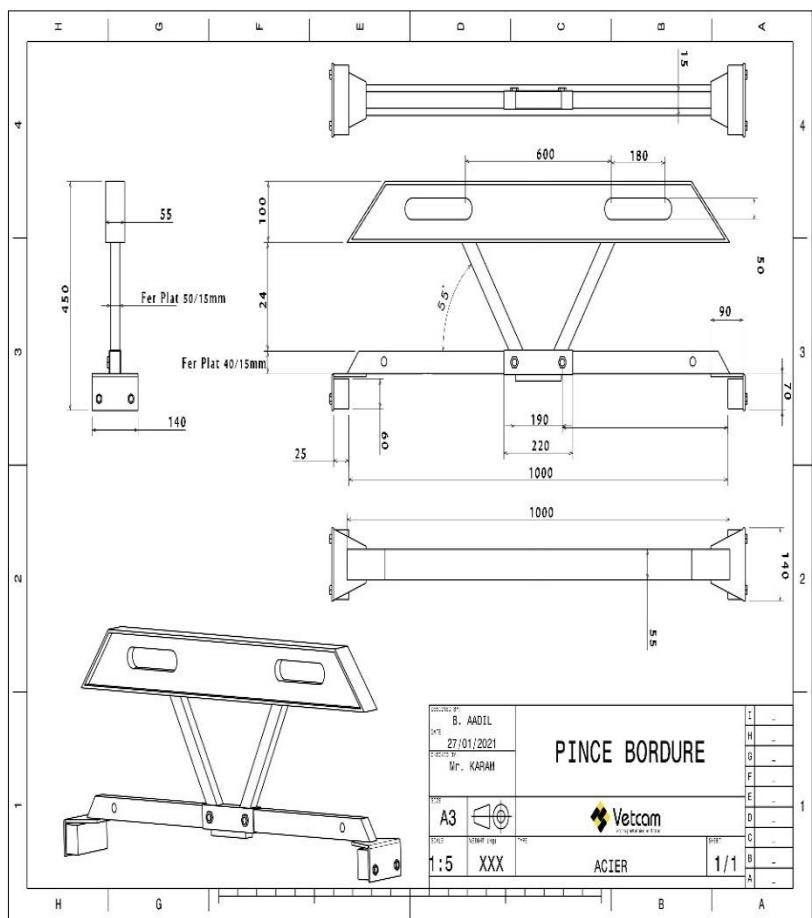


Figure 63 : Croquis de pince de la bordure.

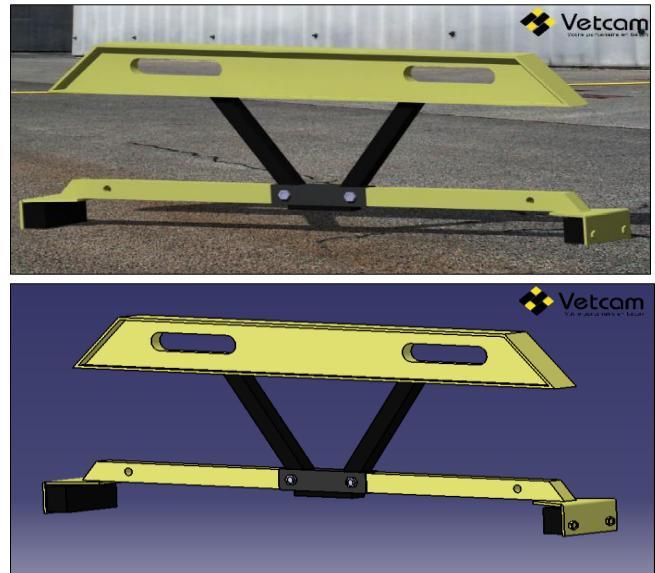


Figure 64 : Vue isométrique de pince de la bordure par CATIA V5.



Figure 65 : Réalisation de la pince de la bordure.

### 1.3 Crédit d'archive

Après la création de tous ces documents et croquis, on a constitué dans ces mois une archive interne dans le service de production toujours dans le cadre de management visuel.



Figure 66 : Archive des documents de service production.

## 2 Codification des pièces de rechange

La codification des pièces de rechange est une étude liée le service production avec maintenance et magasin, c'est un projet à élaborer très prochainement après un diagnostic de l'existant, l'application de la méthode des 5S et préparation du terrain pour la codification des pièces de rechange. Et finalement, on va créer une application à base VBA pour la gestion des pièces de rechange au sein de magasin (son emplacement dans les cases, armoires et les étagères, sa quantité, son état...) et cela sera parmi les premiers pas vers une solution GMAO efficace.

Les pièces de rechange de notre magasin se divisent en famille :

- Mécanique : roulements, glissières, courroies, ressorts ...
- Electrique : résistances, fusibles, disjoncteurs, contacteurs, boutons poussoir, voyant, relais ...
- Pneumatique et hydraulique : vérins, distributeurs, régulateur, électrovanne, débitmètres, manomètre ...
- Capteur : détecteurs, sonde de température, capteur de position, capteur de pression, fin de course
- Electronique : cartes, afficheurs ...

Après on va proposer une codification interne à toutes les pièces de rechange dans l'usine ainsi qu'on va enregistrer pour chaque pièces sa référence externe pour faciliter la passe de commande et le filtre par unité.

Pour donner une idée générale sur cette codification interne, on va diviser l'étude sur :

- Codification des parties des machine par niveaux arborescents :

### **Emplacement\_Machine\_Groupe**

Par exemple : Le groupe hydraulique du chariot transbordeur de la ligne ALPHA

Le code proposé sera : **A CT GHYD 001**

- Codification des pièces de rechange par leur natures et emplacement :

### **Type\_Famille\_Numéro**

(Le numéro se divise en partie de classement ou emplacement et autre de valeur de définition comme une dimension ou puissance...)

Par exemple : Un disjoncteur bipolaire de 50 A

Le code proposé est : **ELC DIS 001 50**

Parmi les objectifs de cette codification est la facilité de déterminer la machine ou l'unité qui consomme plus de pièces de rechange pour intervenir à déceler le problème et le réduire par affecter à chaque fois une pièce sortante du magasin par son code à celle de la machine concernée.

## 3 Système d'extraction ALPHA

Un système d'extraction pour l'unité ALPHA a été recommandé pour mettre fin au plusieurs problème dont la cause principale a été la condensation des gouttelettes d'eau au plafond de la charpente d'unité qui provoque des eaux stagnantes au sol surtout le gonflement de sol du circuit de chariot transbordeur, dégradation des rails et présence de brouillard et alors

le dysfonctionnement de la plaque de détection de laser et alors arrêt de chariot sans oublier la pollution du milieu de travail, l'humidité et le risque de glissade.

Sans système d'extraction	AVEC système d'extraction
<ul style="list-style-type: none"> <li>⌚ Présence de brouillard.</li> <li>⌚ Humidité.</li> <li>⌚ Présence de poussière.</li> <li>⌚ Eau stagnante.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⌚ Eviter le problème de dysfonctionnement de plaque de détection LASER.</li> <li>⌚ Eviter la condensation des gouttelettes d'eau.</li> <li>⌚ Évacuer les pollutions présentes à l'intérieur de l'unité.</li> </ul>

Tableau 59 : L'état avec ou sans le système d'extraction.

Et pour l'installation des ventilateurs qui consiste à éliminer l'air contaminé et à le remplacer par l'air frais. Ce processus permet également de réduire les concentrations de contaminants qui n'auraient pas été éliminés. On a proposé les positions des ventilateurs comme suit :

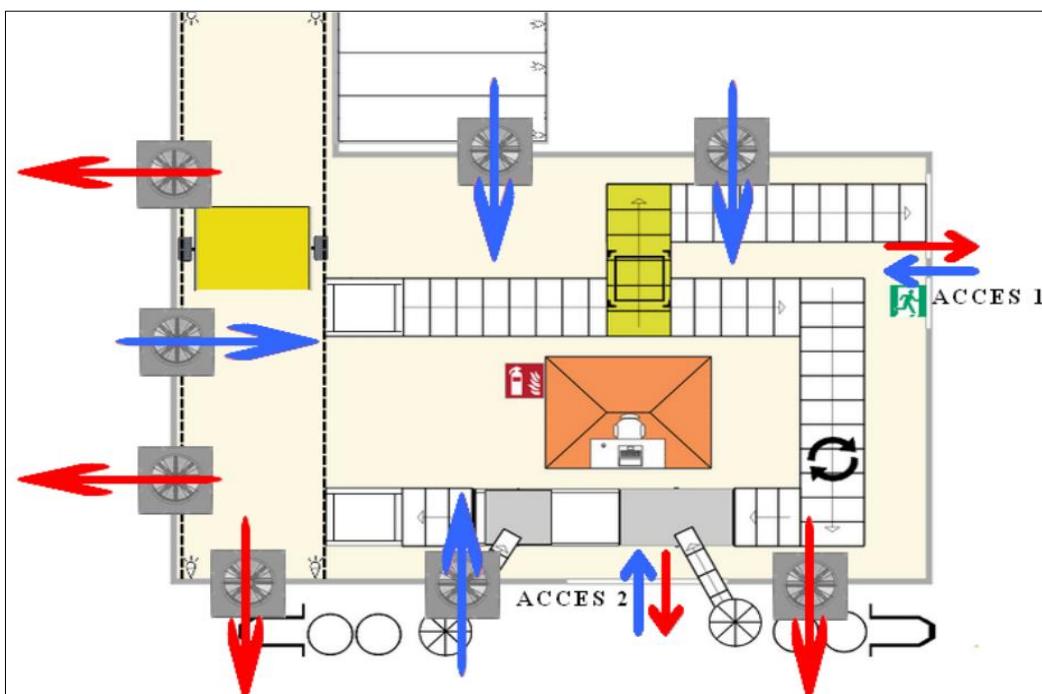


Figure 67 : Les positions des ventilateurs au sein de l'unité ALPHA.

