

Année Universitaire : 2017-2018



Master Sciences et Techniques en Génie Industriel

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'Obtention du Diplôme de Master Sciences et Techniques

Amélioration des performances de la laverie de Maroc phosphore II

Lieu : OCP SAFI

Référence : 13 /18-MGI

Présenté par :

FALEH Yassine
GHATOUI Oussama

Soutenu Le 12 Juin 2018 devant le jury composé de:

- **Mr. ABARKANE Mouna (encadrant)**
- **Mr. CHARROUJ Adil (encadrant Société)**
- **Mr. BINE EL OUIDANE Hassan (examineur)**
- **Mr. RJEB Mohammed (examineur)**

Dédicace

A nos parents

En témoignage de notre affection et de notre reconnaissance pour tous ce que vous avez faits pour nous. Aujourd'hui, nous déposons entre vos mains le fruit de votre patience et de vos innombrables sacrifices, que Dieu vous prête longue vie et bonne santé pour que nous puissions vous combler la joie et le bonheur.

A nos frères et sœurs

Vos encouragements et vos aides précieuses ne cessent de nous impressionner que Dieu vous aide à réaliser tous vos rêves et à satisfaire toutes vos ambitions.

A tous nos collègues et amis

Nous avons vécu ensemble des moments marqués de souvenirs, vous trouvez ici nos respects avec nos souhaits de bonheur et de réussite dans la vie.

Remerciement

Au terme de ce travail, nous tenons à exprimer nos profonds remerciements à :

Mr. Adil CHARROUJ, chef de service de la laverie à l'OCP, qui nous a encadré tout au long de ce travail. Vous n'avez emmagasiné aucun effort pour veiller à la bonne marche de ce projet de fin d'étude. Nous vous sommes très reconnaissants pour l'intérêt que vous portez à l'égard de ce projet.

Mme. Mouna ABARKAN, professeur à la FST, nous vous remercions pour tous vos fructueux conseils et précieuses directives.

Nous remercions toute l'équipe de maintenance du département de la laverie.

Nos remerciements s'adressent également à tout le corps professoral de la faculté des sciences et techniques de Fés pour la qualité de son enseignement.

Enfin, pour tous ceux et celles qui ont contribué de près ou de loin à l'aboutissement de ce travail, trouvent ici l'expression de notre reconnaissance et de nos remerciements.

Abstract

This document is a final project thesis, prepared within the OCP Safi in order to obtain a Master degree, specialized in industrial engineering. The four-month aim of the project was to reduce the variability of phosphate chemical specifications and to ensure continuity of production based on analyzing the history of chemical specifications.

To do this, we made the installation more reliable. We worked in order to reduce the stopping by an analysis of the existing to reveal the first signs of imperfection. This is followed by a study and analysis of the failure history to identify critical equipment whose failure modes will be screened to determine the most critical.

The analysis of the causes of these modes of failure has been the subject of a detailed study to identify the root causes. In the light of this analysis, we have developed technical and practical solutions to remedy these malfunctions.

In another part we adopted the DMAIC approach articulated around five phases namely: Define, Measure, Analyze, Improve and Control to reduce the variability of the chemical specifications.

The first step was devoted to define the framework of the site and to highlight the critical parameters for the quality as it is seen by the customer (CTQ: Critical to Quality) and by the problematic we are working on as well. Then, the "measure" phase allowed us to set up a measuring device, a continuous one, allowing us to measure the z of the process with respect of the two critical CTQs. The "analyze" phase comes to reveal the root causes causing the variability of chemical specifications that will then be corrected. Following this analysis, several areas for improvement have been identified. Finally, the fifth stage aims to give the means to put under control the process in order to ensure the stability of the founded solution.

Key words: OCP, DMAIC, CTQ, reliability, Z-process

Résumé

Le présent document est un mémoire de projet de fin d'études, réalisé au sein de l'OCP Safi en vue de l'obtention du diplôme Master spécialisé en génie industriel.

L'objectif du projet, qui s'est étalé sur quatre mois, était de réduire la variabilité des spécifications chimique du phosphate et assurer la continuité de production, et ce en se basant sur l'analyse de l'historique des pannes et d'analyse des spécifications chimique.

Pour ce faire dans une part nous avons fiabilisé l'installation afin de réduire les arrêts par une analyse de l'existant permettant de révéler les premiers signes d'imperfection. S'en suite à une étude et analyse de l'historique des pannes pour identifier les équipements névralgiques dont les modes de défaillances seront passées au crible pour en déterminer les plus critiques.

L'analyse des causes de ces modes de défaillances a fait l'objet d'une étude détaillée pour dégager les causes racines. À la lumière de cette analyse, nous avons élaboré des solutions techniques et pratiques afin de remédier à ces dysfonctionnements.

Dans une autre part nous avons adopté la démarche DMAIC articulée autour de cinq phases à savoir : Définir, Mesurer, Analyser, Améliorer et Contrôler pour réduire la variabilité des spécifications chimique.

Sa première étape était consacrée pour définir le cadre du chantier et de mettre en évidence les paramètres critiques pour la qualité telle qu'elle est vue par le client (CTQ : Critical To Quality) ainsi que la problématique. Ensuite, la phase « mesurer » nous a permis de mettre en place un moyen de mesure, si possible continu nous permettant de mesurer le z du processus par rapport aux deux CTQ critiques.. La phase « analyser » vient pour dévoiler les causes racines causant la variabilité des spécifications chimiques qui feront ensuite l'objet de correction. Suite à cette analyse, plusieurs pistes d'améliorations ont été identifiées. Enfin dans la cinquième étape a pour objectif de se donner les moyens de mettre sous contrôle le processus afin de s'assurer de la stabilité de la solution trouvée.

Mots clés: OCP, Fiabilité, DMAIC, CTQ, Z-processus.

Table des matières

Listes des figures.....	10
Listes des tableaux	11
Introduction générale	1
Chapitre I : Présentation du contexte du travail	1
I. Présentation du Groupe OCP	2
1. Gamme de produits	2
2. Position dans le marché.....	2
3. Visions du groupe.....	2
4. Concurrents	3
II. CONTEXTE DU PROJET	3
1. Présentation du Maroc Phosphore II	4
1.1. Diagramme du fonctionnement du complexe.....	4
2. Description de la laverie du Maroc Phosphore II (MPII).....	4
Chapitre II : Analyse de l'existant du projet	5
I. Introduction :	5
II. Cadrage du problème.....	5
1. Problème général :.....	5
2. Attentes et objectifs	5
3. Fiabilisation de l'installation	6
III. Classification des équipements	6
1. La méthode ABC.....	6
2. Choix des critères	7
2.1. Heures d'arrêt.....	7
3. Application de la méthode.....	9
IV. Présentation et formulation des problèmes critiques.....	12
V. Conclusion :	16
Chapitre III : Résolution des problèmes critiques	17
I. Introduction	17
II. Les pompes de pulpe	17
1. Analyse de cas d'insuffisance de débit.....	18
1.1. Définition du problème	18
1.2. Analyse des causes	18
1.2.1. Causes liées à la pompe.....	18
1.2.2. Causes liées au circuit :	23
2. Analyse de cas de la Boite à roulements	24

2.1.	Mauvaise lubrification.....	25
2.2.	Mauvais alignement	25
2.3.	Mauvais montage	25
3.	Analyse de cas de la garniture à sur tresses.....	26
4.	Résolution des problèmes critiques.....	26
4.1.	Introduction	26
4.2.	Génération des améliorations	27
III.	Conclusion :.....	30
Chapitre IV : Amélioration du processus de la laverie à travers la méthode six sigma		17
Introduction.....		32
1.	Mise en situation.....	32
1.1.	Problématique.....	32
	Problème de spécifications chimiques :.....	33
	Les impacts d'un dépassement sur les clients :.....	33
1.2.	Missions.....	34
1.3.	Six Sigma.....	34
1.3.1.	Définition.....	34
1.3.2.	La variabilité	35
1.3.3.	Indicateur de capabilité:.....	35
1.4.	Fixation des objectifs à atteindre grâce à Six sigma.....	35
1.5.	Les grandes étapes de mise en place de Six sigma : la démarche DMAIC	36
2.	Phase définir.....	36
2.1.	Charte Projet	37
2.2.	Le périmètre du projet	38
2.3.	Diagramme Critical To Quality (CTQ)	39
2.4.	Les limites du projet :	40
2.5.	Estimation des gains.....	40
3.	Etape mesurer	40
3.1.	Mesurer le processus	40
3.2.	Analyse des 5M du processus	42
3.3.	Figurer les facteurs non maîtrisés :.....	43
3.4.	Mettre en œuvre une campagne de relevés.....	46
3.5.	Estimer le Z du processus.....	46
3.6.	Actualisation des objectifs :.....	47
4.	Etape analyser	47
4.1.	5 pourquoi de variabilité des chlorures	48

5. Etape Innover/améliorer	49
5.1. Générée des solutions	49
5.2. Choix d'une solution	51
5.3. Application de la démarche	52
5.4. Conclusion	53
6. Etape Contrôler:	54
6.1. <i>Conclusion</i>	55
Conclusion générale	56
Bibliographie	57
ANNEXE	32

Listes des figures

Figure 1 : Production de l'acide phosphorique en million de tonnes	3
Figure 2 : Diagramme du fonctionnement du complexe Maroc Phosphore II	4
Figure 3 : Extrait de l'historique des pannes du 01/12/2017 au 31/12/2017	8
Figure 4 : Graphe ABC des heures d'arrêts des équipements	9
Figure 5 : Graphe de la répartition des heures d'arrêt pour les différentes familles des pompes	10
Figure 6 : Graphe de la répartition des heures d'arrêt pour les différentes familles des pompes de pulpe	11
Figure 7 : Graphe de la répartition des heures d'arrêt pour les sous familles des	11
Figure 8 : Graphe ABC des modes de défaillance des pompes de pulpe	13
Figure 9: Graphe ABC des modes de défaillance des cribles.....	14
Figure 10 : Graphe ABC des modes de défaillance des convoyeurs de parc lavé.....	15
Figure 11 : Modélisation du circuit dans PIPE FLOW EXPERT	20
Figure 12 : Courbe caractéristique de la pompe pour $N = 682$ tr/min et $D_{imp} = 570$ mm	22
Figure 13 : les caractéristiques du réseau	23
Figure 14: Les causes principales de la boîte à roulements.....	24
Figure 15 : Les quatre premiers niveaux des 5 pourquoi	26
Figure 16 : Extrait du plan d'inspection des pompes de pulpe.....	28
Figure 17 : Historique des analyses du phosphate lavé par rapport aux tolérances	33
Figure 19: Analyse 5M pour le manque de spécifications chimiques	43
Figure 20 : Causes de variabilité de variabilité des chlorures	48
Figure 21 : Augmenter le débit de l'eau douce	50
Figure 22 : utiliser l'eau neutre	50
Figure 23: Les paramètres du filtre à bande à ajuster	51

Listes des tableaux

Tableau 1: Répartition des pertes	6
Tableau 2 : Pourcentage cumulé des heures d'arrêt	9
Tableau 3 : Les modes défaillances des équipements.	12
Tableau 4 : Résultat de diagramme PARETO des modes de défaillance des pompes	13
Tableau 5 : Résultat de diagramme Pareto des modes de défaillance des cribles.	14
Tableau 6 : Résultat de diagramme PARETO des modes de défaillance des	15
Tableau 7 : Tableau de QQQOCP	17
Tableau 8 : Caractéristiques des conduites du circuit	19
Tableau 9 : Caractéristiques du bidon et de l'hydrocyclone.	20
Tableau 10 : Caractéristiques de la pulpe	21
Tableau 11: Les solutions proposées.	28
Tableau 12 : Guide de graissage.....	29
Tableau 13: Spécifications chimiques	32
Tableau 14 : Les impacts d'un dépassement sur les clients	34
Tableau 15 : Les étapes de mise en place de Six Sigma	36
Tableau 16. Charte projet	38
Tableau 17: SIPOC.....	39
Tableau 18 : Diagramme CTQ	39
Tableau 19 : Capabilité des spécifications chimiques	41
Tableau 20 : Moyennes et Capabilité de CL- et du Cd par ligne	42
Tableau 21 : 5 pourquoi de la non-maîtrise des chlorures.....	45
Tableau 22: Solutions pour figer les facteurs	45
Tableau 23 : Compagne de relevé pour les facteurs et les réponses.....	46
Tableau 24 : Z de processus pour les chlorures.....	47
Tableau 25 : Actualisation des objectifs.....	47
Tableau 26 : Les 5 niveaux pourquoi de la variabilité des chlorures	49
Tableau 27 : Récapitulation des solutions proposées	49
Tableau 28 : Critères de choix d'une solution.....	52
Tableau 29 : La note globale pour chaque solution proposée	52
Tableau 30: La plage de variation des paramètres et leurs points de commande.....	53
Tableau 31: QQQOCP pour planifier la mise en place	53
Tableau 32 : les actions de contrôle des solutions retenues	55

Introduction générale

Au cours de ces dernières années, les entreprises industrielles ont été confrontées par une concurrence de plus en plus dure. Et par conséquent, la maîtrise des procédés est devenue un enjeu primordial.

L'unité de lavage du Maroc Phosphore II occupe une position stratégique au sein du complexe industriel MAROC PHOSPHORE DE SAFI, du fait qu'elle joue un rôle important dans le processus de fabrication de l'acide phosphorique. Le défi majeur rencontré par l'atelier laverie est de produire assez suffisamment et de produire un niveau de qualité acceptable pour être compétitif et répondre ainsi aux exigences du client que ça soit les clients internes tels que l'atelier phosphorique ou bien les clients externes comme l'Inde, l'Amérique latine et la Belgique. Le but principal de la laverie n'est pas uniquement d'augmenter la teneur en P_2O_5 de 26.5 % à 30.5 % en valeur moyenne mais aussi de respecter les tolérances pour les autres éléments présents dans le phosphate tel que : Cl-, Cd, MgO, . . . et d'assurer la continuité de l'alimentation de phosphate exigées par l'atelier phosphorique qui représente le client interne directement lié à la laverie.

L'objectif principal à travers ce projet de fin d'étude est de répondre aux exigences de l'atelier phosphorique qui se divisent en deux types. Tout d'abord les exigences service à savoir assurer l'alimentation en continu. Ensuite les exigences produit en maîtrisant les fluctuations anormales des spécifications chimiques, avec la moindre de coûts, engendrées éventuellement par la non-maîtrise des procédés de la laverie à travers la méthode Six Sigma.