## 4 Le crible à tambour

### 4.1 Pourquoi un crible à tambour ?

Dans le cadre des actions amélioratives de la qualité de produit, un mécanisme a été créé pour des intérêts d'optimisation et d'amélioration après l'apparition des fissures sur la couche de finition des produits finis après séchage. Après une étude et des essais sur la granulométrie, le service de production, avec l'affirmation de laboratoire interne, a constaté que la cause principale de ces fissurations est la granulométrie de sable utilisé n'est pas adéquate avec la formule de fabrication (sable trop fin).

Et pour cela, une solution de tamisage était proposée pour des plusieurs raisons :

- ⌚ L'optimisation en termes de quantité : Grâce à un tamis rotatif, on obtient en tamisant un seul sable en vrac deux aspects de granulats ; Un sable de 0.3 mm passé par les mailles de

tamis au lieu de sable emporté de 0.2 mm qui provoque le problème de fissuration, et des graviers fins exploités dans la fabrication des produits de granite évacués dehors le tambour.

➲ L'optimisation en termes de cout : Le cout de l'aspect adéquat à la formule de fabrication est plus cher par rapport au cout du mélange de sable 0.3-0.5 mm en obtenant deux aspects de granulats après tamisage selon les dimensions des mailles.

➲ L'optimisation en termes de délai de livraison : La carrière dont le sable adéquat à la formule se situe à Skhirat (Région du Rabat, Maroc) sachant que l'autre sable importé à tamiser est fourni par des carrières très proche à l'usine (Région du Guelmim, Sud du Maroc)

➲ L'optimisation en termes de qualité : Grâce au granulométrie spécifique du sable tamisé, une cohésion entre ses grains assure la bonne couche de finition et alors éviter les problèmes d'apparition des fissures qui provoque une augmentation de taux de rebut et retouche et alors l'insatisfaction de client.

## 4.2 Cahier de charge de crible à tambour

La fonction d'un crible à tambour est de tamiser différents matériaux. Plus précisément, il sépare les composants fins des composants plus grossiers d'un mélange en vrac. Grâce à une structure légèrement inclinée supporte un tambour rotatif doté de trous fins. Ce tambour rotatif de forme cylindrique prend alors la fonction de tamis. En tournant, cet élément sépare les composants fins des composants plus grossiers, les premiers traversant le tamis et les seconds étant envoyés à son extrémité. Les deux types de composants peuvent alors être collectés séparément pour un traitement ultérieur.

### 4.2.1 Diagramme A0

On représenter un modèle (image de la réalité) du système réel par le diagramme A0 de SADT (Structured Analysis and Design Technique) présenté dans la figure 68.

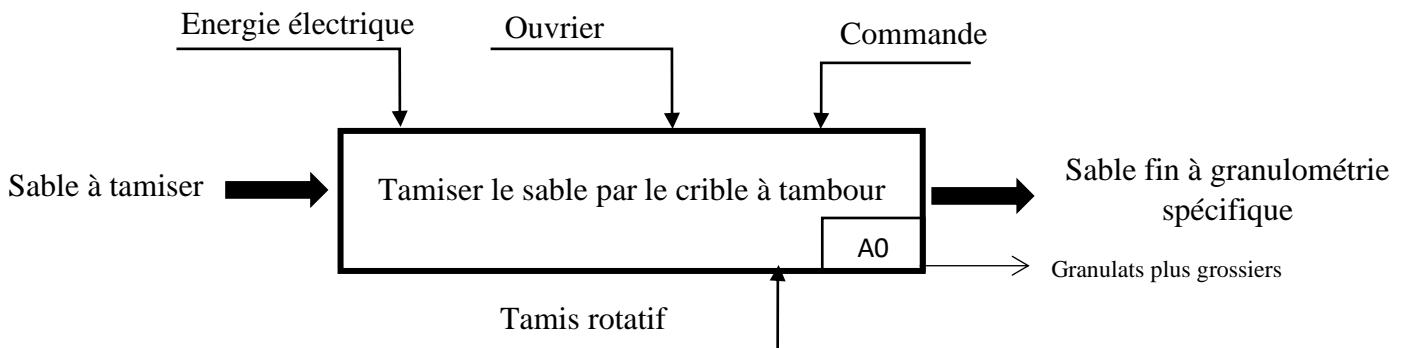
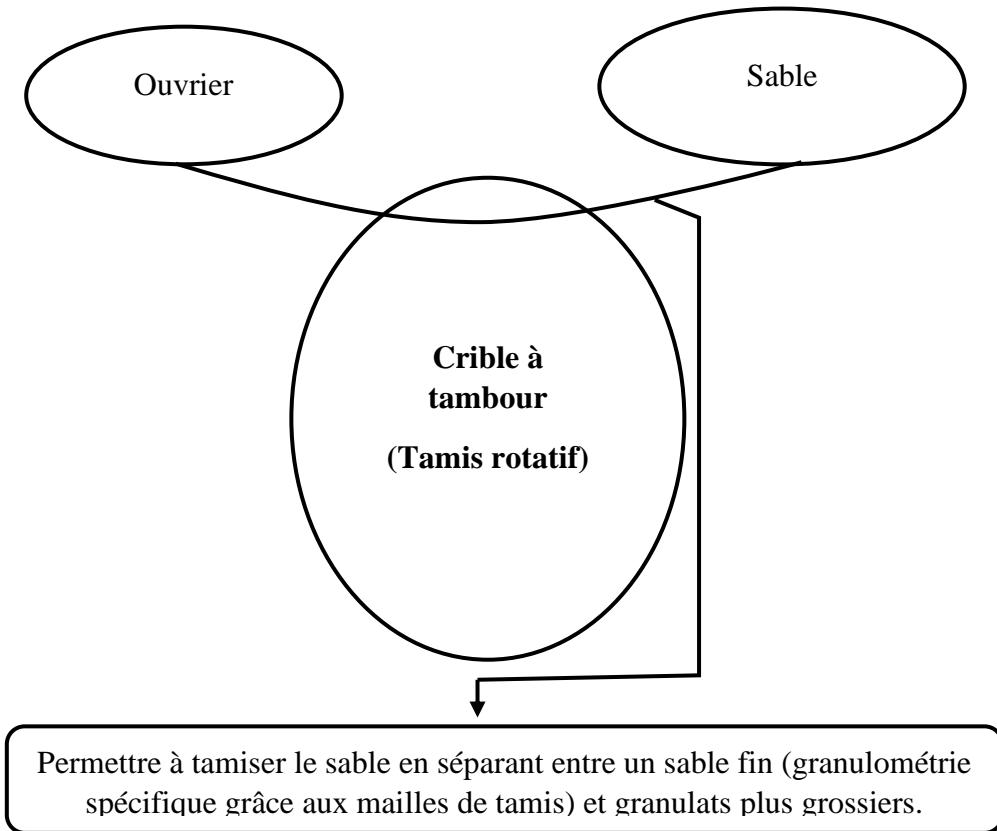


Figure 68 : Diagramme A0 de crible à tambour.

### 4.2.2 Enoncer le besoin

Pour exprimer le besoin, on propose le diagramme de bête à corne présenté dans la figure 69.



*Figure 69 : Le diagramme bête à corne de crible à tambour.*

#### 4.2.3 Valider le besoin

La validation de besoin est une action indispensable pour donner suite à l'initiation du projet d'étude du produit répondant au besoin. On va valider notre besoin à travers la réponse aux questions suivantes :

Pourquoi ce besoin existe-il ?

But : Tamiser le sable en séparant entre un sable fin (granulométrie spécifique grâce aux mailles de tamis) et granulats plus grossiers.

Raison :

- ↳ Obtention de produits de haute qualité.
- ↳ Obtention deux aspects de granulats en une seule et même opération.
- ↳ Economie de cout et délai.

Qu'est-ce qui pourrait le faire évoluer ?

- ↳ La rapidité des processus.
- ↳ La demande des produits de haute qualité.

Qu'est-ce qui pourrait le faire disparaître ?

- ↳ Manque de personnel chargé pour le crible.
- ↳ Rendement faible qui n'assure pas la production journalière.

Conclusion : le besoin à satisfaire est donc validé.

#### 4.2.4 Étude de faisabilité

Pour identifier et classifier les fonctions de ce crible à tambour, le diagramme de pieuvre présenté dans la figure 70 permet de répertorier toutes les fonctions de notre produit.

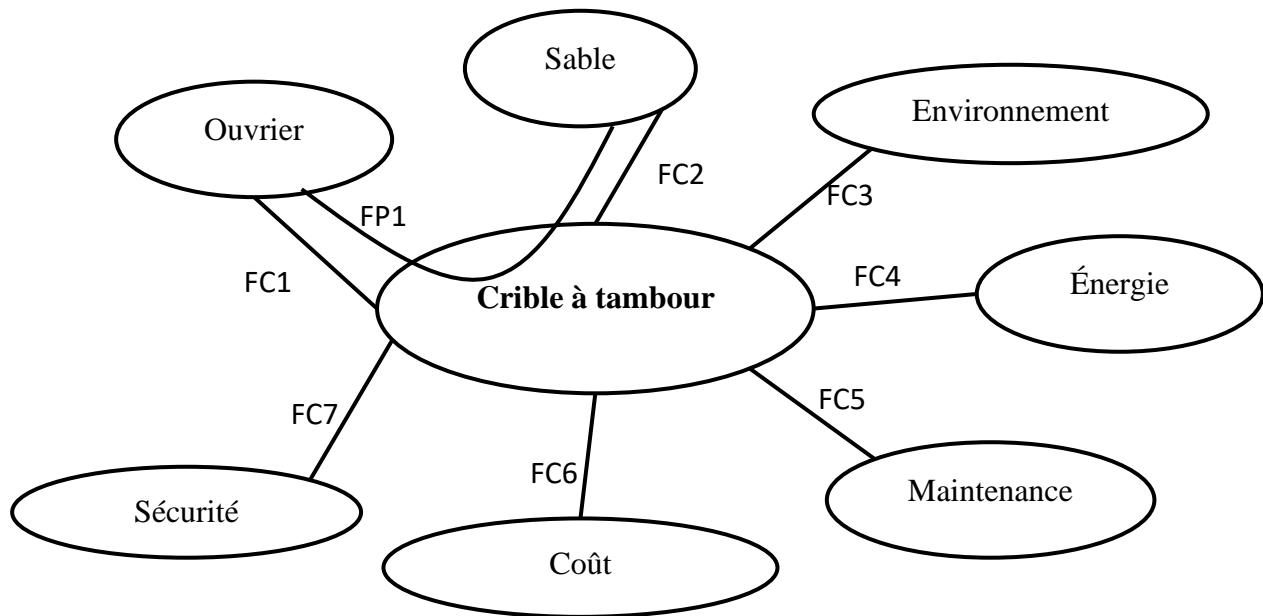


Figure 70 : Le diagramme de pieuvre de crible à tambour.