Le présent document synthétise le travail réalisé en quatre chapitres. Le première a été consacrée à la présentation de l'organisme d'accueil, tandis que dans le deuxième, nous avons établi l'état des lieux et déterminé les défaillances critiques des équipements de la laverie,

Le troisième chapitre a porté sur la résolution des défaillances dégagées. Elle regroupe l'analyse des causes et les actions d'amélioration entreprises dans le sens de l'optimisation et la réduction des pertes et les arrêts de production.

Le quatrième chapitre est conçu à l'amélioration processus de la laverie à travers la méthode Six Sigma. Pour ce faire nous allons appliquer la démarche DMAIC pour piloter le problème de manière structurée. Finalement, on terminera par une conclusion générale qui fait l'objet de la présentation des résultats obtenus. de la présentation des résultats obtenus

Chapitre I :

Présentation du contexte du travail

I. Présentation du Groupe OCP

Le Groupe Office Chérifien de Phosphates (OCP) Fondé le 7 août 1920, est spécialisé dans l'extraction, la valorisation et la commercialisation de phosphate et de ses produits dérivés. Il a démarré comme un établissement public et s'est transformé en une société anonyme en 2008. Le sous-sol marocain renferme les plus importants gisements du phosphate de la planète se répartie comme suit :

- Bassin d'Oulad Abdoun : c'est le plus important, aussi bien par son extension que par la qualité et la quantité des minerais qu'il contient. Le bassin s'étend sur une superficie de 4000 Km² environ. L'exploitation des phosphates se fait actuellement dans trois mines à ciel ouvert : Sidi Daoui en cours d'épuisement, Marah El harach, et Sidi Channane.
- Bassin de Gantour : ce bassin s'étend sur environ 120 Km d'est en ouest, et 20 à 30 Km du nord au sud. La zone actuellement en exploitation c'est le gisement de Benguéir.
- Bassin de Mskala (non exploité) : situé dans la plaine d'Essaouira-Haouz. Il est divisé en trois zones principales : Oulad Bousbaa, Imin Tanout et Khémis Meskala.

1. Gamme de produits

Leader sur le marché du phosphate, OCP produit une large gamme de produits à travers l'intégralité de la chaîne de valeur :

- Roche phosphatée,
- Acide phosphorique,
- Engrais phosphatés : DAP, MAP, TSP et NPK,
- Produits de spécialité : PPP engrais enrichis en micronutriments dont le soufre, à base de roche TERACTION et engrais solubles dans l'eau : MAP soluble.

2. Position dans le marché

Le groupe OCP sert 165 gros clients à travers 60 pays dans le monde. Mais l'Inde, l'Amérique latine et dans une moindre mesure l'Afrique, sont les marchés qui présentent le plus gros potentiel.

- 1^{er} exportateur mondial du phosphate,
- 1^{er} exportateur mondial d'acide phosphorique.

3. Visions du groupe

- Le groupe OCP vise à doubler sa capacité de production annuelle de phosphates d'ici à 2020,

- Tripler sa production d'engrais d'ici à 2020, en augmentant la productivité des usines existantes et en créant d'autres,
- Augmenter la fidélité des clients potentiels et conquérir des nouveaux marchés,

4. Concurrents

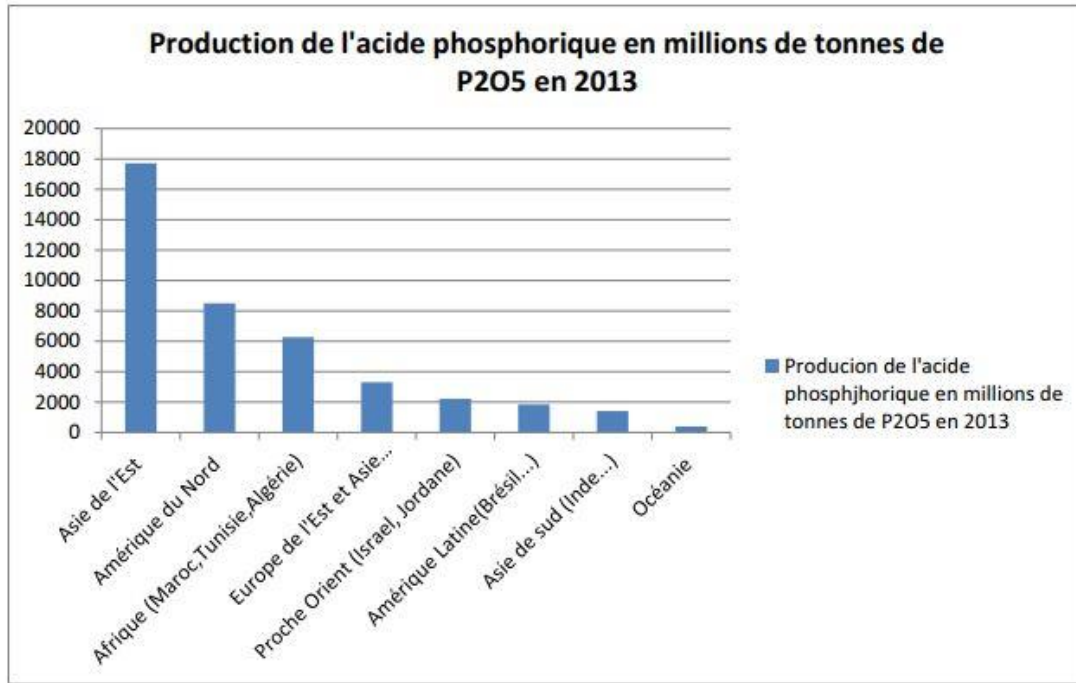


Figure 1 : Production de l'acide phosphorique en million de tonnes

En ce qui concerne les concurrents pour l'exportation des engrais on trouve l'Arabie Saoudite qui s'affiche de plus en plus comme un grand concurrent pour le Maroc, ensuite vient la Tunisie, l'Algérie. Au niveau de la production de l'acide phosphorique on peut citer la Chine, les Etats Unies, La Russie comme principales concurrents. La figure (1) présente la Production de l'acide phosphorique en million de tonnes.

II. CONTEXTE DU PROJET

Le complexe de Safi est le premier site d'OCP. IL a démarré ses activités en 1965 pour valoriser les phosphates de Gantour. Il se compose de trois unités qui sont :

1. Maroc Chimie (MC).
2. Maroc Phosphore I (MPI).
3. Maroc Phosphore II (MPPII).

1. Présentation du Maroc Phosphore II

Le complexe Maroc Phosphore II, était mis en service en 1981, destiné à la production de l'acide phosphorique clarifié, avec une capacité de 480.000 T/an.

1.1. Diagramme du fonctionnement du complexe

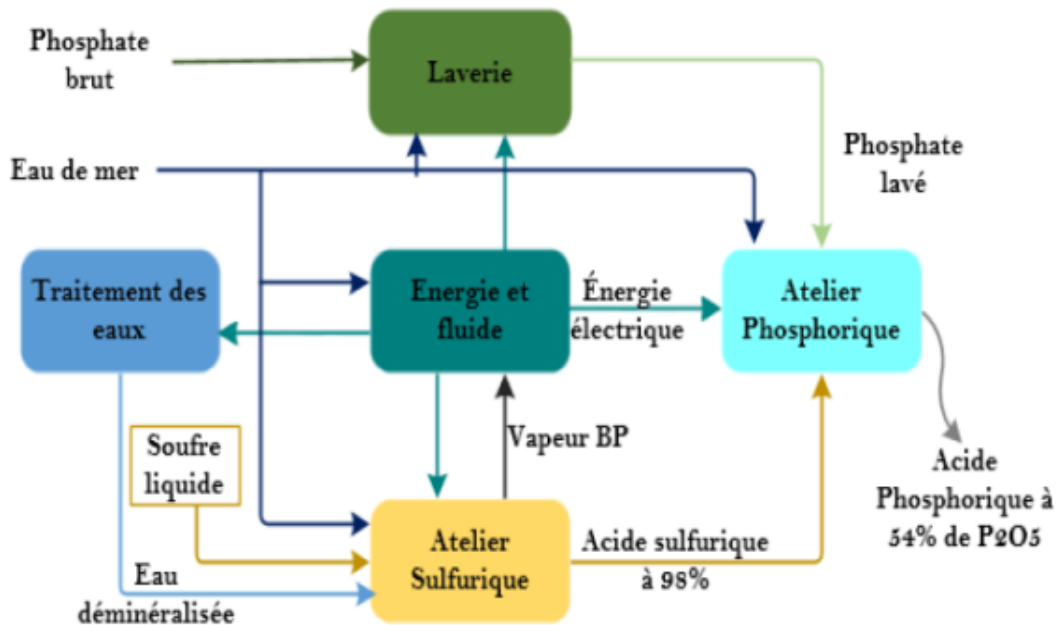


Figure 2 : Diagramme du fonctionnement du complexe Maroc Phosphore II

Le complexe assure la production par ses propres besoins en acide sulfurique, énergie et eau sous différentes qualités. Pour cela, il dispose de 4 ateliers de production. La figure (2) explicite les interactions entre les différents ateliers de Maroc Phosphore II.

2. Description de la laverie du Maroc Phosphore II (MPIO)

La laverie a été mise en service en 1980 pour enrichir par voie humide le phosphate provenant de BENGUERIR afin de le rendre utilisable en tant que matière première pour la fabrication de l'acide phosphorique.

L'atelier laverie de PM est composé de quatre secteurs :

- Secteur de manutention du phosphate brut (voir annexe (A)),
- Secteur des lignes de lavage (voir annexe (B)),
- Secteur de manutention du phosphate lavé (voir annexe (C)),
- Secteur de mise à teruil.

Chapitre II :

Analyse de l'existant du projet

I. Introduction :

Pour renforcer sa position de leader au sein du marché mondial de phosphate, l'OCP a trouvé la voie d'une gestion globale et cohérente, the « **OCP Production System (OPS)** » dont l'objet est d'amener le système de production **OCP** à un niveau de performance mondiale et d'être un système de référence mondiale pour les industries de process continu.

L'**OPS**, plus qu'un projet, c'est un programme qui développe des pratiques managériales, ancre une culture industrielle de performance et promeut une entreprise humaine innovante dans le but d'améliorer la productivité et les performances de l'entreprise par l'identification des pertes et la concentration des moyens sur les pertes principales, l'un des piliers de l'**OPS**. D'où naît le besoin d'identifier les équipements critiques qui causent les pertes au niveau de l'atelier laverie en se basant sur des critères consistants. Avant de commencer toute analyse, il est évident de s'interroger sur l'organisation des interventions et l'état des lieux au niveau du service maintenance.

II. Cadrage du problème

1. Problème général :

Dans le cadre de l'engagement de l'OCP dans le développement de sa stratégie industrielle plusieurs chantiers et axes d'amélioration ont été lancés pour développer le pilotage de la performance et le management des chaînes de production.

L'analyse **coût** de l'exercice **2015, 2016** et **2017** ont montré que la panne des équipements de l'atelier de production Laverie présente un gisement important vu de différentes pertes qui en découlent suite à ces arrêts.

Les méthodes proposées ont pour but de focaliser les efforts sur les équipements qui causent la majorité des effets nuisibles à la maintenance, à la production et à la qualité. Elles reposent essentiellement sur l'étude de la fiabilité des équipements et sur une analyse du processus, ces techniques consistent non seulement à identifier les anomalies et les dysfonctionnements du processus, mais elles remontent jusqu'à leurs causes d'origine puis suggèrent des actions et des améliorations appropriées.

2. Attentes et objectifs

La quantification des objectifs est tout aussi primordiale. En effet, sans une quantification des objectifs, une partie peut estimer avoir atteint son but alors qu'une autre partie peut ne pas le voir

sous cet angle. Nous avons donc aussi abordé ce point et nous avons pu lister tous les objectifs ci-dessous.

- Pouvoir faire une analyse de l'existant
- Classifier les équipements les plus critiques
- Prendre connaissance de l'analyse COST relative à la direction de l'atelier laverie
- Mener un chantier de résolution de problèmes pour identifier les causes racines des dysfonctionnements des équipements en objet.
- Réfléchir aux problèmes que peut poser la solution choisie.

3. Fiabilisation de l'installation

L'analyse coût des années 2015, 2016 et 2017 nous a montré que l'arrêt de l'installation a causé une perte économique de chiffre très important et ça à cause les arrêts répétitifs, le tableau (1) présente la répartition des pertes, [1]. La répartition de ces pertes est comme suit :

	Heures d'arrêts	Coûts (dh)
2015	707	20 997 900
2016	3713	110 276 100
2017	4189	124 413 300

Tableau 1: Répartition des pertes

Nous constatons d'après le tableau (1) que :

- Entre le 2015 et 2016 : Augmentation à 20% de coût ajouté de 2015 jusqu'à 2016.
- Entre le 2016 et 2017 : une amélioration le coût ajouté de l'ordre de 6 à 7 %.

III. Classification des équipements

1. La méthode ABC

L'analyse ABC connue aussi sous le nom de **PARETO** ou de loi **20-80** est une méthode de classification qui permet de déterminer l'importance relative des éléments d'un ensemble dans un contexte donné. L'application de la méthode ABC repose sur les étapes suivantes :

- Définir la nature des éléments à classer,
- Choisir le critère de classement,
- Rechercher la période représentative,
- Classer les données par valeur décroissante,
- Calculer le pourcentage cumulé que représente chaque donnée,

- Tracer la courbe des pourcentages cumulés d'analyse.

2. Choix des critères

2.1. Heures d'arrêt

L'historique dont nous disposons est sous forme d'un fichier Excel fourni par le service production :

Le document se rapporte aux interventions réalisées du **01/01/2017** au **31/12/2017** et contient la durée d'arrêt, cause d'arrêt de production, type panne, numéro d'équipement, famille d'équipement et l'intervention, [1].