Le tableau 60 présente les fonctions principales et contraintes.

Fonctions	Désignations
FP1	Tamiser le sable.
FC1	Être facile à manipuler.
FC2	Être compatible avec les mailles de tamis.
FC3	S'adapter à l'environnement.
FC4	S'adapter à l'énergie fournie par le moteur électrique.
FC5	Être maintenable.
FC6	Être peu couteux.
FC7	Assurer la sécurité de l'opérateur et du crible.

Tableau 60 : Les fonctions principales et contraintes.

On pose les critères d'appréciation suivants :

**F0** : non négociable   **F1** : peu négociable   **F2** : négociable   **F3** : très négociable

Fonctions	Critères d'appréciation	Flexibilités
<b>FP1 : Tamiser le sable.</b>	Rendement journalier. Vitesse de rotation.	<b>F0</b>
FC1 : Être facile à manipuler.	Simplicité.	<b>F1</b>
FC2 : Être compatible avec les mailles de tamis.	Granulométrie spécifique.	<b>F0</b>
FC3 : S'adapter à l'environnement.	Humidité. Température.	<b>F2</b>
FC4 : S'adapter à l'énergie fournie par le moteur.	Energie électrique.	<b>F0</b>
FC5 : Être maintenable.	Disponibilité.	<b>F1</b>
FC6 : Être peu couteux.	Cout.	<b>F2</b>
FC7 : Assurer la sécurité de l'opérateur et du crible.	Très sécurisé.	<b>F0</b>

Tableau 61 : Les fonctions et ses critères d'appreciations.

### 4.3 La conception et réalisation de crible à tambour

Pour la composition de ce mécanisme, le tableau 62 résume tous les composants nécessaires pour sa fabrication .

Le composant	La quantité	Caractéristique
Grille de tamisage	3	Dimension de maille selon la granulométrie (0.3mm, 0.4mm et 0.5mm)
Tôle d'acier	2	1m x 2m
Tube carré d'acier	2	1 m
	2	1.1m
	2	0.75m
	2	0.70m
	4	1.30m
Fer plat	8	40x8 mm
Palier à semelle	2	Axe 20mm
Roulement	4	Réf 6201-2RS
Moteur	1	Energie électrique

Tableau 62 : Les composants principaux pour la réalisation de crible à tambour.

Grâce à la modélisation par le logiciel CATIA V5, on a obtenu une préconception de crible en visualisant toutes les vues et créant un croquis qui facilite à l'équipe de chaudronnerie la phase de réalisation par respecter les cotations et les vues.

La figure 71 présente le croquis de notre crible à tambour.

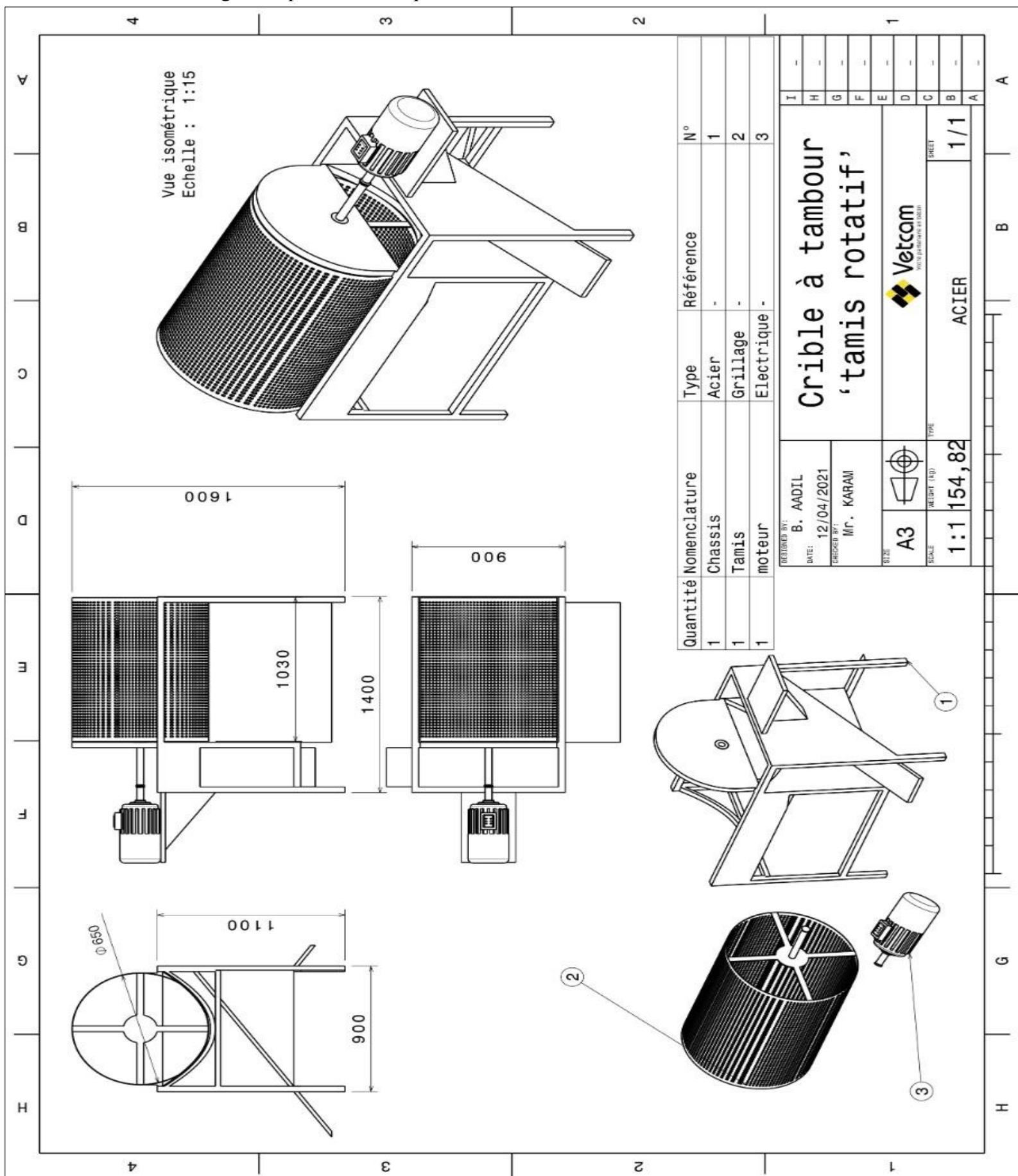


Figure 71 : Croquis de crible à tambour.

Les images de la figure 72 illustrent la préconception de notre crible à tambour.



Figure 72 : Les différentes vues de la conception de crible à tambour par CATIA V5.

Après la réalisation de ce crible par l'équipe de chaudronnerie, un essai de tambour a été effectué pour contrôler son fonctionnement et évaluer son rendement et sa performance. Après 15j d'usage, le crible a assuré le besoin en termes de quantité de sable fin nécessaire pour la production journalière (1.5 tonnes jusqu'au 2 tonnes) avec la granulométrie adéquate et alors la disparition de problème de fissures sur la couche de finition.



Figure 73 : Le crible à tambour.

## Conclusion générale

Dans le cadre de sa stratégie de progression et satisfaction client, VETCAM a lancé des projets d'amélioration dans ses sites de production pour renforcer sa position en tant que leader dans le domaine de « préfabriqué en béton et matériaux de construction » dans toute la zone Sud du Maroc. Pour ce faire, Le département industriel de la société a formé des équipes de travail sur chaque unité en fixant, dans un cahier de charge, des objectifs à atteindre par déploiement des chantiers d'amélioration sur différents termes en se basant sur une analyse profonde.

L'amélioration de la productivité, la disponibilité, la qualité et la performance usine était parmi les priorités de cette stratégie. Afin de proposer des solutions efficaces aux problèmes liés à ces périmètres, un projet a été mené sur l'unité ALPHA de fabrication des pavés, bordures, agglos et hourdis et dans lequel j'ai participé en tant que stagiaire en projet de fin d'études rattaché au service production et maintenance.

Grâce à la complémentarité du ses deux approche et méthode en cumulant ses avantages pour une amélioration optimale des processus, Le Lean Six Sigma est la politique qui convient pour atteindre aux objectifs de notre projet par l'élimination des sources de gaspillages par le Lean Manufacturing qui est une stratégie simple, efficace et qui propose des solutions ne nécessitant pas de lourds investissements et en exploitant la structure solide et sa performance de Six Sigma pour réduire les dispersions et les variations et s'approcher vers la cible, et la bonne gestion de projet par DMAIC quand il s'agit des données chiffrées qui est le cas pour ce projet.

La phase DEFINIR a été consacrée pour la définition de notre cadre du projet, en annonçant la problématique et la détailler par l'outils QOQCPC ainsi que déterminer le périmètre du projet en productivité et la performance de la ligne de production ALPHA, après on a défini les indicateurs de performance de production et maintenance qu'on va mesurer dans l'état initial pour bien décrire le processus de fabrication défini par l'outil SIPOC, et on a élaboré notre charte de projet suivie par une analyse SWOT pour identifier les forces, les faiblesses, les opportunités et les menaces du projet. Et à la fin de l'étape, un planning de déroulement de notre projet a été présenté sous forme de diagramme de Gantt pour planifier les tâches du projet et estimer leurs durées respectives.