La figure (3) montre un extrait de l'historique des pannes du 01/12/2017 au 31/12/2017 :

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Date	Semaine	Mois	Portée de l'arrêt	Type d'arrêt	type_	Cause de l'arrêt	Ligne	Durée d'arrêt (h)	TRG
1									
4422 01/01/2017	S1	janvier-17	Ligne de lavage	Arrêt forcé	Pannes	Panne mécanique	L1	8,5	8,85%
4423 01/01/2017	S1	janvier-17	Circuit commun	Arrêt forcé	Pannes	Panne électrique	L1	0,25	0,26%
4424 01/01/2017	S1	janvier-17	Circuit commun	Arrêt forcé	Pannes	Panne électrique	L2	0,25	0,26%
4425 01/01/2017	S1	janvier-17	Circuit commun	Arrêt forcé	Pannes	Panne électrique	L3	0,25	0,26%
4426 01/01/2017	S1	janvier-17	Circuit commun	Arrêt forcé	Pannes	Panne électrique	L4	0,25	0,26%
4427 01/01/2017	S1	janvier-17	Ligne de lavage	Arrêt process	Process	Manque produit	L1	1	1,04%
4428 01/01/2017	S1	janvier-17	Ligne de lavage	Arrêt process	Process	Manque produit	L2	1,75	1,82%
4429 01/01/2017	S1	janvier-17	Ligne de lavage	Arrêt process	Process	Manque produit	L3	1,5	1,56%
4430 01/01/2017	S1	janvier-17	Ligne de lavage	Arrêt process	Process	Manque produit	L4	1,5	1,56%
4431 02/01/2017	S2	janvier-17	Ligne de lavage	Arrêt process	Process	Manque produit	L1	0,75	0,78%
4432 02/01/2017	S2	janvier-17	Ligne de lavage	Arrêt process	Process	Manque produit	L2	0,5	0,52%
4433 02/01/2017	S2	janvier-17	Ligne de lavage	Arrêt process	Process	Manque produit	L3	0,75	0,78%
4434 02/01/2017	S2	janvier-17	Ligne de lavage	Arrêt process	Process	Manque produit	L4	1,25	1,30%
4435 02/01/2017	S2	janvier-17	Circuit commun	Arrêt forcé	Pannes	Panne mécanique	L1	0,5	0,52%
4436 02/01/2017	S2	janvier-17	Circuit commun	Arrêt forcé	Pannes	Panne mécanique	L2	0,5	0,52%
4437 02/01/2017	S2	janvier-17	Circuit commun	Arrêt forcé	Pannes	Panne mécanique	L3	0,5	0,52%
4438 02/01/2017	S2	janvier-17	Circuit commun	Arrêt forcé	Pannes	Panne mécanique	L4	0,5	0,52%
4439 02/01/2017	S2	janvier-17	Circuit commun	Arrêt forcé	Pannes	Panne mécanique	L1	10,5	10,94%
4440 02/01/2017	S2	janvier-17	Circuit commun	Arrêt forcé	Pannes	Panne mécanique	L2	10,5	10,94%
4441 02/01/2017	S2	janvier-17	Circuit commun	Arrêt forcé	Pannes	Panne mécanique	L3	10,5	10,94%
4442 02/01/2017	S2	janvier-17	Circuit commun	Arrêt forcé	Pannes	Panne mécanique	L4	10,5	10,94%
4443 02/01/2017	S2	janvier-17	Ligne de lavage	Arrêt forcé	Pannes	Panne mécanique	L2	12,25	12,76%
4444 02/01/2017	S2	janvier-17	Circuit commun	Arrêt forcé	Pannes	Panne mécanique	L3	0,5	0,52%
4445 02/01/2017	S2	janvier-17	Circuit commun	Arrêt forcé	Pannes	Panne mécanique	L4	0,5	0,52%
4446 02/01/2017	S2	janvier-17	Ligne de lavage	Arrêt forcé	Pannes	Panne d'instrument.	L1	1,25	1,30%
4447 02/01/2017	S2	janvier-17	Ligne de lavage	Arrêt forcé	Pannes	Panne mécanique	L1	1,75	1,82%
4448 03/01/2017	S2	janvier-17	Circuit commun	Cause endogène	Endogènes	Délestage	L1	11,25	11,72%

Figure 3 : Extrait de l'historique des pannes du 01/12/2017 au 31/12/2017

3. Application de la méthode

Nous avons commencé par l'extraction des durées d'arrêt (h) de l'équipement qui est illustré par le tableau (2) :

Famille d'équipement	Durée d'arrêt (h)	Cumulées Durée d'arrêt(h)
Convoyeurs	2150,75	39,98
Pompe centrifuges	1392	65,86
Cribles	635,25	77,67
TROMMELS	518,25	87,30
Filtre à bandes	293,5	92,75
Circuits	264	97,66
Cyclones	96	99,45
Bande de convoyeurs	21,25	99,84
Bidons	5	99,93
Essieu de Trommels	3,5	100,00
Totale	5379,5	

Tableau 2 : Pourcentage cumulé des heures d'arrêt

Par la suite, nous avons tracé les graphes ABC qui se présentent comme suit (Figure 4) :

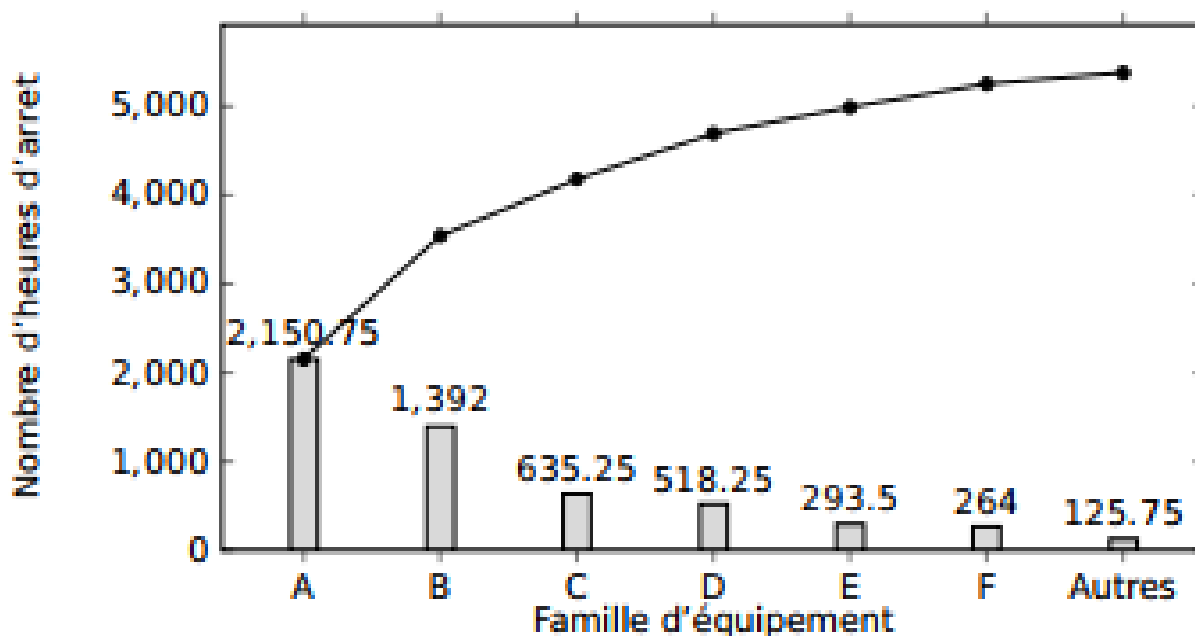


Figure 4 : Graphe ABC des heures d'arrêts des équipements

A partir de ces résultats, les équipements que nous allons traiter sont :

- Les cribles,
- Les pompes,
- Les convoyeurs.

Vu que les pompes de la laverie assurent la circulation de différents fluides, une classification pour la famille des pompes est vivement souhaitable.

Le graphe (5) représente la répartition des pourcentages d'heures d'arrêt des familles des pompes de la laverie :

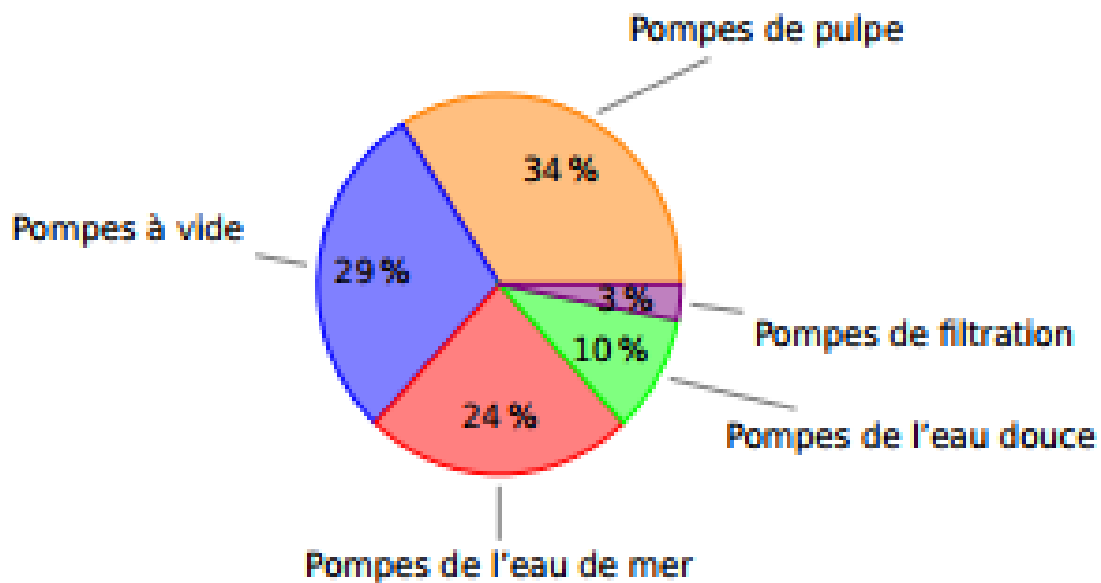


Figure 5 : Graphe de la répartition des heures d'arrêt pour les différentes familles des pompes.

A partir de ce graphe nous constatons que les pompes de pulpe présentent la famille qui cause la plus grande durée d'heures d'arrêt. Alors, nous allons nous limiter à cette famille des pompes. La figure (6) illustre le graphe de la répartition des heures d'arrêt pour les différentes familles des pompes de pulpe.

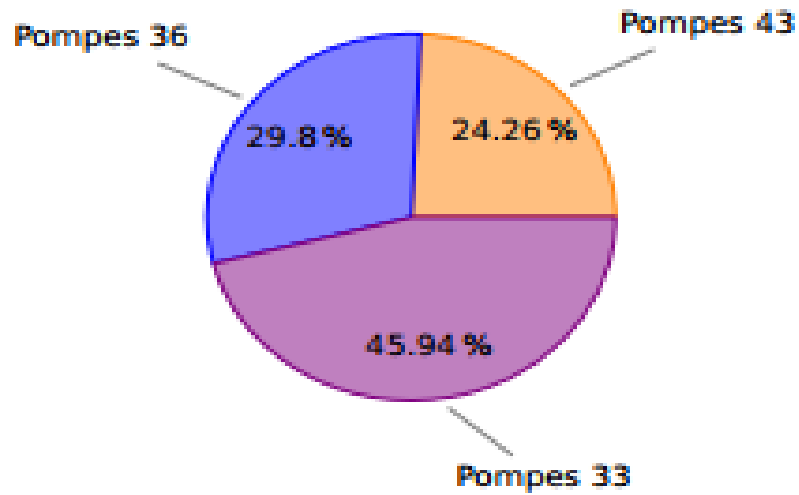


Figure 6 : Graphe de la répartition des heures d'arrêt pour les différentes familles des pompes de pulpe.

De même, nous avons réparti la famille des convoyeurs en trois sous familles (Figure 7) à savoir les convoyeurs du parc brut, les convoyeurs du parc lavé et les convoyeurs du stérile.

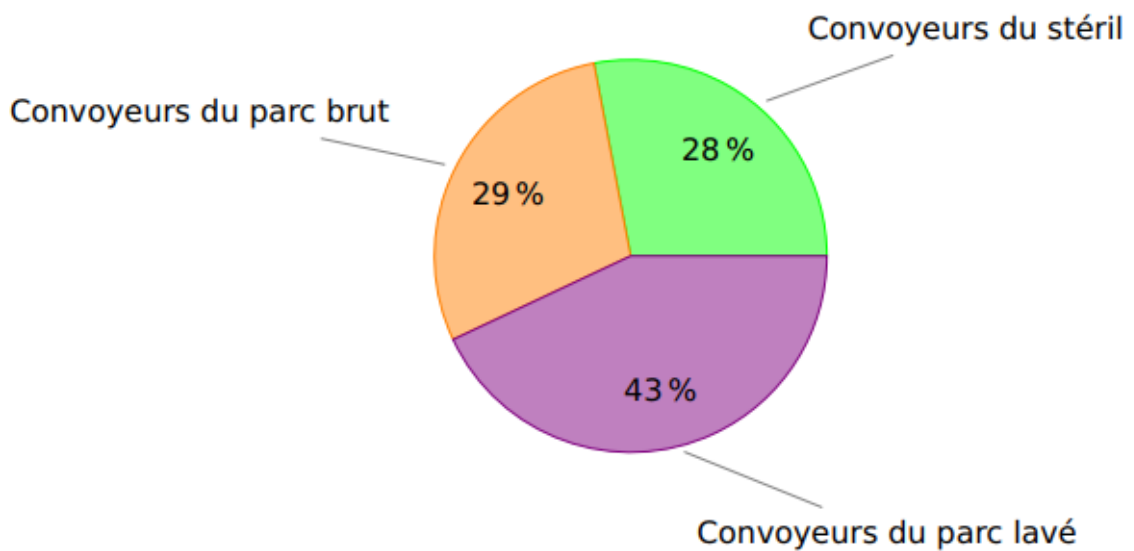


Figure 7 : Graphe de la répartition des heures d'arrêt pour les sous-familles des

A partir de la figure (5) on remarque que les convoyeurs du parc lavé qui feront l'objet d'une étude concernant cette famille d'équipements.

IV. Présentation et formulation des problèmes critiques

Les **cribles**, les **pompes de pulpe (33, 36,43)** et les **convoyeurs du parc lavé** ont été repérés comme équipements les plus névralgiques et les plus pénalisants en terme de coûts de maintenance et d'heures d'arrêt. Notre objectif est de contribuer à la minimisation des pertes et en se concentrant sur les défaillances les plus critiques dont nous allons déterminer et analyser les causes racines et proposer des solutions durables et fiables.

La première étape est d'identifier les défaillances sur lesquelles l'étude sera effectuée parmi ceux présentés dans le tableau (3) :

Equipements	Modes de défaillance
Cribles	Rupture des traverses du crible. Détérioration des panneaux criblant Desserrage des boulons Apparition des fissures sur les flancs Fuites sur goulotte d'entrée du crible Dégradation des ressorts de suspension
Pompes de pulpe	Insuffisance de débit Rupture des courroies de transmission Coincement et bouchage de la pompe Boite à roulements Fuites sur tresses Fuites sur les conduites d'aspiration et de refoulement
Convoyeurs du parc lavé	Déport de la bande transporteuse Patinage de la bande Ecorchure sur la bande Délogement des rouleaux de guidage de la bande Coincement des tambours Cisaillement de l'accouplement

Tableau 3 : Les modes défaillances des équipements.