Dans la phase MESURER, on a réalisé une cartographie VSM en calculant le lead time, taux de valeur ajoutée et le Takt time pour déterminer le volume de gaspillages présents dans la ligne. Dans ce sens, on a commencé à mesurer les indicateurs des performances de l'état initial, après la collecte des données de 3 premiers mois du notre projet vu le manque d'historique et traçabilité des mois précédents donc on a proposé des fiches à remplir dans le cadre de la génération de la documentation de service production et maintenance pour faciliter la collecte des données, en calculant la capacité maximale de la machine vibro-presse ALPHA et le taux d'utilisation de cette capacité. L'indicateur utilisé mesurant la performance, la disponibilité et la qualité de la ligne est le taux de rendement synthétique TRS ainsi que le TRG qui prend en compte toutes les composantes de la production et alors en améliorant le TRS, tous ces indicateurs s'améliorent proportionnellement. Et en termes d'avoir des indicateurs sur la maintenance et efficience, on a calculé le MTBF et le MTTR ainsi que le taux de productivité et le taux de rebut.

La phase ANALYSER consiste à analyser les données collectées par la phase précédente en interprétant le VSM qui nous précise le poste influant sur la productivité et qui

était la vibro-presse ALPHA. Ensuite, on a fait un brainstorming avec l'équipe du projet pour déterminer les causes qui pourraient provoquer ces gaspillages et on a les classifier par les 5M de diagramme d'Ishikawa en déterminant par la matrice des votes pondérés les causes majeures à traiter par un ordre de priorité. Parmi ces causes, l'augmentation des temps d'arrêts dans la ligne ALPHA consiste un véritable obstacle à une productivité performante, et alors on a classifié selon un diagramme Pareto tous les temps d'arrêts collectés pour déterminer la classe de 20% des causes majeures, les traiter pour avoir le maximum des bénéfices de temps, et pour déterminer les causes racines de ces causes majeures on a adopté l'outils 5P. Enfin, on a analysé le chariot transbordeur séparément par la grille AMDEC pour déterminer ses composants critiques.

Après collecte des données et analyse des causes, la phase INNOVER est dédiée à présenter le plan d'action et classifier par la matrice gains-efforts la priorité de la mise en place. Des actions diverses ont été mises en place telles que le SMED et les 5S qui ont un impact d'amélioration sur le temps de changement de moule avec un gain de temps de **18 min** et la création d'un mini stock des pièces de rechange près de l'unité pour éliminer les déplacement inutiles, ainsi que la TPM avec ses piliers qui a traité le problème fréquent des pannes majeurs par la mise en place immédiate des actions correctives sur les machines de la ligne ALPHA ainsi que l'élaboration d'un plan de maintenance préventive et programme d'entretien pour mettre la première pierre de la GMAO, et d'autres actions appartient au pilier de qualité, sécurité et environnement. Enfin, une politique du management visuel a été intégrée par l'identification des moules dans leur étagères, l'étiquetage des tiroirs, des boîtes de rangement et les palettes des produits finis et l'élaboration d'un tableau d'affichage pour la gestion de production et maintenance au sein de l'unité.

Pour la phase CONTROLER, on a recalculé tous les indicateurs de performance afin de déterminer l'impact de ces actions amélioratives et préciser leur valeur ajoutée en termes de gain tangible estimé en **12232 planches** produites de plus avec un **+9%** de taux d'utilisation de la capacité et un taux de productivité important qui est fixé en **130 planches/heure** et améliorer le TRS qui tend vers **80%** et atteindre la cible de taux de rebut par la valeur **0.52%** ainsi que des actions de contrôle diverses ont été mises en place telles que des audits de 5S pour contrôler le maintien de ses standards ainsi que l'élaboration de la maîtrise statique des procédés MSP par des cartes de contrôle et l'analyse de capabilité machine afin d'éviter la dispersion en termes de qualité des produits et leur conformité.

D'autres actions d'amélioration ont été mises en perspective, dont la génération de la documentation, la constitution d'archive et la codification des pièces de rechange avaient un gain intangible. Ainsi que la proposition d'implémenter un système d'extraction pour l'unité ALPHA. Et enfin, un crible à tambour a été créé pour des intérêts d'optimisation de la matière et l'amélioration de la qualité des produits.

## Bibliographie et Webographie

### Livres :

- [3] L. Jeffrey, *Le modèle Toyota : 14 principes qui feront la réussite de votre entreprise*. Paris: Pearson Education France, 2006, 418 pages.
- [5] M. PILLE, C. MARTIN-BONNEFOUS, P. BONNEFOUS, A. COURTOIS, *Gestion de production : les fondamentaux et les bonnes pratiques*. ISBN 2212549776, Paris : Eyrolles, 2012, 522 pages.
- [6] F. BLONDEL, *Gestion de la production : comprendre les logiques de gestion industrielle pour agir*. ISBN 210049192X, Paris : Dunod, 2002, 432 pages.
- [8] B. LYONNET, *Lean management : Méthodes et exercices*. ISBN 2100720805, Paris : Dunod, 2015, 242 pages.
- [14] M. PILLET, *Six Sigma comment l'appliquer*. ISBN 2212557108, Paris : Eyrolles, 2013, 448 pages.

### Sites Web :

- [1] R. CHRISTOPHE, Le Lean Manufacturing. Site disponible sur <http://leleanmanufacturing.com/>.
- [2] A. PETITQUEUX, Implementation Lean : application industrielle. : Techniques de l'ingénieur. Site disponible sur : <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/archives-th12/archives-logistique-tiagl/archive-1/implementation-lean-application-industrielle-ag5195/>.
- [4] ATILF. Ressources grand public. Site disponible sur : [http://web.atilf.fr/ressources/grand\\_public/mots-cnam/expo\\_fdls2008/mots/tlfis/standard.htm](http://web.atilf.fr/ressources/grand_public/mots-cnam/expo_fdls2008/mots/tlfis/standard.htm).
- [7] R. Peycheva, TPM et maintenance industrielle, 14 décembre 2018. Site disponible sur : <https://mobility-work.com/fr/blog/optimiser-maintenance-industrielle-tpm>.
- [9] Y. MESSAOUD Affaf. Méthodes de supply chain ISMAG. Jidoka. Site disponible sur : <http://methodes-supply-chain-ismag.blogspot.com>.
- [10] Lean Six Sigma France. Muda, Muri, Mura pour éliminer le gaspillage. Site disponible sur : <http://leansixsigmafrance.com/blog/muda-muri-mura-pour-eliminer-legaspillage>.
- [11] Excellence Opérationnelle. Les 17 fiches outils du Lean Manager. Site disponible sur : <http://www.excellence-operationnelle.tv/les-17-fiches-outils-du-leanmanager/>.
- [12] A. FERNANDEZ, BPMS, Six Sigma : de la démarche qualité au management centré client. Site disponible sur : <http://www.bpms.info/six-sigma-de-la-demarchequalite-au-management-centre-client/>.
- [15] HOHMANN Christian, DMAIC. Site disponible sur : <http://christian.hohmann.free.fr/index.php/six-sigma/six-sigma-les-basiques/168-dmaic>.
- [16] Itmanagementafrica, Le lean six sigma. Site disponible sur : <https://itmanagementinafrica.wordpress.com/2015/05/04/le-lean-six-sigma/>.
- [17] A. FERNANDEZ, Piloter la performance. Le Lean Six Sigma. Site disponible sur : <http://www.piloter.org/six-sigma/lean-six-sigma.htm>.

[18] L. GRANGER, Résolution de problèmes : démarche et outils. Site disponible sur : <https://www.manager-go.com/gestion-de-projet/resolution-de-problemes.htm>.

[19] C. COUDRE, Les indicateurs de performance. Site disponible sur : <http://tpmattitude.fr/indic.html>.

[20] DANIEL, Le SIPOC, explications, exemples et modèles. Site disponible sur : <https://blog-gestion-de-projet.com/sipoc/>.

[21] L'équipe de Manager GO, Concevoir une stratégie : l'analyse SWOT. Site disponible sur : <https://www.manager-go.com/strategie-entreprise/dossiers-methodes/diagnostic-strategique-swot>.

[22] HOHMANN Christian. VSM, la cartographie des flux. Site disponible sur : <http://christian.hohmann.free.fr/index.php/lean-entreprise/la-boite-a-outils-lean/243-vsm-la-cartographie-des-flux>.

[23] HOHMANN Christian. TRS, indicateur clé. Site disponible sur : <http://christian.hohmann.free.fr/index.php/lean-entreprise/la-boite-a-outils-lean/60trs-indicateur-cle>.

[24] L'équipe Jackadit, Introduction au concept FMD : Fiabilité - Maintenabilité - Disponibilité. Site disponible sur : <http://jackadit.com/index.php?page=indus3>.

[25] J. CICERO, Outils et méthodes, AMDEC : mode d'emploi. Site disponible sur : <https://qualiblog.fr/outils-et-methodes/amdec-mode-demploi/>.

[26] Blue Lean Consulting, La maîtrise statistique des procédés et les cartes de contrôle. Site disponible sur : [https://www.bluelean.fr/blog/outils-6-sigma/la-maitrise-statistique-des-procedures-et-les-cartes-de-controle.html](https://www.bluelean.fr/blog/outils-6-sigma/la-maitrise-statistique-des-procedes-et-les-cartes-de-controle.html).

[27] S. NICOLAS, Analyse de capabilité. Site disponible sur : <http://sn1.chez-alice.fr/calculs/capa/capabilite.html>.

<https://vetcam.org>.

<https://www.prensoland.com/fr/>.

### **Thèses et PFE :**

[13] M. BELANGER, Apport de la simulation comme outil de déploiement de la méthode «Design for Lean Six Sigma ». Thèse Université du Québec à Trois-Rivières, 2015.

E. LESEURE – ZAJKOWSKA. Contribution à l'implantation de la méthode Lean Six Sigma dans les Petites et Moyennes Entreprises pour l'amélioration des processus. Thèse Ecole Centrale de Lille, 2012.

M. BELGRAND, 2013. Application de la méthode DMAIC à l'amélioration du rendement de fabrication d'un comprimé bicouche. Thèse. Université de Nantes.

### **Cours et certifications :**

Pr. A. MEDDAOUI, Cours Lean Manufacturing, CI-3, ENSAM Casablanca.

Pr. A. RASSIL, Cours Pilotage de la performance, CI-3, ENSAM Casablanca.

Pr. M. HAIN, Cours E-logistics Flexim, CI-3, ENSAM Casablanca.

Pr A. Jrifi, Cours Outils de la qualité et Cours MSP, CI-2, ENSAM Casablanca.