En effet, l'effort sera concentré sur les défaillances qui se produisent souvent et qui prennent plus de temps d'intervention, qui n'est autre que le temps d'arrêt de production et qui sont plus critiques pour les pompes de pulpes car on n'a pas un historique donné pour leurs modes de défaillance.

Concernant les modes des défaillances nous avons fait une classification par PARETO en fonction de nombre d'heure d'arrêt.

Le tableau (4) illustré la classification par Pareto des modes de défaillance des pompes de la pulpe :

Mode de défaillance	Nombre d'heures d'arrêt	Cumul %
A- Insuffisance de débit	135	32.95
B- Boite à roulements	105	58.57
C- Fuites sur tresses	95	81.76
D- Rupture des courroies de transmission	50	93.96
E- Coincement et bouchage de la pompe	24.75	100.00
Totale	409.75	

Tableau 4 : Résultat de diagramme PARETO des modes de défaillance des pompes

Pour représenter graphiquement les données, il faut dessiner l'histogramme des valeurs simples sur l'abscisse (Figure 8), puis tracer sur le même graphique la courbe du pourcentage cumulé.

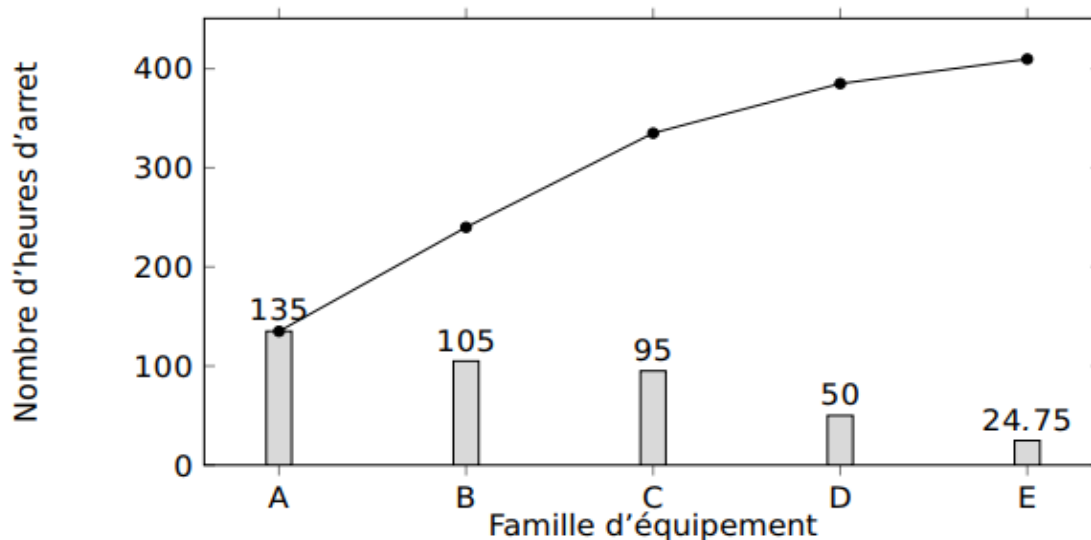


Figure 8 : Graphe ABC des modes de défaillance des pompes de pulpe

D'après le 80% des modes de défaillance des pompes de pulpe, les défaillances plus critiques sont :

- Insuffisance de débit,
- Boite à roulements,
- garniture à sur tresses transporteuse.

Le tableau (5) montre que des modes de défaillance du crible :

Mode de défaillance	Nombre d'heures d'arrêt	Cumul %
Rupture des traverses	406	63,9
Fissures sur les flancs	125	83,6
Détérioration des panneaux criblant	43,5	90,4
Desserrage des boulons	30,75	95,3
Dégradation du ressort	23,75	99,1
Fuite sur conduite d'arrosage	4,25	99,7
Fuite sur la goulotte d'entrée	2	100
Totale	635,25	

Tableau 5 : Résultat de diagramme Pareto des modes de défaillance des cribles.

Par la suite, nous avons tracé les graphes ABC qui se présentent comme suit (Figure 9) :

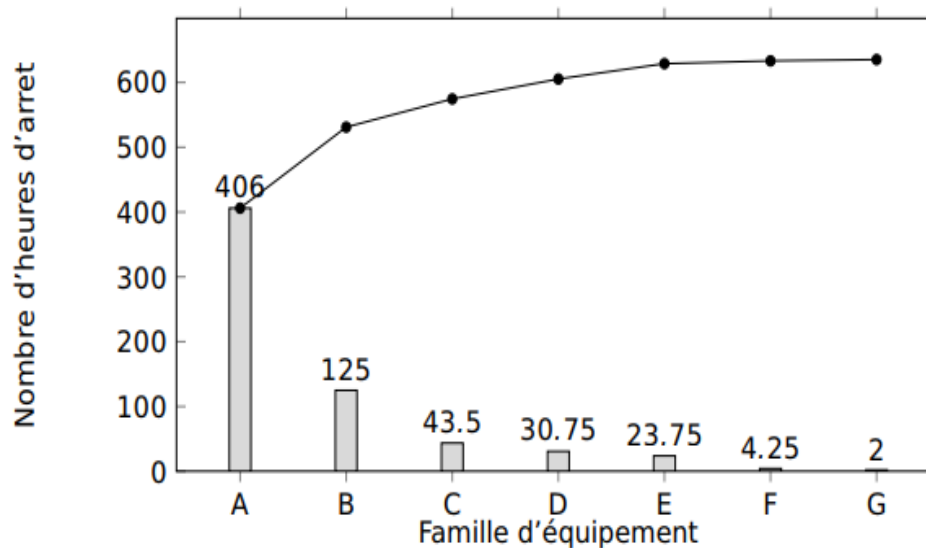


Figure 9: Graphe ABC des modes de défaillance des cribles

D'après le 80% des modes de défaillance des cribles, la défaillance la plus critique est :

- Rupture des traverses.

Pour les convoyeurs du parc lavé, nous avons recensé les données dans le tableau (6) :

Mode de défaillance	Nombre d'heures d'arrêt	Cumul %
Coincement des tambours	754,2	33,5
Ecorchure sur la bande	697	64,5
Patinage de la bande	258	77,0
Cisaillement de l'accouplement	282	88,5
Délogement des rouleaux	184,55	96,7
Déport de la bande	75	100
Totale	2250,75	

Tableau 6 : Résultat de diagramme PARETO des modes de défaillance des

Nous avons établi le graphe ABC des modes de défaillance de Convoyeurs du parc lavé (Figure 10) :

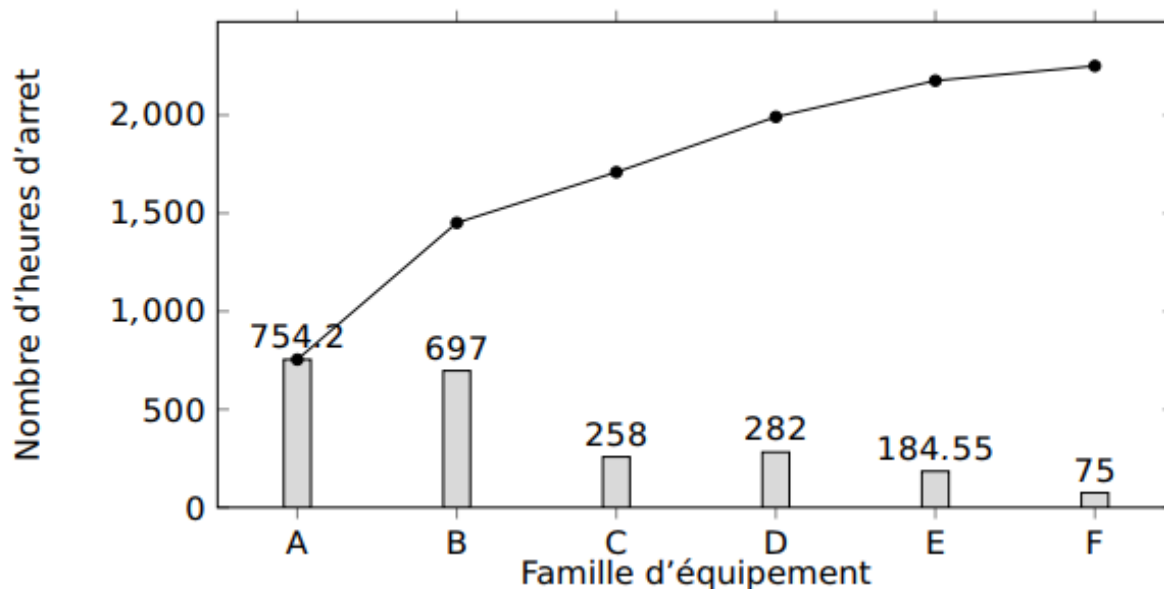


Figure 10 : Graphe ABC des modes de défaillance des convoyeurs de parc lavé

Le 80% des modes de défaillance des convoyeurs du stérile sont

- Coincement des tambours
- Ecorchure sur la bande

V. Conclusion :

Après avoir identifié les équipements névralgiques et les défaillances critiques, nous pouvons enfin passer à l'étape de l'analyse des causes et la proposition des solutions

Chapitre III :
Résolution des problèmes critiques

I. Introduction

Dans ce chapitre, nous commençons par dénombrer les causes potentielles entraînant les défaillances précitées pour en faire la base sur laquelle seront fondées toutes les actions amélioratrices à entreprendre.

II. Les pompes de pulpe

Ce sont des pompes centrifuges horizontales livrées par le constructeur WARMAN, elles assurent la conversion de l'énergie mécanique fournie par un moteur électrique, en énergie hydraulique communiquée par la suite au fluide, pour pouvoir circuler le long d'un circuit spécifique. Elles se distinguent par leur revêtement en caoutchouc permettant le pompage continu des boues fortement abrasives, avec un minimum de maintenance.

Afin de bien carder le problème, nous avons utilisé la méthode QQQQCP. Le QQQQCP est un acronyme et un outil qui consiste à poser les questions suivantes : Qui ? Fait quoi ? Où ? Quand ? Comment ? Et pourquoi ? L'objectif est de se poser toutes les questions relatives à un problème afin d'en fixer le périmètre en vue d'une future démarche de résolution de problème. Il est utilisé dès lors que l'on cherche à avoir une vision complète d'une situation.

La réponse à ces questions permet de fournir un consensus quant à la nature et à effet du problème. C'est un outil qui cherche à rendre factuelle et exhaustive la description d'un problème.

Le tableau (7) présente de QQQQCP :

Quoi ?	Taux de panne élevé Arrêt des machines
Qui ?	Responsable de production Les chefs d'équipe
Où ?	Pompe de pulpe
Quand ?	Souvent
Comment ?	Analyse des causes racines
Pourquoi ?	Améliorer la disponibilité de la pompe qui se situe sur une ligne de production critique.

Tableau 7 : Tableau de QQQQCP.

1. Analyse de cas d'insuffisance de débit

1.1. Définition du problème

Le problème d'insuffisance de débit a un impact considérable sur la qualité du phosphate lavé. En effet, le procédé de classification granulométrique des grains du phosphate brut exige la présence d'un débit bien précis à l'entrée de l'hydrocyclone.

C'est pourquoi, la maîtrise de la granulométrie des grains est conditionnée par le débit de la pompe.

La quantification de cette insuffisance nécessite le choix d'une pompe spécifique pour en faire l'étude, Comme la pompe du repère géographique 33 est celle la plus sollicitée à cette défaillance (4 fois / an), notre étude portera sur cette dernière.

L'insuffisance de débit de la pompe 33 se manifeste par une chute de débit détecté par le débitmètre qui affiche des valeurs entre 270 m³/h et 380 m³/h, alors que le débit exigé par la production est de l'ordre de 600 m³/h. De même pour la pompes 36 (390 m³/h) et 43 (150 m³/h).

1.2. Analyse des causes

Afin de déterminer la cause de cette défaillance, nous allons mettre l'accent sur les conditions de fonctionnement de la pompe qui peuvent être liées à la pompe elle-même ou au circuit.

1.2.1. Causes liées à la pompe

La vitesse de rotation de la pompe et le diamètre d'impulseur sont deux paramètres qui régissent le fonctionnement de la pompe :

- un mauvais choix du diamètre d'impulseur ou un mauvais réglage de la vitesse de rotation induit à un fonctionnement instable de la pompe en dehors de sa zone de confort.

Pour vérifier la conformité du diamètre d'impulseur utilisé et la vitesse de rotation mesurée, nous allons procéder par le calcul du **point de fonctionnement d'une pompe**.

1.2.1.1. Définition du point de fonctionnement

Le point de fonctionnement d'une pompe indique le débit qu'elle est capable de fournir pour HMT une donnée. La HMT est égale aux pertes de charge du circuit (réseau) sur lequel elle est installée.

Le point de fonctionnement est commun aux courbes caractéristiques de la pompe et du réseau. La courbe caractéristique de la pompe représente ses possibilités de fonctionnement. Elle est

fournie par le fabricant. La courbe caractéristique du réseau représente l'évolution de ses pertes de charges (**PdC**) en fonction du débit.

Afin d'avoir plus de précision, nous avons utilisé le logiciel **Pipe Flow Expert** qui est dédié à la conception et l'analyse des réseaux de tuyauterie pour déterminer les points de fonctionnement de la pompe.

Point de fonctionnement de la pompe 33 :

Le schéma de fonctionnement de la modélisation sur le logiciel **PIPE FLOW EXPERT** est le suivant :

Représentation isométrique du circuit :

Le circuit en question comporte les éléments suivants :

- Un bidon rempli de pulpe à 75 % de sa hauteur,
- Une vanne à membrane complètement ouverte au niveau de l'aspiration,
- Une conduite d'aspiration liée au bidon,
- Trois tronçons constituant la conduite de refoulement,
- Un hydrocyclone.

Leurs caractéristiques se résument dans les tableaux suivants (8 et 9) :

	Diamètre (mm)	Longueur (mm)	Matériau	Rugosité (mm)
Conduite 01	250	1400	INOX	0,046
Conduite 02	200	5100	PVC (Performer)	0,005
Conduite 03	200	6100	PVC (Performer)	0,005
Conduite 04	200	5750	PVC (Performer)	0,005

Tableau 8 : Caractéristiques des conduites du circuit

	Bidon	Hydrocyclone
Pression	1 bar	1,2 bar
Altitude	0 m	11,09 m
Niveau du liquide	2,47 m	0 m

Tableau 9 : Caractéristiques du bidon et de l'hydrocyclone.