S. Brown, Cours les fondements du Lean Six Sigma, LinkedIn Learning.

Lean Six Sigma White Belt, DDMRP Morocco, ID WB029 Délivré en Janvier 2021.

## Annexes

- Annexe 1 : Fiche de relevé des temps d'arrêts.
- Annexe 2 : Rapport de production.
- Annexe 3 : Fiche de suivi de production journalière et calcul de TRS.
- Annexe 4 : Récapitulatif mensuel.
- Annexe 5 : Rapport d'intervention de maintenance.
- Annexe 6 : Fiche de contrôle de la sortie presse.
- Annexe 7 : Fiche de calcul des pièces non conformes (La casse).
- Annexe 8 : Fiche de calcul des palettes sortantes.
- Annexe 9 : Calcul du taux de rebut.
- Annexe 10 : Rapport d'intervention de la panne de système vibration.
- Annexe 11 : Fiche de poste de sortie presse.
- Annexe 12 : Plan d'évacuation d'usine.
- Annexe 13 : Fiche de formule de fabrication.
- Annexe 14 : Les données de la carte de contrôle MSP.

Annexe 1 : Fiche de relevé des temps d'arrêts.

 <b>Vetcam</b> Votre partenaire en béton		Service Production			Dépôt : VETCAM									
		FICHE DE RELEVE DES TEMPS D'ARRETS												
		Edition : 01/2021		Version : 00		Réf : ENG-PROD-002		Unité : ALPHA						
		DATE :												
N° MOULE	NOM DE MOULE	COULEUR	OPERATEUR	POSTE	T cycle réel	TOTAL PLANCHES	PLANCHES VIDÉES	PLANCHES NON CONFORMES						
Heure	Nombre de planches	Malaxeur Monocouche	Malaxeur Finition	Presse ALPHA	Sortie Presse + Ascenseur	Transbordeur	Descenseur + convoyeur	Prise paletteuse	Dispositif d'alimentation	Sortie de palettes	Temps d'arrêt	Observation		
07h-08h														
08h-09h														
09h-10h														
10h-11h														
11h-12h														
12h-13h														
13h-14h														
14h-15h														
15h-16h														
16h-17h														
17h-18h														
18h-19h														

Exemple rempli : Fiche de relevé des temps d'arrêts.

Service Production										Dépôt : VETCAM		
FICHE DE RELEVE DES TEMPS D'ARRETS												
Edition : 01/2021					Version .00			Réf : ENG-PROD-002		Unité : ALPHA		
DATE : 12 - 04 - 2021												
N° MOULE	NOM DE MOULE	COULEUR	OPERATEUR	POSTE	T <sub>cycle</sub> réel	TOTAL PLANCHES	PLANCHES VIDÉS	PLANCHES NON CONFORMES				
18	20x40x6	Gris	ATANANE	4	26 s	1438	1	2				
Heure	Nombre de planches	Miseur Monocouche	Miseur Fixion	Presse ALPHA	Sortie Presse + Acheminat	Transbordeur	Distributeur + Conveyeur	Pince pulisseur	Dispositif d'alimentation	Sortie de palettes	Temps d'arrêt	Observation
07h-08h	20		X								51 min	change ment de moule
08h-09h	120											
09h-10h	145											
10h-11h	150											
11h-12h	115										10 min	change ment des marchosse de place.
12h-13h	110											
13h-14h	115											
14h-15h	130											
15h-16h	144											
16h-17h	154											
17h-18h	155											
18h-19h	0										60 min	Nettoyage fin de poste



## RAPPORT DE PRODUCTION

Nº Moule	Nom Moule	Couleur	Pièces_Planche	Opérateur	Poste	Date
Heure de début	Heure de fin	Planches	Produits	T. Auto.	T. Manuel	T. Ciclo Auto
h/m	h/m	uni	uni	h/m	h/m	s/d

### Subreport consom central à béton\_B

	Dosage	Théorique	Réel	Dév. %
Ciment 1				
Ciment 2				
T - 1				
T - 2				
T - 3				
T - 4				
T - 5				
Colorant 1				
Colorant 2				
Additif 1				
Additif 2				
Eau				
Rel. Eau/Ciment				
Nº Gâchées				

### Subreport consom central à béton\_G

	Dosage	Théorique	Réel	Dév. %
Ciment 1				
Ciment 2				
T - 1				
T - 2				
T - 3				
T - 4				
T - 5				
Colorant 1				
Colorant 2				
Additif 1				
Additif 2				
Eau				
Rel. Eau/Ciment				
Nº Gâchées				

Poid Piece:

### Subreport Palettiseur

Nº Moule	Nom Moule	Couleur	Heure de début	Heure de fin	hauteurs pour palet	Produits pour planche	Palettes	Produits

Annexe 3 : Fiche de suivi de production journalière et calcul de TRS.

 <b>Vetcam</b> Votre partenaire en béton		SUIVI DE PRODUCTION ET CALCUL DU TRS			N° de suivi : Unité : ALPHA Service : Production Date : 26/02/2021
		POSTE 1	POST 2	POST 3	
<b>Opérateur</b>		Mr. MOHAMED	Mr. BRAHIM	Mr. FARID	
Poste		4	5	3	
Nom de moule		HOURDIS 12	PAVE 2T 6	PAVE 2T 6	
N° moule		84	87	87	
Couleur		GRIS	GRIS	GRIS	
Pièces par planche		16	30	30	
Nbr planches produit		992	875	914	
<b>Heure de début</b>		23:00	7:00	15:00	
Heure de fin		7:00	15:00	23:00	
Temps d'ouverture (min)		480	480	480	1440
Arrêts planifiés (min)		48	60	60	168
Temps requis (min)		432	420	420	1272
Arrêts non planifiés (min)		15	50	34	99
Temps de fonctionnement (min)		417	370	386	1173
Taux de fonctionnement brut		87%	77%	80%	81%
Taux de fonctionnement net		99%	97%	97%	97%
<b>Temps cycle théorique (s)</b>		22,00	22,00	22,00	
Temps cycle réel (s)		25,00	24,50	24,50	
Production/h		143	142	142	142
Perte de vitesse		-14%	-11%	-11%	-12%
Rendement vitesse		88%	90%	90%	89%
Planches non conformes		8	7	2	17
<b>Taux de disponibilité %</b>		87,65%	79,83%	91,90%	86,46%
Taux de performance %		87,23%	86,71%	89,80%	87,91%
Taux de qualité %		99,19%	99,20%	99,78%	99,39%
TRS %		75,83%	68,66%	82,35%	75,61%
TRG %		68,25%	60,08%	72,05%	66,79%
<b>Arrêts planifiés (min)</b>	Nettoyage planifié			60	60
	Maintenance planifiée			0	0
	Poste non planifié			0	0
	Changement de moule selon planning	48	60	0	108
	Jour férié / non travaillé			0	0
	Rupture de jeune / Shor			0	0
<b>Arrêts non planifiés (min)</b>	Essais				
	Réglage machine				0
	Contrôle produit				0
	Changement de moule non planifié				0
	Manque de MP				0
	Changement machoire pince				8
	Nettoyage non planifié				0
	Maintenance non planifiée				0
	Coupure Courant				0
	Triage				0
	Problème qualité production				0
	Rupture de MP				0
	Problème Qualité MP				0
	Panne de la chargeuse de MP				0
	Manque Planche				0
	Coincement planche				0
	Manque Palette				0
	Palette cassée				0
	Etuve saturée				0
	Parc PF saturé				0
	Panne/Manque chariot élévateur				0
	Accident				0
	Panne Ascenseur/Descenseur				0
	Panne Pince				28
	Panne Table Vibrante				0
	Panne Trémie				0
	Panne Convoyeur				10
	Panne Malaxeur				14
	Panne Skip				0
	Panne Transbordeur				0
	Arret Transbordeur	15			15
	Panne Poussse Planche				0
	Panne tiroir				0
	Panne verin pilon				24
	Panne transporteur palettes				0
	Panne verin moule				0
	Vis silo				0
	Panne trémies presse				0
	Panne agitateur				0
	Panne cercleuse				0
	Panne pignon				0
	Changement de la brosse				0
	Panne pompe d'adjuvant ou d'eau				0
	Arret compresseur				0
					<b>Total</b>
					2781

Annexe 4 : Récapitulatif mensuel. (Exemple de Février 2021)

Service Production		Dépôt : VIETCAM	
<b>Récapitulatif de production mensuelle</b>			
Edition : 02/2021	Version : 00	Réf : ENG-PROD-013	Unité : ALPHA
Votre partenaire en métal		Vetcam	

Jours	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	TOTAL		
Nbr planches produit	2391	982	392	2796	2305	2707	929	1521	2137	3164	2904	2013	1183	2476	3065	1765	1675	3138	3224	3362	2365	2361	1561	2487	2302	2781	2652	2422	65855	
Temps d'ouverture (min)	1440	1440	1440	1440	1440	1440	1440	1440	1440	1440	1440	1440	1440	1440	1440	1440	1440	1440	1440	1440	1440	1440	1440	1440	1440	1440	1440	40320		
Arrêts planifiés (min)	60	60	120	120	0	120	1462	0	110	52	60	81	733	60	60	0	60	60	120	60	110	531	60	60	40	168	0	120	4487	
Temps requis (min)	1309	1376	1308	1301	1430	1311	425	970	1258	1383	1366	1326	653	1069	1732	1386	1349	1372	1306	1362	975	1098	1394	1241	1393	1272	1398	1222	34985	
Arrêts non planifiés (min)	432	581	93	159	296	134	11	288	294	168	178	221	122	101	144	450	474	106	37	77	121	135	140	222	131	99	226	159	559	
Temps de fonctionnement (min)	948	799	1227	1161	1144	1186	33	1152	1220	1202	1138	585	1279	1236	990	906	1274	1283	1303	1209	774	1240	1158	1269	1173	124	161	30234		
Production h	174	50	159	146	118	138	45	89	130	155	147	78	86	102	118	114	118	149	152	157	108	98	76	148	108	142	136	139		
Planches non conformes/vérées	9	16	11	13	19	19	22	17	10	14	11	13	18	13	12	18	15	13	13	15	16	9	15	10	17	13	8	397		
Taux de disponibilité %	69,17%	59,42%	92,73%	87,99%	79,26%	89,89%	32,47%	70,51%	76,60%	87,57%	86,96%	86,09%	54,17%	90,97%	92,33%	66,37%	64,89%	92,50%	97,23%	93,86%	87,22%	59,05%	89,77%	81,90%	90,70%	86,46%	81,20%	85,91%	79,76%	
Taux de performance %	98,69%	55,25%	97,50%	95,30%	93,10%	98,40%	32,41%	97,56%	90,20%	97,39%	93,88%	93,21%	62,15%	97,95%	84,78%	90,71%	89,05%	94,75%	97,02%	97,63%	97,30%	65,37%	89,24%	99,60%	90,40%	87,91%	91,70%	97,86%	88,44%	99,29%
Taux de qualité %	99,62%	98,37%	99,66%	99,54%	99,18%	99,30%	97,63%	98,88%	99,53%	99,62%	99,56%	99,35%	98,48%	99,27%	99,58%	99,32%	98,93%	99,52%	99,60%	99,61%	99,37%	99,32%	99,42%	99,40%	99,57%	99,39%	99,51%	99,67%	99,29%	
TRS %	67,79%	49,28%	89,86%	83,57%	73,40%	88,07%	31,51%	68,66%	69,19%	84,91%	81,26%	79,83%	50,08%	88,75%	78,55%	59,32%	57,24%	87,55%	93,99%	91,25%	84,29%	57,67%	79,51%	81,32%	81,71%	75,61%	74,32%	83,82%	74,73%	
TRG %	63,13%	45,51%	81,79%	76,29%	73,40%	80,61%	27,61%	68,66%	63,01%	81,77%	73,33%	44,85%	84,76%	75,84%	59,32%	54,48%	83,59%	86,03%	87,51%	75,74%	55,28%	75,90%	78,04%	79,37%	66,79%	74,32%	77,24%	70,42%		

 <b>Vetcam</b> Votre partenaire en béton	Service Maintenance	Dépôt : VETCAM
	<b>FICHE D'INTERVENTION DE MAINTENANCE</b>	
Edition : 02/2021	Version : 00	Réf : ENG-MAINT-002
		Unité : ALPHA

Unité : ALPHA	Demandeur :	Date demande :
Système :	Intervenant :	Date intervention. :
Encadrant d'intervention :	Temps d'intervention :	Temps d'arrêt machine :

PIECES FOURNIES OU ECHANGEES					
N°	QTE	Désignation	Fabricant	Ref. ou S/N	Remarque

DESCRIPTION DE PROBLEME	SOLUTION

TYPE DE MAINTENANCE	OPERATION	CAUSE DE DEFAILLANCE
<input type="checkbox"/> Corrective <input type="checkbox"/> Préventive	<input type="checkbox"/> Remplacement <input type="checkbox"/> Réglage <input type="checkbox"/> Nettoyage <input type="checkbox"/> Diagnostic <input type="checkbox"/> Amélioration <input type="checkbox"/> Contrôle	<input type="checkbox"/> Usure normale <input type="checkbox"/> Défaut utilisateur <input type="checkbox"/> Défaut maintenance <input type="checkbox"/> Défaut conception <input type="checkbox"/> Défaut environnement <input type="checkbox"/> Défaut produit <input type="checkbox"/> Problème électrique <input type="checkbox"/> Problème auto <input type="checkbox"/> Problème mécanique <input type="checkbox"/> Problème hydraulique <input type="checkbox"/> Problème soudage <input type="checkbox"/> Problème thermique <input type="checkbox"/> Autre .....

Annexe 6 : Fiche de contrôle de la sortie presse.

 <b>Vetcam</b> Votre partenaire en béton	Service Production			Dépôt : VETCAM		
	<b>Fiche contrôle de la sortie presse</b>					
	Edition : 02/2021		Version : 00		Réf : FC-PROD-001	
					Unité : ALPHA	

Date :				Nom d'opérateur :					
Heure	Produit	Couleur	Hauteur nominale	Hauteur réelle après contrôle			✓ X	Nombre de planches non conforme	Nombre de planches vides
				1er contrôle	2eme contrôle Après 20 min	3eme contrôle Après 20 min			
07h-08h									
08h-09h									
09h-10h									
10h-11h									
11h-12h									
12h-13h									
13h-14h									
14h-15h									
15h-16h									
16h-17h									
17h-18h									
18h-19h									

Date :				Nom d'opérateur :					
Heure	Produit	Couleur	Hauteur nominale	Hauteur réelle après contrôle			✓ X	Nombre de planches non conforme	Nombre de planches vides
				1er contrôle	2eme contrôle Après 20 min	3eme contrôle Après 20 min			
19h-20h									
20h-21h									
21h-22h									
22h-23h									
23h-00h									
00h-01h									
01h-02h									
02h-03h									
03h-04h									
04h-05h									
05h-06h									
06h-07h									

Exemple rempli : Fiche de contrôle de la sortie presse.

 <b>Vetcam</b> Votre partenaire en béton	Service Production			Dépôt : VETCAM		
	Fiche contrôle de la sortie presse					
	Edition : 02/2021	Version : 00	Réf : FC-PROD-001		Unité : ALPHA	

Date : <b>06 - 06 - 2021</b>	Nom d'opérateur : <b>BRAHIM</b>				
------------------------------	---------------------------------	--	--	--	--

Heure	Produit	Couleur	Hauteur nominale	Hauteur réelle après contrôle			✓ X	Nombre de planches non conforme	Nombre de planches vides
				1er contrôle	2eme contrôle Après 20 min	3eme contrôle Après 20 min			
07h-08h	T3 BIC	GRIS	280 MM	286	284	285	✓	0	0
08h-09h	T3 BIC	GRIS	280 MM	283	283	282	✓	0	0
09h-10h	T3 BIC	GRIS	280 MM	282	282	280	✓	0	1
10h-11h	T3 BIC	GRIS	280 MM	283	282	282	✓	0	0
11h-12h	T3 BIC	GRIS	280 MM	283	283	284	✓	0	0
12h-13h	T3 BIC	GRIS	280 MM	283	282	283	✓	0	0
13h-14h	T3 BIC	GRIS	280 MM	283	283	283	✓	0	0
14h-15h	T3 BIC	GRIS	280 MM	282	283	284	✓	0	0
15h-16h	T3 BIC	GRIS	280 MM	284	283	283	✓	0	0
16h-17h	T3 BIC	GRIS	280 MM	284	283	284	✓	0	0
17h-18h	T3 BIC	GRIS	280 MM	283	283	284	✓	0	2
18h-19h	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Date :	Nom d'opérateur :				
--------	-------------------	--	--	--	--

Heure	Produit	Couleur	Hauteur nominale	Hauteur réelle après contrôle			✓ X	Nombre de planches non conforme	Nombre de planches vides
				1er contrôle	2eme contrôle Après 20 min	3eme contrôle Après 20 min			
19h-20h									
20h-21h	T3	GRIS	280 MM	285	284	284	✓	0	1
21h-22h	T3	GRIS	280 MM	286	285	283	✓	0	0
22h-23h	T3	GRIS	280 MM	284	285	284	✓	0	0
23h-00h	T3	GRIS	280 MM	284	283	284	✓	0	1
00h-01h	T3	GRIS	280 MM	285	282	283	✓	0	2
01h-02h	T3	GRIS	280 MM	286	285	284	✓	0	1
02h-03h	T3	GRIS	280 MM	283	280	283	✓	0	0
03h-04h	T3	GRIS	280 MM	284	283	285	✓	0	0
04h-05h	T3	GRIS	280 MM	285	284	285	✓	0	0
05h-06h	T3	GRIS	280 MM	285	284	284	✓	0	0
06h-07h									

### FICHE DE CALCUL DES PIECES NON CONFORMES (LA CASSE)

Date	Produit	Couleur	Nombre de pièces non conformes	Nom d'ouvrier de poste triage	Poste (équipe)		
					A	B	F

Annexe 8 : Fiche de calcul des palettes sortantes.

 <b>Vetcam</b> <small>Votre partenaire en béton</small>	Service Production			Dépôt : VETCAM		
	<b>Fiche de calcul 'CARISTE'</b>					
	Edition : 02/2021		Version : 00		Réf : FC-PROD-001	
					Unité : ALPHA	

Date :

Heure	Produit	Couleur	Nombre de palettes	Equipe			Nom de cariste	Observation
				A	B	F		
07h-08h								
08h-09h								
09h-10h								
10h-11h								
11h-12h								
12h-13h								
13h-14h								
14h-15h								
15h-16h								
16h-17h								
17h-18h								
18h-19h								
19h-20h								
20h-21h								
21h-22h								
22h-23h								
23h-00h								
00h-01h								
01h-02h								
02h-03h								
03h-04h								
04h-05h								
05h-06h								
06h-07h								

Annexe 9 : Calcul du taux de rebut. (Exemple de Avril 2021)