La figure (11) présente la modélisation du circuit dans PIPE FLOW EXPERT :

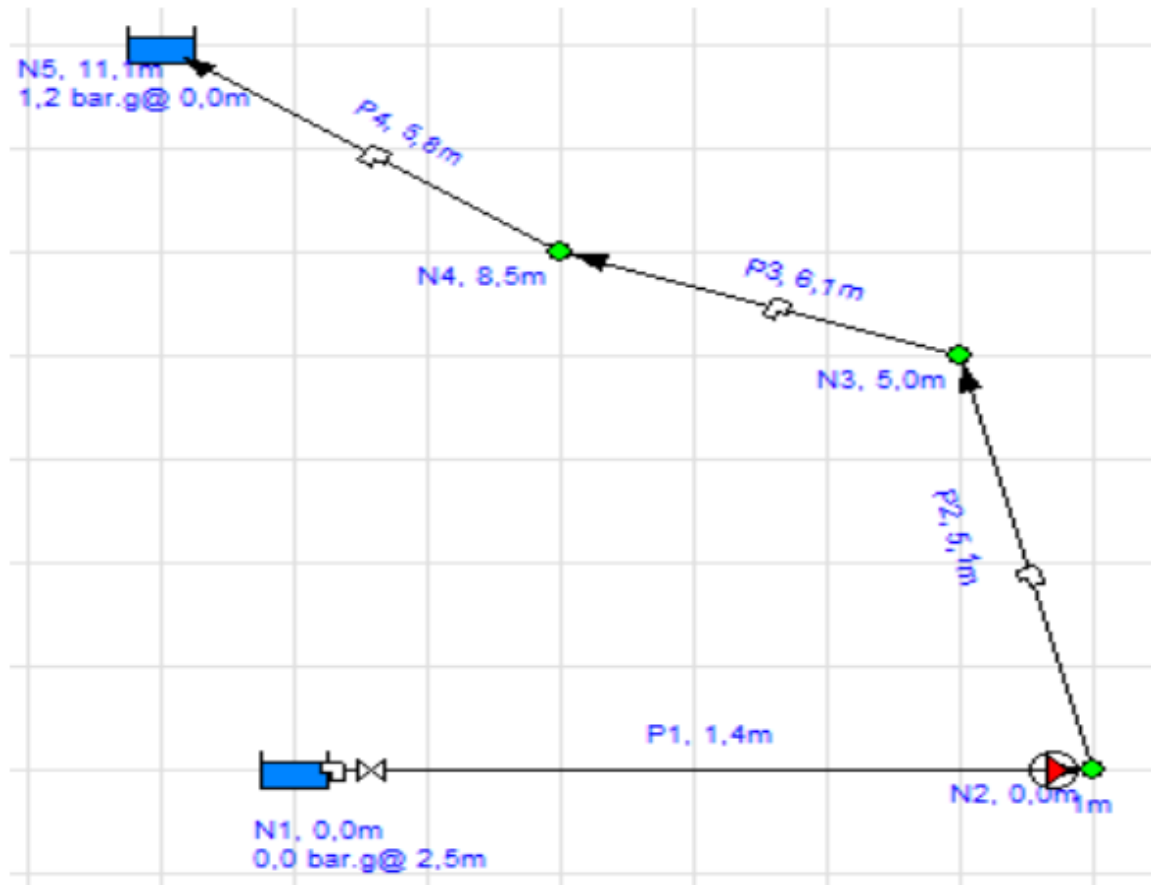


Figure 11 : Modélisation du circuit dans PIPE FLOW EXPERT

Caractéristiques du fluide :

La caractérisation du comportement hydraulique est dictée par une modélisation appropriée des pertes de charge. Ces dernières ne dépendent pas uniquement de l'isométrie et les caractéristiques du réseau mais elles sont liées à la nature du fluide et au régime d'écoulement.

Des études prenant compte ces variables et mettant en œuvre des équations qui décrivent le mieux l'écoulement de la pulpe à savoir un écoulement diphasique ont été développées afin d'estimer la viscosité de la pulpe et sa masse volumique. Selon le modèle de Thomas, elles sont données par les relations suivantes (1 et 2)

$$\mu_m = \mu_L(1 + 2,5 C_v + 10,05 C_v^2 + 0,00273 e^{16,6C_v})$$

Équation 1: Viscosité dynamique de la pulpe, [1]

$$\rho = (1 - C_v)\rho_L + C_v \rho_s$$

Équation 2: Masse volumique de la pulpe,[1]

Avec :

μ_L : représente la viscosité de l'eau de mer.

C_v : représente la fraction volumique en solide dans la pulpe. Cette fraction est calculée à partir de la concentration massique C_w , la densité de l'eau de mer S_L et la densité du phosphate brut S_s , par la relation suivante (3) :

$$C_v = \frac{S_L C_w}{S_s - (S_s - S_L)C_w}$$

Équation 3: Fraction volumique en solide dans la pulpe, [1]

Les valeurs numériques de ces grandeurs sont regroupées dans le tableau suivant :

S_s	1,3
S_L	1,028
C_w (%)	20
ρ_L (kg/m ³)	1028
ρ_s (kg/m ³)	1300
μ_L (centipoise)	1,07

Tableau 10 : Caractéristiques de la pulpe

Nous obtenons après calcul une viscosité égale à 1,8490 Centpoise et une masse volumique égale à 1072,89 kg/m³.

La courbe de la pompe :

Nous avons introduit la courbe caractéristique de la pompe fournie par le constructeur pour un diamètre d'impulseur égal à 549 mm et une vitesse de rotation donnée à savoir 900 trs/min (la figure ci-dessous) tout en fixant une plage de variation de la vitesse de rotation [682 mm,900mm] et du diamètre de l'impulseur [549 mm,570 mm] .

En effet, il suffit d'importer l'image de la courbe caractéristique de la pompe, fixer les axes du débit et de la hauteur manométrique total avec leurs unités respectives (l/sec et m) sur l'image en indiquant la valeur maximale des deux axes et l'origine du repère (Q,H) puis identifier les points lus sur la courbe par leurs $NPSH_{requis}$ et leur rendement et le logiciel en déduit la courbe automatiquement.

Nous obtenons donc la courbe caractéristique de la pompe et la courbe de variation du rendement en fonction du débit à $N = 900$ tr/min. Or, la pompe installée au niveau de la ligne tourne à une vitesse de rotation de 682 tr/min et dispose d'un impulseur de diamètre 570 mm. Un ajustement de la courbe de la pompe s'avère nécessaire, c'est pourquoi, nous avons changé la vitesse de rotation et le diamètre d'impulseur et nous avons obtenu la courbe (12) :

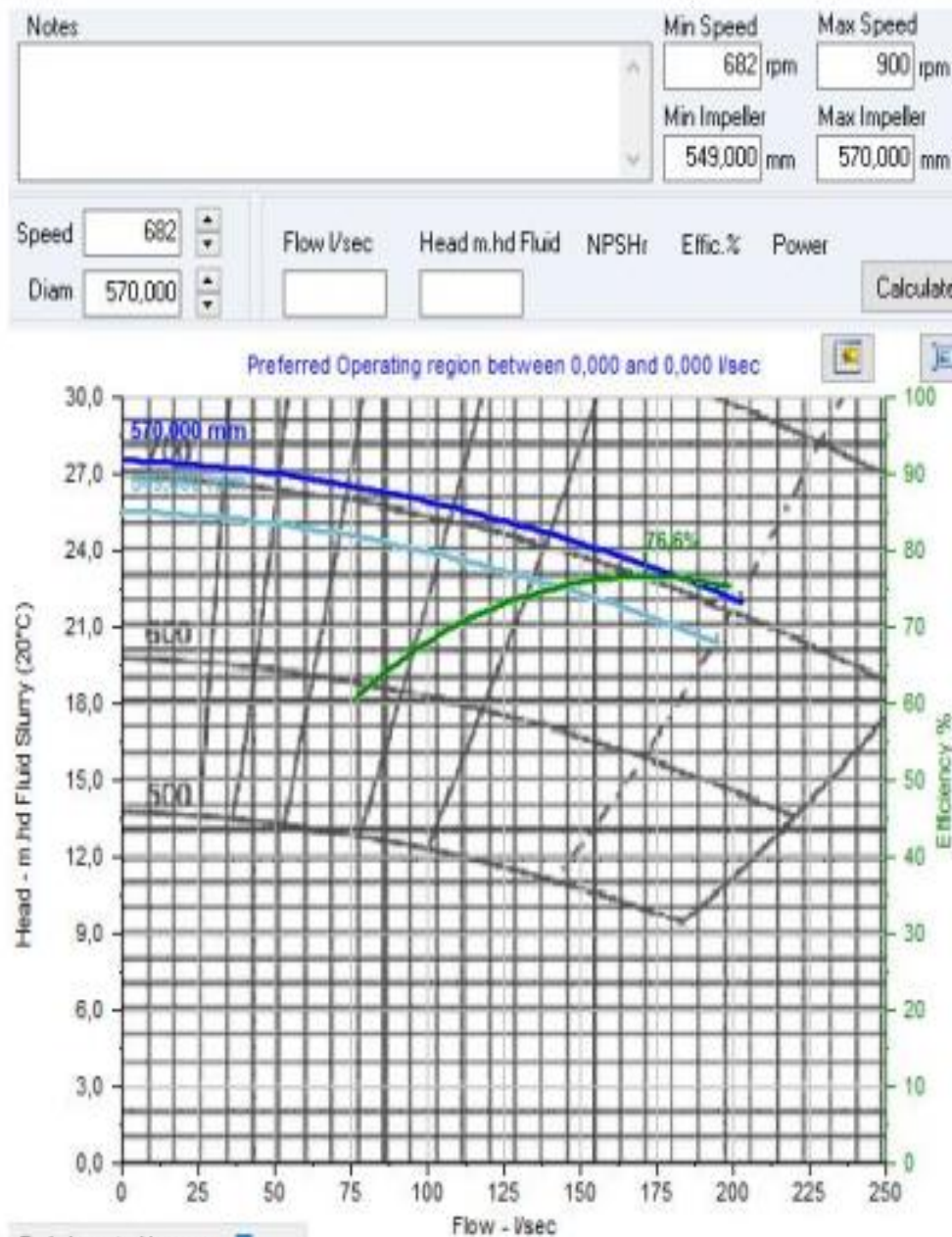


Figure 12 : Courbe caractéristique de la pompe pour $N = 682$ tr/min et $D_{imp} = 570$ mm

En intégrant les caractéristiques du réseau mentionnées dans les tableaux X (8) et Y (9) et en ajoutant la pulpe (slurry) à la base de données du logiciel en y introduisant ses caractéristiques qui représente dans la figure (13) :

Fluid Properties Database:		Transfer Selected Fluid Data						
Name	Formula	Temperature °C	Pressure bar g	Density kg/m ³	Viscosity Centipoise	Vapour Press. kPa (abs)	State	
Slurry	USER	20,0	0,000	1072,890	1,8490	N/A	Liquid	

Figure 13 : les caractéristiques du réseau

Nous obtenons les caractéristiques du point de fonctionnement comme suit :

- Puissance = 52.60 kW,
- Débit = 0.1596 m³/sec

Nous remarquons que le débit correspondant au point de fonctionnement à savoir **574 m³/h** est proche du débit demandé par la production **600 m³/h**. L'écart entre les deux débits est acceptable.

Les résultats obtenus révèle que le problème d'insuffisance de débit n'est strictement pas lié à la pompe elle-même, en d'autres termes, ni au diamètre d'impulseur utilisé ni à la vitesse de rotation adoptée.

Donc, ce sont les causes liées au circuit qui génèrent une insuffisance de débit.

1.2.2. Causes liées au circuit :

Le circuit regroupe les composants existants en amont et en aval de la pompe, qui sont :

- **Conduites d'aspiration,**
- **Conduites de refoulement,**
- **Vanne,**
- **Bidon,**
- **Débitmètre,**
- **Manomètre.**

En effet, le dysfonctionnement de ces éléments est soupçonné d'être à la base du problème d'insuffisance de débit.

De ce fait, nous allons recenser toutes les anomalies susceptibles d'entraîner une chute de débit à savoir :

- **Etat de la vanne** : si la vanne d'aspiration est semi fermée, le débit dans la conduite d'aspiration sera réduit. Par conséquent, la pompe ne pourra pas refouler le débit exigé par l'hydrocyclone.

- **Fuites sur les conduites** : si le manchon de raccord de la conduite est desserré, la fuite survient et le débit chute.
- **Niveau de remplissage du bidon** : si le niveau du liquide dans le bidon est inférieur à la hauteur normale, la pompe refoulera moins de liquide que prévu. Cependant, le bidon est alimenté en continu par le crible ce qui nous amène à éliminer cette cause.
- **Fausse indication des instruments de mesure** : il se peut que les instruments de mesure ne soient pas proprement étalonnés et affichent des valeurs erronées.

2. Analyse de cas de la Boite à roulements

Dans les pompes centrifuges et dans toute autre machine, les roulements ont pour rôle de maintenir les composants tournants dans des positions de manière à respecter certains jeux fonctionnels, [2].

Ainsi, un défaut au niveau des roulements peut se traduire par une détérioration des jeux fonctionnels et des désalignements. Ce défaut peut dégénérer et provoquer des déformations permanentes comme la rupture de composants.

Dès lors, le choix du roulement, son installation et sa maintenance sont une action qui conditionne la durée de la vie de la pompe. Les principales causes d'avaries de roulements peuvent être récapitulées dans la figure (14) :

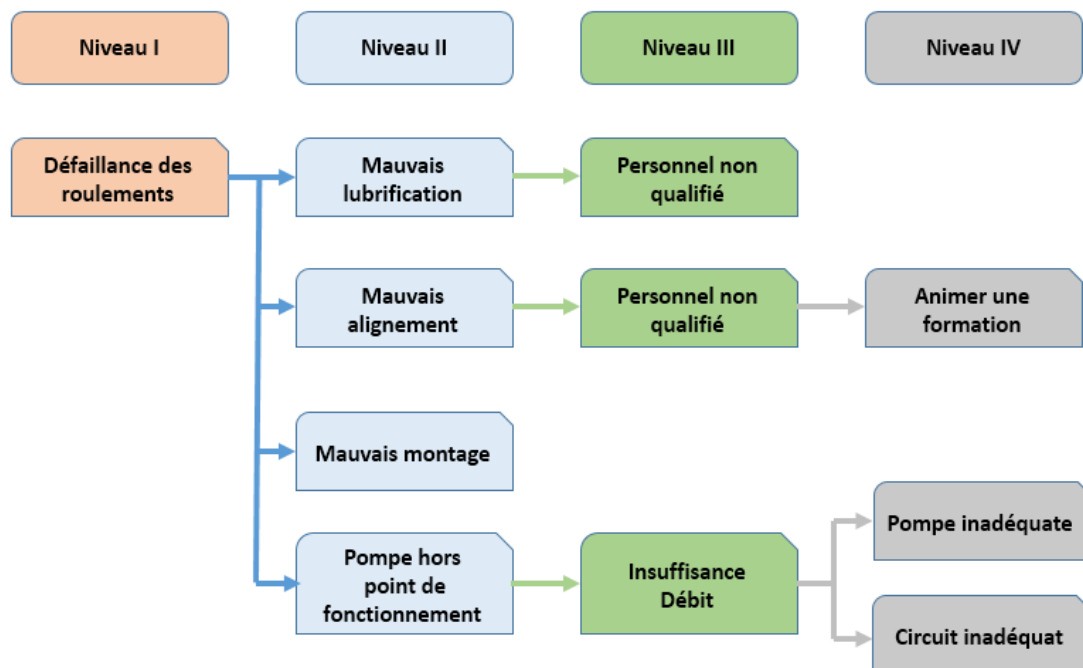


Figure 14: Les causes principales de la boîte à roulements

2.1. Mauvaise lubrification

La durée de vie d'un roulement dépend en grande partie d'une lubrification adéquate. Les lubrifiants contribuent à abaisser la chaleur, à protéger les surfaces du roulement de la corrosion et à réduire la friction.

D'après une société française de fabrication de roulements mécaniques (**SNR**) une mauvaise lubrification cause environ **70 %** des avaries de roulements, [3].

Ainsi une solution de lubrification adaptée peut permettre d'améliorer la disponibilité et la productivité des équipements.

En effet, elle permet de réduire les défaillances prématurées des roulements et les arrêts-machines et d'augmenter le rendement énergétique.

2.2. Mauvais alignement

L'alignement correct des machines apporte une augmentation du temps de production, moins de bruits de roulement et de joint, moins de vibrations et moins de coûts de maintenance. La méthode utilisée pour aligner les machines de l'atelier phosphorique est l'alignement par corde. Cette méthode repose sur la seule évaluation visuelle. L'avantage de cette méthode traditionnelle est qu'elle demande peu de temps, même si l'utilisation d'une corde prend plus de temps que l'évaluation visuelle. Le principal inconvénient est le manque de précision.

Certains fabricants recommandent un défaut d'alignement angulaire horizontal d'un maximum de 0,25, ce qui est impossible de réaliser. De ce fait plusieurs problèmes peuvent arriver à savoir la rupture de roulements, la rupture d'arbre, la rupture de joint, le bruit d'accouplement, la surchauffe, les vibrations. . .

2.3. Mauvais montage

La méthode de montage des roulements affecte fortement leur précision, leur durée de vie et leur performance. Et pour nous assurer que le montage se fait dans les bonnes conditions. Nous avons organisé plusieurs visites aux ateliers centraux (service chargé de la révision des pompes) pour visualiser les modes opératoires du montage des roulements. La question que nous avons posée aux opérateurs chargés du montage des roulements est : quelles sont les instructions que vous suivez lors du montage des roulements ?

Les bagues extérieures sont montées avec un peu de jeu, ne nécessitant pas d'accessoire de montage.

Le logement peut être chauffé pour rendre le montage plus facile.

En conclusion, nous pouvons confirmer que le point du mauvaise montage n'est pas posé, [1].

3. Analyse de cas de la garniture à sur tresses

Les garnitures mécaniques se sont des éléments d'étanchéité situés entre l'arbre tournant et la partie fixe des dispositifs rotatifs qui travaillent avec des fluides. Le frottement de l'arbre tournant et la partie fixe dégage une quantité de chaleur importante qui doit être évacuée pour la bonne tenue de la garniture. Il est donc nécessaire de maintenir une certaine circulation de liquide entre l'arbre et les anneaux.

La figure (15) illustre les quatre premiers niveaux des 5 pourquoi de défaillance au niveau de la garniture à tresse.

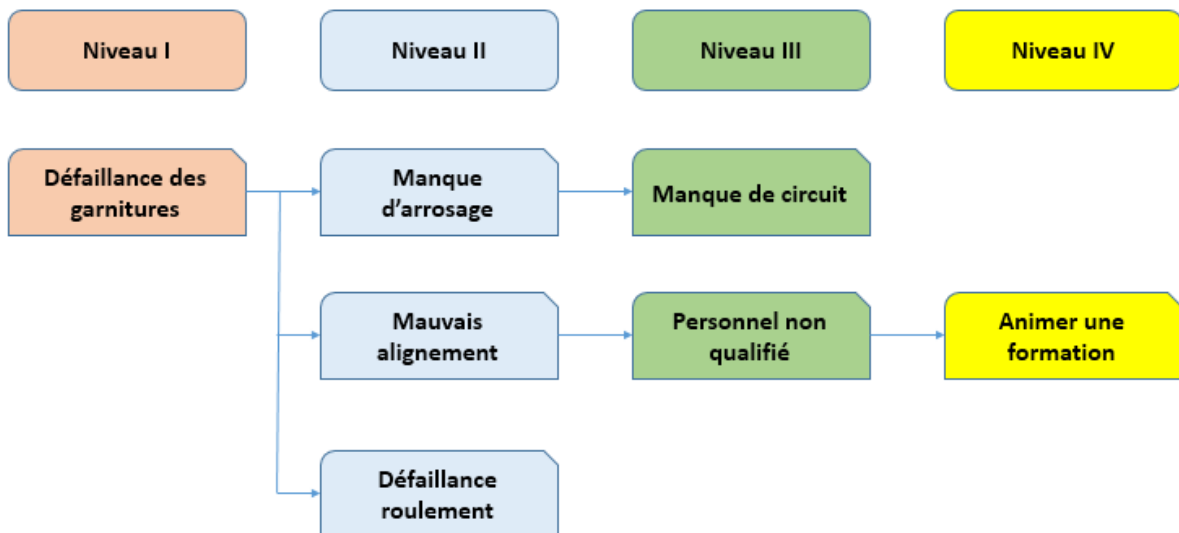


Figure 15 : Les quatre premiers niveaux des 5 pourquoi

La phase d'analyse a permis de mettre en lumière les principales causes de défaillances des roulements et de la garniture à tresses qui sont : la mauvaise lubrification, le mauvais alignement et manque de circuit d'arrosage dans ce qui suit nous allons présenter les actions et les améliorations à faire.

4. Résolution des problèmes critiques

4.1. Introduction

Après avoir identifié les modes de défaillance critiques et la focalisation des efforts sur les vraies causes, cette phase consiste à mettre en place des solutions visant à éradiquer les causes racines du problème.

4.2. Génération des améliorations

4.2.1. Le Brainstorming :

La génération des solutions est le fruit d'un travail de groupe, ainsi un groupe pluridisciplinaire s'est formé pour produire le plus d'idées possible, dans un minimum de temps.

La production d'idées nouvelles par Brainstorming est bâtie sur l'interaction entre les membres du groupe dont la créativité est alimentée par prolongement, enchaînement, rebondissement, à partir des idées émises au cours de la séance. Cette construction progressive d'un échafaudage d'idées simule inévitablement les participants même réputés d'ordinaire peu bavards ou peu imaginatifs.

Le Brainstorming a conduit à des solutions satisfaisantes sur la réduction des défaillances des composants de la pompe.

Tableau des solutions proposées :

Les solutions proposées sont récapitulées dans le tableau (11) suivant :

Composant	Problèmes potentiels	Cause potentielles	Solutions
Débit insuffisant	Pompe	Pompe fonctionne hors point de fonctionnement	Vérification à l'aide logiciel PIPE FLOW EXPERT
	Circuit	Circuit de refoulement	Elaborer un Plan d'inspection
		Circuit d'aspiration moteur électrique et poulies courroies	
Roulements	Défaillance des roulements	Mauvais alignement	Animer une formation sur les méthodes d'alignement
		Mauvais lubrification	
		Pompe fonctionne hors point de fonctionnement	Choisir une pompe qui convient aux débits requiert par le processus

		Cavitation de la pompe	Mettre en place un capteur de niveau
garniture à tresses	Défaillance de la garniture à tresse	Manque d'arrosage	Mettre un nouveau circuit d'arrosage

Tableau 11: Les solutions proposées.

4.2.2. Présentation détaillée des solutions

4.2.2.1. Plan d'inspection

Dans le but de remédier à l'absence d'inspection et de contrôle du circuit de la pompe, nous avons opté pour l'élaboration d'un plan d'inspection en collaboration avec les chefs d'équipe et les techniciens.

Ce plan d'inspection comporte des libellés indiquant le composant à inspecter, la nature de l'action, la fréquence de l'opération, l'état de la machine lorsqu'on entreprend l'opération, l'exécutant et la méthode d'inspection.

La figure (16) représente du plan d'inspection : (Voir détails en annexe D) :

Service : MMS Equipement : Pompes de pulpe		Plan d'inspection			Effectué par : Oussama GHATOUI Yassine FALEH				
Composant	Désignation	Méthode	Opération avec		Fréquence			Exécutant	
			Marche	Arrêt	jour	semaine	mensuelle		bimensuelle
Circuit de refoulement	Inspection des fuites au niveau du refoulement	Visuel	X					X	Inspecteur
	Inspection des fuites au niveau du refoulement	Visuel		X				X	Inspecteur
Circuit d'aspiration	Inspection des fuites au niveau de l'aspiration	Visuel	X					X	Inspecteur
	Contrôle de l'état de la visserie de liaison aspiration	Visuel		X				X	Inspecteur
Poulie-courroie	Contrôle d'alignement des poulies	Règle Comparateur à cardan		X		X			Mécanicien

Figure 16 : Extrait du plan d'inspection des pompes de pulpe

- Animer une formation sur les méthodes d'alignement :

Cette formation a pour objet de fournir des informations et des directives de base quant à

la mise en œuvre d'une bonne pratique d'alignement d'arbre (Annexe (E) présente le détail de la formation que nous avons animer).

- **Mettre à jour un calendrier de lubrification :**

Pour fonctionner avec fiabilité, les roulements doivent être convenablement lubrifiés, de façon à éviter un contact métallique direct entre éléments roulants, chemins de roulement et cage. De plus, une lubrification correcte empêche l'usure et protège les surfaces de la corrosion.

Le choix d'un lubrifiant et d'un mode de lubrification adapté à un montage donné est donc important, de même qu'un entretien approprié.

- **Pompe WARMAN :**

Pour cette pompe le type de lubrification demandée est une lubrification à la graisse, en effet la graisse présente l'avantage d'être plus facilement retenue dans le montage, en particulier si l'arbre est incliné ou vertical, et elle contribue aussi à protéger le roulement des agents polluants, de l'humidité ou de pulpe.

Le choix de la graisse repose sur la connaissance des conditions de fonctionnement qui doivent être définies de la manière la plus précise possible comme la température, la vitesse, la charge, l'ambiance, la vibrations et les contraintes spécifiques à l'application.

Dans notre cas nous avons choisie : **SNR LUB MS** (Usage et limite d'utilisation).

Application : (les détails de calcul est en Annexe (F))

Le tableau (12) présente le guide de graissage.

pompe WARMAN	Type de roulement	Fréquence de base (heures)	Fréquence corrigée (heures)	Poids de graisse (g)
Pompe 43	Roulement à rouleaux conique	6000	1200	37.06
Pompe 33 et 36	Roulement à rouleaux conique	1150	230	65,65

Tableau 12 : Guide de graissage.

- **Mise en place d'un nouveau système d'arrosage :**

Pour que le système d'arrosage à installer soit bien conçu, le responsable de la maintenance mécanique nous a demandé de réaliser un plan guide du nouveau circuit

d'arrosage pour le communiquer à une société sous-traitante qui va s'occuper de sa mise en place. Ses caractéristiques est en annexe (G).

III. Conclusion :

Il est à noter que les défaillances liées aux convoyeurs du parc lavé et crible n'ont pas été traité par manque de temps. Cependant, les actions entreprises et explicitées dans cette partie, omis la solution du changement du matériau qui demeure non quantifiable, permettront de combler le manque à gagner généré par l'indisponibilité des équipements. L'impact du travail effectué est détaillé dans le chapitre suivant.

Chapitre IV :
Amélioration du processus de la laverie à
travers la méthode six sigma

Introduction

L'objectif du projet est l'amélioration des spécifications chimiques du phosphate lavé, dont la production est réalisée par de production laverie.

Dans le but de minimiser les pertes et de renforcer la confiance du client, le projet a été structuré selon la méthode DMAIC. Cet outil permet d'identifier les causes des pertes, de les évaluer et de mettre en place les actions les plus appropriées pour les limiter.

Ce chapitre va nous mettre en contexte en clarifiant la problématique, son impact sur les clients internes ainsi que les clients finaux. Par la suite nous allons détailler brièvement mission avant de définir l'outil Six Sigma et les termes associés qu'on aura besoin par la suite. Dans un deuxième temps, on justifiera la compatibilité de Six Sigma avec l'OPS chez le groupe et avec ses visions. À la fin de ce chapitre, on expliquera, étape par étape, la démarche DMAIC de mise en place de l'approche Six Sigma. [5]

1. Mise en situation

1.1. Problématique.

Le contrat établi entre le service d'accueil et l'atelier phosphorique stipule que l'alimentation en phosphate lavé de ce dernier soit en continu et les spécifications chimiques suivantes dans le tableau (13) soient respectées. [1]

Élément (sur sec)	Valeur cible	Limite de tolérance inférieure	de	Limite de tolérance supérieure
P2O5 en %	30	29,5		30,5
MgO en %	<0.65	0		0.65
Cd en ppm	< 8	0		8
SiO2 en %	5.5< SiO ₂ <8	5,5		8
H2O en %	13<H ₂ O <20	13		20
CL ⁻ en ppm	600<CL ⁻ <750	500		750

Tableau 13: Spécifications chimiques

Cependant, en se basant sur l'historique des analyses des échantillons du phosphate traité à la sortie de la laverie, ces exigences sont loin d'être respectées que ce soit en matière de qualité.