Vetcam Votre partenaire en béton		Service Production		Dépôt : VETCAM	
		Fiche de rebut			
		Edition : 02/2021	Version : 00	Réf : ENG-PROD-	Unité : ALPHA
PRODUIT	COULEUR	NBR PRODUIT	NBR EVACUE	CASSE	Rebut en %
AGGLOS 15	CLASSE 1	1022	1018	4	0,39%
AGGLOS 20	CLASSE 1	1357	1343	14	1,03%
20/10 8 CM	GRIS	1288	1288	0	0,00%
20/10 6CM	GRIS FONCE	158	156	2	1,27%
UNI 8 CM	SOMAGIC	3065	3064	1	0,03%
2T 8CM	GRIS	4624	4610	14	0,30%
I2 BICOUCHE	GRIS	985	978	7	0,71%
25/50 6CM	BEIGE	201	198	3	1,49%
I2 LISSE	GRIIS	1582	1571	11	0,70%
2T 6 CM	GRIS	4047	4036	11	0,27%
CC1	GRIS	1664	1643	21	1,26%
P1 BIC	GRIS	790	787	3	0,38%
T3 BIC	GRIS	1260	1241	19	1,51%
20/40 6CM	GRIS	4971	4923	48	0,97%
20/10 8 CM	GRIS	921	897	24	2,61%
2T 6 CM	ROUGE	177	170	7	3,95%
F1 MONO	BLANC	297	290	7	2,36%
A2 MONO	ORANGE	263	257	6	2,28%
CR2	ORANGE	251	251	0	0,00%
BRONZE	ROUGE	620	619	1	0,16%
BRONZE	GRIS	748	738	10	1,34%
20/10 8 CM	GRIS	505	503	2	0,40%
T3 BIC	ESSAIS	92	92	0	0,00%
20/20 6 CM	GRIS	2905	2893	12	0,41%
40/20 6 CM	ROUGE	1295	1282	13	1,00%
REC 6 CM	GRIS	2836	2829	7	0,25%
T4 BIC	GRIS	865	865	0	0,00%
2T 6 CM	GRIS	6060	6047	13	0,21%
2T 6CM	ROUGE	1104	1100	4	0,36%
25/50 6CM	BEIGE	812	805	7	0,86%
25/50 6CM	GRIS FONCE	272	260	12	4,41%
CS2	GRIS	504	489	15	2,98%
20/40	BEIGE/MOTARD	157	153	4	2,55%
60/40	ORANGE/BOURDO	76	75	1	1,32%
25/50	MARRON	38	38	0	0,00%
20/20 6	VERT/BLEU/BLANC	118	118	0	0,00%
CS3	BEIGE	171	165	6	3,51%
T2	GRIS	120	117	3	2,50%
20/10 8	GRIS/220	1012	1003	9	0,89%
HERITAGE	GRIS	2199	2196	3	0,14%
HERITAGE	ROUGE	802	802	0	0,00%
P1 BIC	GRIS	1432	1428	4	0,28%
T2	BICOUCH	724	723	1	0,14%
40/20 SANS CHAN	GRIS CLAIR	503	503	0	0,00%
2T 8CM	GRIS	1902	1900	2	0,11%
T3 BIC	GRIS	413	413	0	0,00%
40/20	GRIS	3777	3777	0	0,00%
<b>Total</b>		60985	60654	331	<b>0,54%</b>

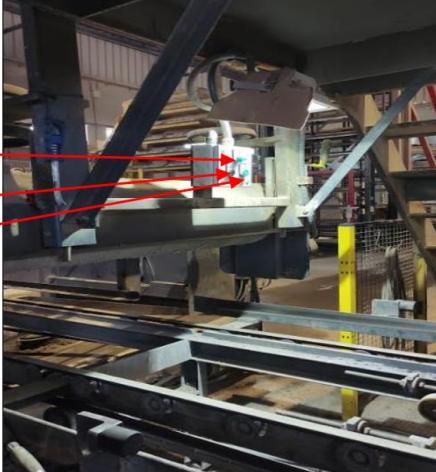
 <b>Vetcam</b> Votre partenaire en béton	Service Maintenance	Dépôt : VETCAM
	FICHE D'INTERVENTION DE MAINTENANCE	
	Edition : 02/2021	Version : 00
	Réf : ENG-MAINT-002	Unité : ALPHA

Unité : ALPHA	Demandeur : Service production	Date demande : 31-03-2021 à 2h
Système : Ensemble vibration	Intervenant : Equipe Alpha	Date intervention : 01-04-2021
Encadrant d'intervention : Mr. KARIM	Temps d'intervention : 8h-00 → 23h	Temps d'arrêt machine : 21h

PIECES FOURNIES OU ECHANGEES					
Nº	QTE	Désignation	Fabricant	Ref. ou S/N	Remarque
1	4	Kit roue SIP		45003-09	
2	4	Cordans		5218102-60	
3	4	Galets d'injecteur		A-0018	
4	4	Axe pilon		A-0014	

DESCRIPTION DE PROBLEME	SOLUTION
Dégénération d'un roulement des cordans de vibration et alors la cassette du cordan ⇒ arrêt de l'ensemble vibration	✓ Changement des cordans ✓ " des roulements ✓ " des axes pilons, silentblocs, galets d'injecteur, freins planche et les bagues de corps.

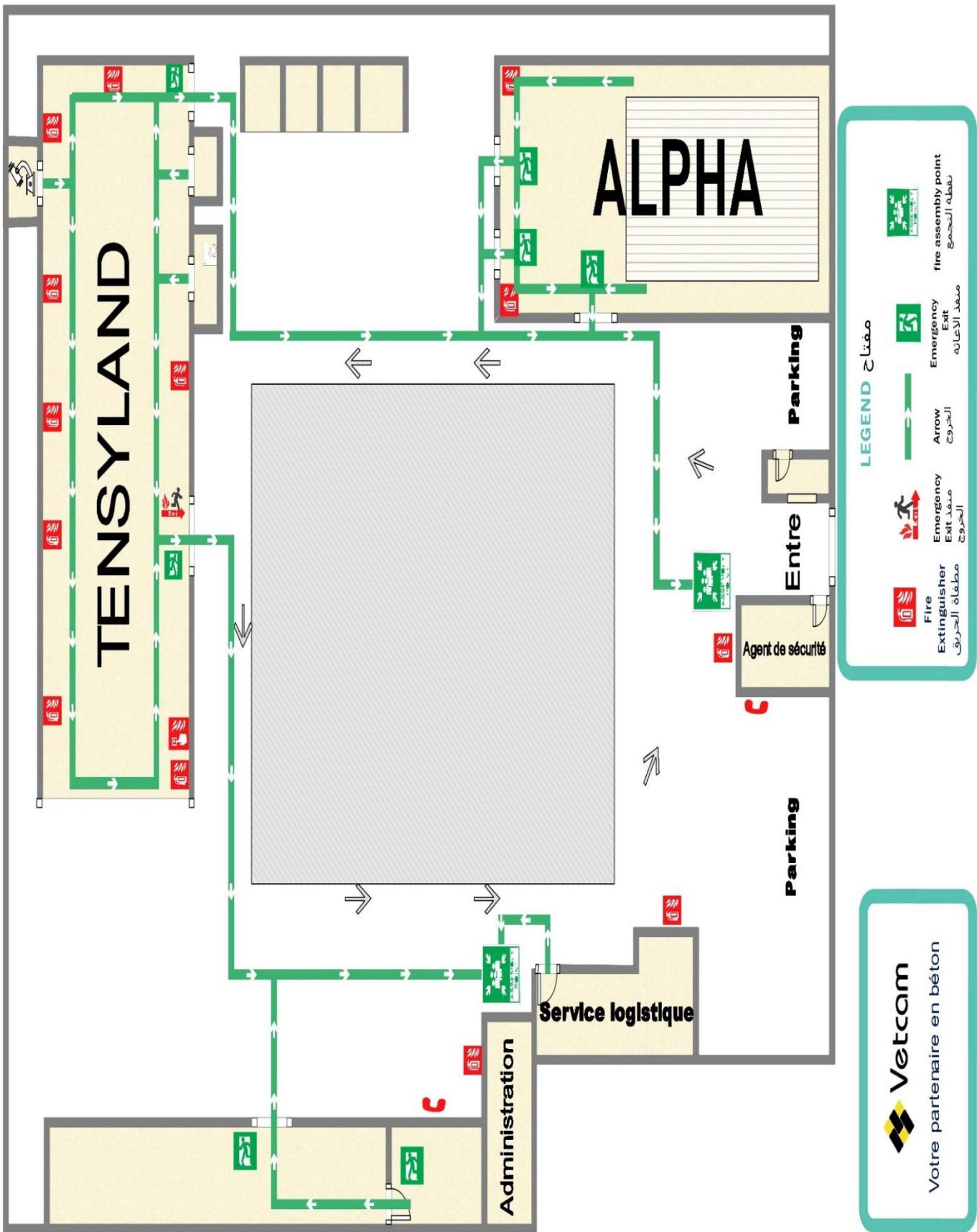
TYPE DE MAINTENANCE	OPERATION	CAUSE DE DÉFAILLANCE
<input checked="" type="checkbox"/> Corrective <input type="checkbox"/> Préventive	<input checked="" type="checkbox"/> Remplacement <input checked="" type="checkbox"/> Réglage <input checked="" type="checkbox"/> Nettoyage <input checked="" type="checkbox"/> Diagnostic <input type="checkbox"/> Amélioration <input checked="" type="checkbox"/> Contrôle	<input checked="" type="checkbox"/> Usure normale <input type="checkbox"/> Défaut utilisateur <input checked="" type="checkbox"/> Défaut maintenance <input type="checkbox"/> Défaut conception <input type="checkbox"/> Défaut environnement <input type="checkbox"/> Défaut produit <input type="checkbox"/> Problème électrique <input type="checkbox"/> Problème auto <input checked="" type="checkbox"/> Problème mécanique <input type="checkbox"/> Problème hydraulique <input type="checkbox"/> Problème soudage <input type="checkbox"/> Problème thermique <input type="checkbox"/> Autre .....

 <b>Vetcam</b> Votre partenaire en béton	Service Maintenance	Dépôt : VETCAM
<b>FICHE DE POSTE ET SECURITE</b>		
Edition : 02/2021	Version : 00	Réf : MO-MAINT-
Unité : ALPHA		
<b>Poste : Sortie presse ALPHA</b>		
<b>Matériel :</b>  Commutateur Rotatif de 2 postions Auto/Manuel Bouton noir : Arrêt pour contrôler Bouton vert : Marche / Vérifié		
<b>Mode Opératoire :</b> 1- Portez vos EPI ! 2- Tenez-vous près de poste. 3- Contrôlez les planches sortantes de la presse ALPHA. 4- Stoppez le convoyeur au cas de planche non conforme. 5- Retouchez les pièces non conformes. 6- Au cas de l'impossibilité de retouche, videz la planche dans le réservoir de rebut. 7- Faites passer la planche contrôlée. 8- Prenez des mesures de contrôle des dimensions chaque 20 min. 9- Déclarez au responsable d'unité à chaque anomalie ou dysfonctionnement.		
<b>Consignes de sécurité :</b>  Soyez prudent au convoyeur ! Soyez prudent au tiroir mobile de bicouche ! Soyez prudent lors l'évacuation des planches rebutées !		
 Chaque blessure doit être soignée et signalée à son responsable.		
 Chaque anomalie doit être déclarée à son responsable.		