[1]

Problème de spécifications chimiques :

En ce qui concerne les spécifications chimiques du produit, on voit très bien d'après les courbes de la figure (17) que la laverie ne respecte pas les exigences de qualité définies dans le contrat établi avec l'atelier phosphorique notamment pour la teneur en chlorures Cl^- et la teneur cadmium Cd et avec un degré inférieur le magnésium MgO et la teneur en P_2O_5 :

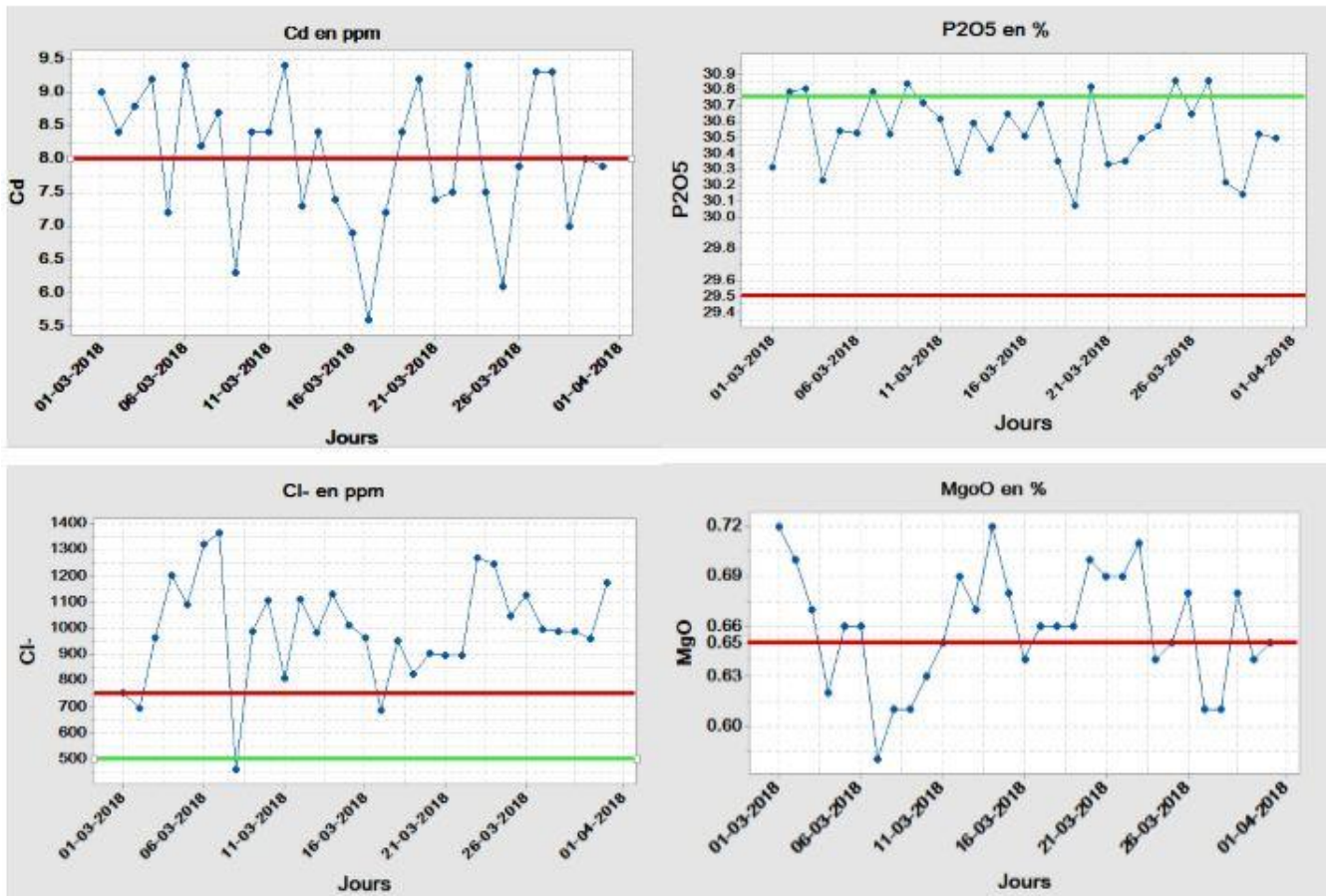


Figure 17 : Historique des analyses du phosphate lavé par rapport aux tolérances

Ces dépassements engendrent des pertes considérables que ce soit pour MPII ou pour le client final comme la corrosion des équipements fabriqués à partir causé par le Cl^- ce qui diminue leurs fiabilités et par la suite leurs durées de vie.

Les impacts d'un dépassement sur les clients :

Le tableau (14) illustre les impacts d'un dépassement d'un élément chimique par rapport aux clients.

Elément	Impact d'un dépassement pour le client interne	Impact d'un dépassement pour le client final
CL	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Corrosion du matériels (filtre à bande, structures des lignes/convoyeurs) ✓ Diminution de durée de vie des équipements ✓ Des amendes supplémentaires 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Corrosion du matériel ✓ Des engrais de mauvaise qualité ✓ Des couts considérables pour la faire diminuer
P2O5	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Des amendes supplémentaires ✓ Réclamation client 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Un acide phosphorique non conforme ✓ Pertes des clients ✓ Pertes image entreprise
Cd	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Perte de la qualité Tessenderlo 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Des engrais de mauvaises qualités ✓ Pertes des clients
MgO	Chute en productivité	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Infection de la fidélité des clients ✓ quantité insuffisante pour les clients ✓ Augmentation de la viscosité

Tableau 14 : Les impacts d'un dépassement sur les clients

D'après le tableau (14) on remarque une non-maitrise éventuelle et une non-conformité des éléments présents dans le phosphate à des impacts négatifs pouvant aller, dans les pires des cas, à perdre des clients de façon définitive surtout dans un temps où la compétitivité devient de plus en plus acharnée.

1.2. Missions

Dans le cadre de notre stage de fin d'études, on nous a demandé de réduire au maximum la variabilité de processus de la laverie par rapport aux CTQ, exigences du client interne et externe, les plus critiques à travers un outil performant et en suivant une méthodologie bien structurée.

1.3. Six Sigma

1.3.1. Définition

C'est un outil de résolution de problème reposant sur deux axes qui sont :

- ✓ Les avis des clients recueillis grâce aux questionnaires de satisfaction.
- ✓ Les données des indicateurs : les ventes, la fidélité, les statistiques.

L'un des principales méthodes employées dans le cadre de la gestion de projets 6 sigma est DMAIC. Son objectif est de fournir une sorte de plan de route que les membres d'une entreprise doivent suivre attentivement afin d'atteindre les objectifs souhaités et ainsi mieux gérer les projets en termes de la qualité.

1.3.2. La variabilité

Au sein d'un processus de production, les mesures sur les objets fabriqués présentent des variations autour de la valeur cible ce que l'on désigne par variabilité. Cette variabilité peut être quantifiée par la capacité et le z-processus. Tout processus comporte plusieurs sources de variabilité qui ont un effet cumulatif.

1.3.3. Indicateur de capacité:

La capacité désigne l'aptitude d'un processus à produire des produits conformes aux spécifications des clients. On dit qu'un processus est capable si l'ensemble des mesures sur une caractéristique qualité Y, ou bien la dispersion du processus est inclus dans un intervalle de tolérances IT. Elle est calculée par la relation suivante :

$$Cp = \frac{IT}{6\sigma} \quad [5]$$

- ✓ Cp<1: le processus est non capable, il génère des rebuts. [7]
- ✓ Cp=1: Le processus est juste capable, il n'y a pas de rebut tant qu'il y a pas de dérèglement de la moyenne. [7]
- ✓ Cp>1: Le processus est capable et ne produit pas de rebut. [7]

1.4. Fixation des objectifs à atteindre grâce à Six sigma.

Une utilisation de la méthode Six Sigma en tant qu'un outil de résolution de problème en vue d'atteindre les objectifs suivants :

- ✓ Réduire la variabilité de processus de la laverie par rapport aux CTQ critiques de 80% d'ici 2020.
- ✓ L'augmentation de la satisfaction des clients et une plus grande fidélisation par une meilleure qualité.
- ✓ La réduction des réclamations clients à 0 réclamation par an par rapport aux CTQ critiques.

1.5. Les grandes étapes de mise en place de Six sigma : la démarche DMAIC

DMAIC est une démarche d'amélioration continue utilisé pour piloter les projets de manière structurée. Cette démarche se décompose en cinq étapes, qui constituent l'acronyme DMAIC. Le tableau (15) représente la description et les outils utiliser dans chaque acronyme :

Elément	Description	Outils
Définir	Rassembler des faits, des données objectives et chiffrées	-Charte projet -SIPOC, -Diagramme CTQ QOOQCP
Mesurer	C'est Choisir les variables qui doivent-être analysés, Collecter les données, Trier les problèmes (les causes de mauvaise performance).	-Mesurer le z-processus, -Diagramme Ichikawa -5 pourquoi
Analyser	Déterminer les causes racines.	-5 pourquoi
Innover	Rechercher les solutions à mise en œuvre et évaluer les avantages et les inconvénients, du coût et temps de mise en œuvre de chaque solution	-Brainstorming, -Matrice de compatibilité
Controler	Tester que les solutions mise en place atteint les objectifs souhaités	

Tableau 15 : Les étapes de mise en place de Six Sigma

2. Phase définir

Dans ce chapitre, nous allons développer la première étape de l'approche DMAIC : Définir, pour le problème de variabilité des chlorures. Les outils utilisés ont pour but de cerner le projet et sa problématique et d'assurer le bon déroulement du projet. Il s'agit notamment de la charte du projet qui définit l'état actuel, la problématique et la planification du travail, le diagramme SIPOC qui nous a permis d'identifier les différentes parties prenantes du projet, entre clients et fournisseurs, et les différentes données d'entrée et de sortie, le diagramme QOOQCP, et enfin pour compléter la définition du problème, les clients ont proposé leurs exigences à travers l'outil de la Voix du Client (CTQ).

2.1. Charte Projet

Dans le but de positionner le projet par rapport à ce qui est demandé, la charte du projet contient le titre du projet : ce dernier a pour finalité l'amélioration de la qualité des résultats de l'audit interne et par conséquent la pertinence des analyses et décisions relatives à la qualité.

La charte du projet contient aussi QQQQCP, simplement et brièvement formulé. Il suffit de répondre aux questions: QUI est concerné par le projet, de quoi s'agit-il, le temps du déroulement du projet et le lieu, le but attendu, et comment arriver aux objectifs définis (voir tableau (16)).

Et pour suivre le déroulement du projet, La charte du projet s'est matérialisée par une fiche qui résume les principaux résultats de l'étape qui sont :

- ✓ L'identification des caractéristiques critiques pour les clients externes ;
- ✓ La mise en évidence de l'état actuel et de l'état souhaité, qui doit faire apparaître les limites du projet.

Charte projet					
Titre du projet		Amélioration du processus de la laverie			
Formulation du problème		Les limites des spécifications chimiques par rapport à CTQ sont dépassées			
qui?	quoi?	Où?	quand?	comment?	pourquoi?
Equipe de production	Améliorer le processus de la laverie	Ligne de lavage	Avril-Mai 2018	Démarche DMAIC	Réduction la du processus
					satisfaction des clients
					réduction des réclamations des clients
Diagramme CTQ					
Besoin du client	Exigences	Caractéristiques mesurables		spécifications	
Produit conforme	Respecter les limites des spécifications chimiques	Réclamations et amendes		Réduire les réclamations des clients et la variabilité du processus	

planification du projet							
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
Formation							
Collecte des données							
Définir							
Mesurer							
Analyser							
Améliorer							
Contrôler							

Tableau 16. Charte projet

2.2. Le périmètre du projet

La réalisation du diagramme SIPOC comme nous illustrons sur le tableau (17) permet de définir clairement le périmètre du projet.

Le diagramme SIPOC illustré dans la figure est un outil qui permet d'identifier tous les éléments associés à un processus. L'acronyme SIPOC signifie Supplier (fournisseur), Input (Entrée), Process (Processus), Output (Sortie), Customer (Client). Pour la notion du client et du fournisseur il ne s'agit pas de ceux de l'entreprise, mais bien de ceux du processus.[5]

Il est recommandé d'employer le SIPOC dans la phase initiale d'un projet d'amélioration. L'élaboration de ce diagramme nécessite 5 étapes:

- 1) Identifier les fournisseurs (S) des entrées.
- 2) Identifier les entrées (I) requises par le processus.
- 3) Identifier le processus (P) dans lequel le problème a été identifié.
- 4) Définir les Sorties du processus (O).
- 5) Identifier les clients (C) qui reçoivent les sorties.

Supplier	Inputs	Processus	Outputs	Customer
-Atelier énergie et fluide -phosphate de Benguérir	-Instruction Contrat entre PM et PT -Eau brut -Eau de mer -Energie électrique	Exploitation des lignes de phosphates	-Relevé du tonnage horaire -Marche des installations -Consommation d'eau brute -Suivi des prises des échantillons de phosphate lavé -Suivi des performances des lignes de lavage	Maroc phosphorique

Tableau 17: SIPOC

2.3. Diagramme Critical To Quality (CTQ)

Pour satisfaire le client, il faut savoir ce qu'il souhaite, et la meilleure façon de le savoir est de lui demander. Se mettre à l'écoute des clients, c'est avoir une action en profondeur d'écoute de la « voix » du client, [5]. C'est cette satisfaction qui permettra à l'entreprise de vendre plus et mieux, et ainsi d'améliorer ses performances économiques. Le diagramme CTQ comme le montre le tableau (18) permet de faire une écoute client pour identifier toutes les exigences par la suite chercher à les évaluer par une mesure. Pour chacune de ces caractéristiques qualité on doit pouvoir déterminer une valeur cible et des spécifications limites.

Diagramme CTQ			
Besoin du client	Exigences	Caractéristique mesurables	Spécifications
Produit conforme	Respecter les limites des spécifications chimiques	Réclamations et amendes	Réclamations des clients et la variabilité du processus

Tableau 18 : Diagramme CTQ

2.4. Les limites du projet :

Les CTQ qui vont être traités dans les étapes de DMAIC qui viennent sont :

- ✓ CTQ1 : Ramener le CL- aux tolérances
- ✓ CTQ2 : Ramener le Cd aux tolérances

2.5. Estimation des gains

L'aspect économique est très important et il convient de ne pas le négliger dès le départ du projet.

La plupart des gains liés à la maîtrise totale des éléments chimiques présents dans le phosphate lavé sont très difficiles à estimer.

- ✓ Elimination des amendes supplémentaires
- ✓ Elimination des réclamations client du phosphorique.
- ✓ Augmentation des durées de vie des équipements chez l'atelier phosphoriques en maîtrisant la teneur de Cl-.
- ✓ Augmenter la fidélité des clients potentiels et en gagner d'autres.

3. Etape mesurer

La première étape nous a permis de parfaitement définir le cadre du chantier et de mettre en évidence les paramètres critiques pour la qualité telle qu'elle est vue par le client (*CTQ : Critical To Quality*).