# PLAN D'EVACUATION

## تحميم التدخل

Annexe 12 : Plan d'évacuation d'usine



Annexe 13 : Fiche de formule de fabrication.

 <b>Vetcam</b> <small>Votre partenaire en béton</small>	Service Production	Dépôt : VETCAM
	<b>Fiche de formule</b>	
	Edition : 02/2021	Version : 00
	Réf : ENG-PROD-018	Unité : ALPHA

Date	
Produit	
Couleur	
Client bénéficiaire	
Ville de client	

<b>Couche de masse</b>		
	Fournisseur	Quantité (dosage)
Ciment CPA		
Ciment blanc		
G0		
G1		
SL		
SC		
Adjuvant		
Teinte .....		
Teinte .....		
Autre :		
Autre :		

<b>Couche d'usure</b>		
	Fournisseur	Quantité (dosage)
Ciment CPA		
Ciment blanc		
SF		
Adjuvant		
Teinte .....		
Teinte .....		
Autre :		
Autre :		

Nombre des gachées	
Nombre de planches	
N° Coulloir	
Poids de pièce	
Marquage	
Observation	



Date	26-05-2021
Produit	20x20x8
Couleur	Orange
Client bénéficiaire	GTR
Ville de client	AGADIR

Couche de masse		
	Fournisseur	Quantité (dosage)
Ciment CPA		250 Kg
Ciment blanc		
GO (Gypsum)	Eminatrat	940
G1		
SL	Sud aggregate	230
SC	Biotrau	900
Adjuvant	Tech beton	2,5 L
Teinte .....		
Teinte .....		
Autre :		
Autre :		

Couche d'usure		
	Fournisseur	Quantité (dosage)
Ciment CPA	—	—
Ciment blanc		50
SF	Sud aggregate	100
Adjuvant	Tech beton	1%
Teinte .....	Tech beton	3 Kg
Teinte .....		
Autre :		
Autre :		

Nombre des gachées	
Nombre de planches	
N° Couloir	
Poids de pièce	
Marquage	

Observation	
-------------	--

Annexe 14 : Les données de la carte de contrôle MSP.

Poste Pièce	Sortie presse ALPHA Bordure T3		Hauteur															
Caractéristique			mm					mm										
Unité de mesure			280 mm		280 mm			280 mm		280 mm								
Taille d'échantillon		5																
Fréquence de contrôle		20 min																
A2 =	0.577	D3 =	0 D4 =															
N° d'échantillon d'échantillon	Date	H1	H2	H3	H4	H5	Moyenne	Etendue	Moyenne globale	Etendue moyenne	LICX	LSCX	LICR	LSCR				
1	02/04/2021	284	283	282	282	280	282.2	4	281.4	4.7	278.62102	284.09098	0	100				
2	02/04/2021	281	281	280	282	281	281.0	2	281.4	4.7	278.62102	284.09098	0	100				
3	02/04/2021	284	283	282	284	286	283.8	4	281.4	4.7	278.62102	284.09098	0	100				
4	02/04/2021	286	280	284	284	282	283.2	6	281.4	4.7	278.62102	284.09098	0	100				
5	02/04/2021	284	285	285	280	285	283.8	5	281.4	4.7	278.62102	284.09098	0	100				
6	03/04/2021	279	281	282	279	282	280.6	3	281.4	4.7	278.62102	284.09098	0	100				
7	03/04/2021	278	283	286	278	280	281.0	8	281.4	4.7	278.62102	284.09098	0	100				
8	03/04/2021	289	287	280	281	280	283.4	9	281.4	4.7	278.62102	284.09098	0	100				
9	03/04/2021	278	281	278	279	282	279.6	4	281.4	4.7	278.62102	284.09098	0	100				
10	03/04/2021	281	283	282	278	280	280.8	5	281.4	4.7	278.62102	284.09098	0	100				
11	08/04/2021	281	283	280	288	282	282.8	8	281.4	4.7	278.62102	284.09098	0	100				
12	08/04/2021	280	281	281	281	282	281.0	2	281.4	4.7	278.62102	284.09098	0	100				
13	08/04/2021	280	285	284	279	286	282.8	7	281.4	4.7	278.62102	284.09098	0	100				
14	08/04/2021	278	281	286	284	278	281.4	8	281.4	4.7	278.62102	284.09098	0	100				
15	08/04/2021	283	279	282	283	282	281.8	4	281.4	4.7	278.62102	284.09098	0	100				
16	09/04/2021	284	280	288	280	286	283.6	8	281.4	4.7	278.62102	284.09098	0	100				
17	09/04/2021	282	281	281	280	281	281.0	2	281.4	4.7	278.62102	284.09098	0	100				
18	09/04/2021	280	283	281	278	283	281.0	5	281.4	4.7	278.62102	284.09098	0	100				
19	09/04/2021	281	281	280	288	284	282.8	8	281.4	4.7	278.62102	284.09098	0	100				
20	09/04/2021	286	281	283	278	285	282.6	8	281.4	4.7	278.62102	284.09098	0	100				
21	18/04/2021	283	280	281	280	278	280.4	5	281.4	4.7	278.62102	284.09098	0	100				
22	18/04/2021	283	278	282	278	282	280.6	5	281.4	4.7	278.62102	284.09098	0	100				
23	18/04/2021	283	281	279	279	281	280.6	4	281.4	4.7	278.62102	284.09098	0	100				
24	18/04/2021	280	278	280	280	284	280.4	6	281.4	4.7	278.62102	284.09098	0	100				
25	18/04/2021	285	284	280	285	285	283.8	5	281.4	4.7	278.62102	284.09098	0	100				
26	19/04/2021	286	280	279	280	283	281.6	7	281.4	4.7	278.62102	284.09098	0	100				
27	19/04/2021	278	281	280	278	278	279.0	3	281.4	4.7	278.62102	284.09098	0	100				
28	19/04/2021	280	278	283	278	282	280.2	5	281.4	4.7	278.62102	284.09098	0	100				
29	19/04/2021	280	282	285	285	282	282.8	5	281.4	4.7	278.62102	284.09098	0	100				
30	19/04/2021	281	280	282	278	278	279.8	4	281.4	4.7	278.62102	284.09098	0	100				
31	02/05/2021	279	278	283	283	281	280.8	5	281.4	4.7	278.62102	284.09098	0	100				
32	02/05/2021	279	282	283	283	280	281.4	4	281.4	4.7	278.62102	284.09098	0	100				
33	02/05/2021	280	282	280	282	282	281.2	2	281.4	4.7	278.62102	284.09098	0	100				
34	02/05/2021	281	278	282	282	278	280.2	4	281.4	4.7	278.62102	284.09098	0	100				
35	02/05/2021	280	282	279	281	280	280.4	3	281.4	4.7	278.62102	284.09098	0	100				
36	03/05/2021	283	278	282	278	283	280.8	5	281.4	4.7	278.62102	284.09098	0	100				
37	03/05/2021	281	284	281	284	281	282.2	3	281.4	4.7	278.62102	284.09098	0	100				
38	03/05/2021	279	283	282	282	282	281.0	4	281.4	4.7	278.62102	284.09098	0	100				
39	03/05/2021	283	281	280	280	282	281.2	3	281.4	4.7	278.62102	284.09098	0	100				
40	03/05/2021	281	280	279	279	285	281.0	6	281.4	4.7	278.62102	284.09098	0	100				
41	27/05/2021	279	280	281	283	278	280.2	5	281.4	4.7	278.62102	284.09098	0	100				
42	27/05/2021	281	282	278	283	281	281.0	5	281.4	4.7	278.62102	284.09098	0	100				
43	27/05/2021	281	283	281	281	280	281.2	3	281.4	4.7	278.62102	284.09098	0	100				
44	27/05/2021	283	282	280	281	280	282.0	3	281.4	4.7	278.62102	284.09098	0	100				
45	27/05/2021	281	282	283	281	279	281.0	3	281.4	4.7	278.62102	284.09098	0	100				
46	28/05/2021	281	280	283	282	279	280.4	4	281.4	4.7	278.62102	284.09098	0	100				
47	28/05/2021	282	279	281	281	278	280.0	4	281.4	4.7	278.62102	284.09098	0	100				
48	28/05/2021	282	281	280	282	281	281.4	2	281.4	4.7	278.62102	284.09098	0	100				
49	28/05/2021	283	281	280	278	279	280.2	5	281.4	4.7	278.62102	284.09098	0	100				
50	28/05/2021	278	282	283	278	283	280.8	5	281.4	4.7	278.62102	284.09098	0	100				

## **Université Hassan II Casablanca**

### **Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers Casablanca**

Nom : BENYAMNA

Prénom : Aadil

Filière : Génie Industriel

#### Titre du rapport :

« Amélioration de la ligne de production ALPHA à l'aide de Lean Six Sigma »

#### Résumé :

*Afin de renforcer sa place de leader dans le domaine du « préfabriqué en béton » dans toute la zone Sud du Maroc, VETCAM a lancé plusieurs projets d'amélioration de ses sites de production dans le cadre de sa nouvelle stratégie afin de répondre aux besoins de ses clients. L'unité de production ALPHA était parmi les unités concernées par cette stratégie. Notre projet de fin d'études s'inscrit parfaitement dans ce cadre.*

*La présence de gaspillages en termes de temps disponible pour la production et baisse de la productivité constituent un véritable obstacle de l'évolution vers une usine hautement compétitive et performante. Ceci nécessite le recours à la politique Lean Six Sigma pour éliminer toutes sources de gaspillages et augmenter la productivité, la disponibilité et la performance de la ligne ALPHA.*

*Notre projet, hiérarchisé selon la démarche DMAIC, consiste dans un premier lieu à réaliser un diagnostic du processus de fabrication. Ensuite, collecter les données, les analyser et identifier les causes racines et majeures. Enfin, mettre en place les actions d'amélioration soit immédiates ou prévues à court ou moyen terme pour remédier aux problèmes.*

#### Mots clés :

*Production - Amélioration - Productivité - Disponibilité - Performance - Gaspillages - DMAIC - Lean Six Sigma*