Afin d'avoir des données suffisamment fiables pour pouvoir les exploiter, on vérifiera au préalable que la variabilité de notre système de mesure est faible par rapport à la variabilité des éléments que l'on cherche à mesurer.

La mesure va porter sur deux éléments :

- Les entrées et les paramètres du pilotage du processus ou les facteurs X.
- Les sorties du processus ou les réponses Y.

3.1. Mesurer le processus

Dans la seconde phase de l'étape Mesurer, on va réunir des informations qui soient mesurables sur le processus. La laverie possède déjà des mesures sur le CL- et du Cd en sortie mais ne sont pas exploitables. Pour faire en sorte que ces mesures soient pertinentes, on doit

chercher à limiter la variabilité. Pour cela, pour le cas du Cl- on commence par améliorer le processus sans recourir à des statistiques, simplement en figeant le plus possible de facteurs suite à une analyse des 5M, Mais avant de s'attaquer à une analyse 5M, un brainstorming est réalisé en groupe pour ne négliger aucune source de variabilité. Ensuite pour faire face à la variabilité du Cd, une analyse granulométrique pour savoir les tranches où se concentre le Cd d'une grande quantité pour bien attaquer directement la source d'élévation du celui-ci.

Les courbes des spécifications chimiques établies précédemment nous montrent que P2O5 est presque maîtrisée. Les CTQ liés à MgO et Cd sont un peu maîtrisable. Ce qui n'est pas du tout maîtrisable c'est le CTQ Cl-. Le tableau (19) rassemble les analyses qui confirme ce qu'on vient de voir graphiquement.[4]

Elément	Moyenne	Sigma	Tolérance supérieure	Tolérance inférieure	Capabilité Cp
CL- en ppm	998,000	197,000	750,000	500,000	0,212
Cd en ppm	8,040	1,040	8,000	5,000	0,481
MgO en %	0,659	0,035	0,650	0,400	1,190
P2O5 en %	30,500	0,224	30,750	29,500	0,930

Tableau 19 : Capabilité des spécifications chimiques

Le processus de la laverie est moins capable par rapport à CL- qui a une capabilité égale à 0,212 alors qu'un processus maîtrisé a une capabilité supérieure strictement à 1.

Comme le secteur lignes du lavage est composé de 4 lignes presque identiques, il suffit de prendre une seule ligne pour appliquer le Six sigma, voir les résultats puis la généraliser sur les autres lignes et aussi sur les autres laveries du groupe utilisant l'eau de mer. Cependant ce choix ne peut être fait arbitrairement. En fait, les lignes ont été construites pour le même but : produire un phosphate lavé respectant les exigences client, mais elles ont des capacités différentes. On va se baser sur ces indices pour identifier la ligne la plus critique sur laquelle portera notre plan d'action pour les chlorures.

Le tableau (20) représente une analyse d'historique des chlorures de l'année 2017 pour chaque ligne: [1]

	Ligne1	Ligne2	Ligne3	Ligne4
Moyenne CL- en ppm	11	10,12	801,47	781,42
Ecart type	183	164.13	73.8	118
Capabilité Cp	0.22	0.25	0.56	0.35
Moyenne Cd en ppm	7.74	7.74	7.58	7.79
Ecart type	1.32	1.24	1.19	1.47
Capabilité Cp	0.38	0.40	0.42	0.34

Tableau 20 : Moyennes et Capabilité de CL- et du Cd par ligne

D'après les moyennes, le CL- dépasse largement la limite supérieure pour la Ligne 1. La ligne. Tans dis que le moins capable est la ligne 1, suivi par la ligne 2 pour le CL⁻. Pour ce faire, nous allons appliquer la démarche DMAIC uniquement sur la ligne 1 qui la plus décentré par rapport aux tolérances afin de bien se concentrer sur le problème pour CL⁻.

3.2. Analyse des 5M du processus

Un des outils d'analyse les plus utilisés est le diagramme de poisson (diagramme d'Ishikawa). On identifie cinq causes fondamentales de la non-maîtrise de CL- comme le montre la figure (19)

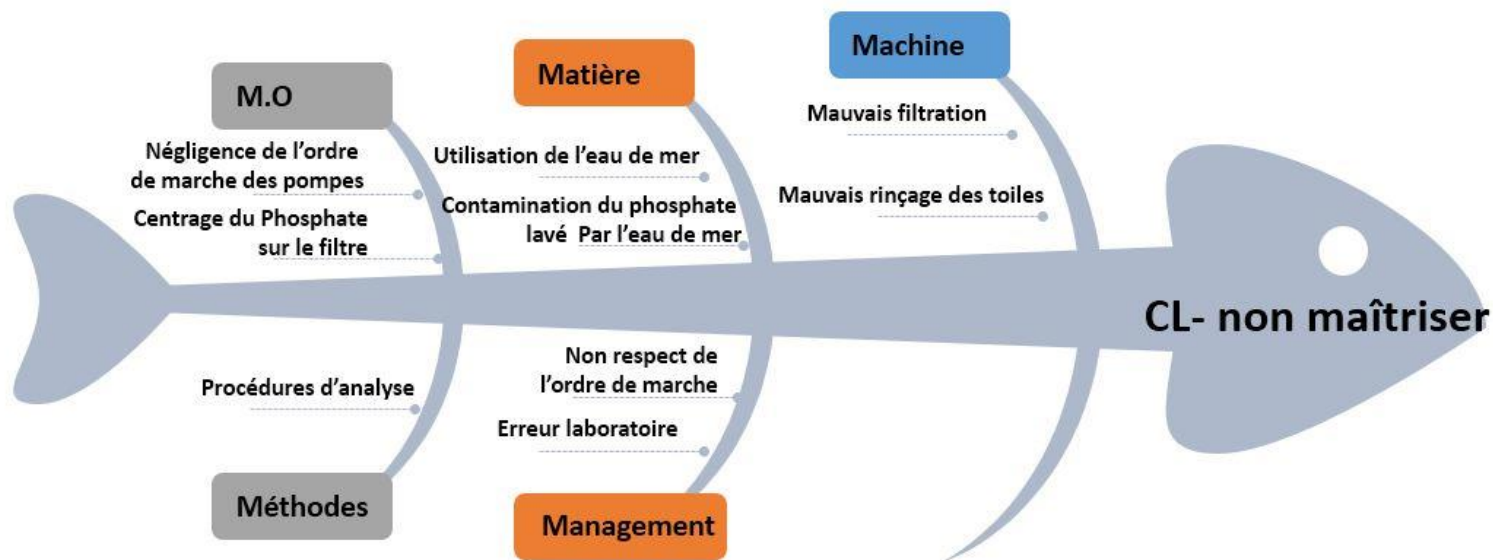


Figure 18: Analyse 5M pour le manque de spécifications chimiques

3.3. Figurer les facteurs non maîtrisés :

Il s'agit ici de « ramasser les fruits au pied de l'arbre » par des premières améliorations avant de faire des grosses améliorations « chercher les fruits au sommet de l'arbre » qui feront l'objet de l'étape innover. Pour y arriver, Nous allons faire une analyse 5 pourquoi (tableau (21)) afin d'agir sur les causes racines et non pas des dérives.

Pourquoi 1 ?	Pourquoi 2 ?	Pourquoi 3 ?	Pourquoi 4 ?	Pourquoi 5 ?
CI- Non maîtrisé	Erreur laboratoire	- Conditions expérimentales non respectées	non-respect des procédures d'analyses de CL-	
		Analyse inexpérimenté		
	Non-respect de l'ordre de marche des pompes	Non Asservissement des pompes 54 et 52		
	CI- élevé dans la pulpe à l'entrée du filtre	Utilisation de l'eau de mer à l'entrée du filtre pour assurer la	Mauvaise Conception de l'alimentation du filtre en pulpe	

	circulation du phosphate		
débit insuffisant de l'eau douce	Fuite dans les conduites	Conduites périmés	
	Niveau d'eau dans le bac	non remplissage du bac avant démarrage de la ligne.	Bac non asservi ou personnes non formé
	Alimentation faible de l'eau douce de la part des sources de traitement	Pompes Faible puissance	
Procédures trop longue d'analyses des échantillons			
Contamination du phosphate lavé par eau de mer ou eau douce contaminé par cl-	Contamination par tuyau de nettoyage de l'eau de mer	Personnel non qualifié	
	Contamination par le débordement des bacs	Non fonctionnement de déclenchement de détecteur de niveau haut	
Mauvais filtration	Bouchage des mailles des toiles		
	Rinçage	Mauvaise orientation des buses d'arrosages	
		Bouchage des buses d'arrosage	
	Débit insuffisant des pompes 57 et 54		
Déséquilibre du rinçage de phosphate	Les trous des nacelles bouchées	Absence d'une vérification de la répartition des débits de la nacelle	
Epaisseur variable du gâteau sur le filtre	Répartiteur périmé		
	les toiles encrassées		
Circuit vide	Prise d'air	Boite à vide	Manque d'étanchéité
			Fuites

		Dégradation Pompe à vide	
--	--	-----------------------------	--

Tableau 21 : 5 pourquoi de la non-maîtrise des chlorures

Après avoir cherché les sources racines de variabilité, nous allons proposer des solutions simples et à moindre frais afin de figer ces facteurs.

Source racine de la non-conformité	Solution envisagés \
non-respect des procédures d'analyses de CL-	Confirmation par un autre agent une fois si CL-<750 ppm et deux fois si CL-> 750 ppm
Non Asservissement des pompes 54 et 52	Contacteur l'agent de la salle de contrôle pour faire l'asservissement des pompes 60,52, 47 et 54
Conduites encrassés	Changement des conduite et souder ce qu'on peut souder
Bac non asservi ou personnes non formé	Exiger aux chefs des postes des postes de remplir le bac à la consigne fixée avant redémarrage de la ligne 1 et un niveau liquide entre 85 % et 90 %
Pompes Faible puissance	Ajouter une troisième pompe réserve de même puissance
Procédures trop longues d'analyses des échantillons	Confirmation des résultats par un autre agent de plus
Personnel non qualifié	Réclamer la société sous-traitant
Non fonctionnement de déclenchement de détecteur de niveau haut	Etalonner le détecteur de niveau haut
Absence d'une vérification de la répartition des débits de la nacelle	Etablir une méthode simple pour mesurer la répartition du débit des nacelles
Répartiteur périmé	Changement du répartiteur (faire une commande le plus tôt possible)
les toiles de nacelles périmées	Changement des toiles des nacelles
Fuite au niveau de l'aspiration	Suivre un plan d'inspection
Manque d'étanchéité	Remet en état des bandes d'étanchéité
Bouchage des buses de pulvérisation	Contrôler les buses de pulvérisation d'eau (bouchage buse)
Dégradation Pompe à vide	Remise en état de la pompe à vide

Tableau 22: Solutions pour figer les facteurs

3.4. Mettre en œuvre une campagne de relevés

Les relevés doivent permettre de mesurer le Z du processus, calculé à partir des réponses Y et aussi établir une relation entre les facteurs X et les réponses. D'où l'importance de faire des relevés sur les Y et d'autres sur les X. Le tableau (23) représente une campagne de relevé pour les facteurs et les réponses.

Paramètre à mesurer	Source des mesures
Y1 : CL- en sortie de la ligne 1	l'historique des analyses de laboratoire Le relevé est effectué sur 69 jours (voir Annexe I)

Tableau 23 : Campagne de relevé pour les facteurs et les réponses

- Concernant Le taux de fine, il n'y a pas un suivi régulier par ligne.
- L'épaisseur du gâteau et la distance entre les nacelles sont maintenus constant à un seul niveau
- Le débit du filtrat clair est changé arbitrairement et il n'y a pas un suivi

3.5. Estimer le Z du processus

Afin de mesurer le niveau de qualité actuel et fixer des objectifs réalistes par la suite, on doit mesurer le Z de processus. Dans notre cas les défauts sont mesurables en discontinu (une fois par jour) pour le CL- en sortie de la ligne 1.

On calcule tout d'abord la probabilité pour que le Cl- en sortie de la ligne 1 Y1 soit supérieur à 750 ppm. Pour cela on transforme la variable aléatoire Cl- en sortie qui suit une loi normale, voir l'étape Analyser, en une variable centrale réduite Z et grâce à la fonction LOI.NORMALE.STANDARD que nous présente Excel on calcule facilement la probabilité p pour que le phosphate en sortie soit non conforme par rapport à Cl-.

On a:

$$P(Y_1 > 750) = P\left(\frac{Y_1 - \bar{Y}}{\sigma} > \frac{750 - \bar{Y}}{\sigma}\right)$$

$$\begin{aligned}
 &= P\left(Z > \frac{750 - \bar{Y}}{\sigma}\right) = P\left(Z > \frac{750 - 811}{183}\right) \\
 &= P(Z > -0,33) = P(Z < 0,33)
 \end{aligned}$$

En utilisant la table de la loi centrée réduite, on trouve :

$$P(Y_1 > 750) = P(Z < 0,333) = 0,6293 = 62,93 \%$$

Puis, en utilisant la calculatrice Six sigma qui nous présente le logiciel STATGRAPHICS on calcule facilement le niveau de qualité actuel comme le montre le tableau (24). [8]

Indice	Valeur
DPM	629300
Défauts en %	62.93
Rendement en %	37.07
Cpk	-0.106753
Niveau Sigma	1.17974

Tableau 24 : Z de processus pour les chlorures

Donc le Z-processus est de 0,6293 pour Cl⁻.

3.6. Actualisation des objectifs :

Après avoir mesuré le niveau-sigma du processus nous avons estimé quelques objectifs à atteindre au bout de cette et à long terme au bout de 2020 comme les montrent le tableau (25)

Problème	Objectifs court terme (2018)	Objectif long terme (2020)
Cl ⁻ sortie ligne 1	Diminuer le taux de non-conforme de 62,93 % à 3%	Diminuer ce taux à 0,4%
	Augmenter le Z processus de 1,17974 à 3,38	Augmenter Le Z processus à 4,152

Tableau 25 : Actualisation des objectifs

4. Etape analyser

L'étape « Analyser » a pour objectif d'augmenter notre connaissance du processus afin de découvrir les causes « racines » de la variabilité et de la performance insuffisante de la ligne une par rapport aux chlorures. À la fin de cette étape, on doit avoir une idée très précise des sources

d’insatisfaction et des paramètres qui devront être modifiés pour atteindre la performance attendue. L’analyse statistique doit porter sur les Y, mesures représentant les CTQ, et sur les relations entre les X (variables d’entrées) et les Y. Vu que plusieurs facteurs ont été figés pendant l’étape mesurer, maintenant on va se concentrer sur les X restantes comme le montre la figure (20).

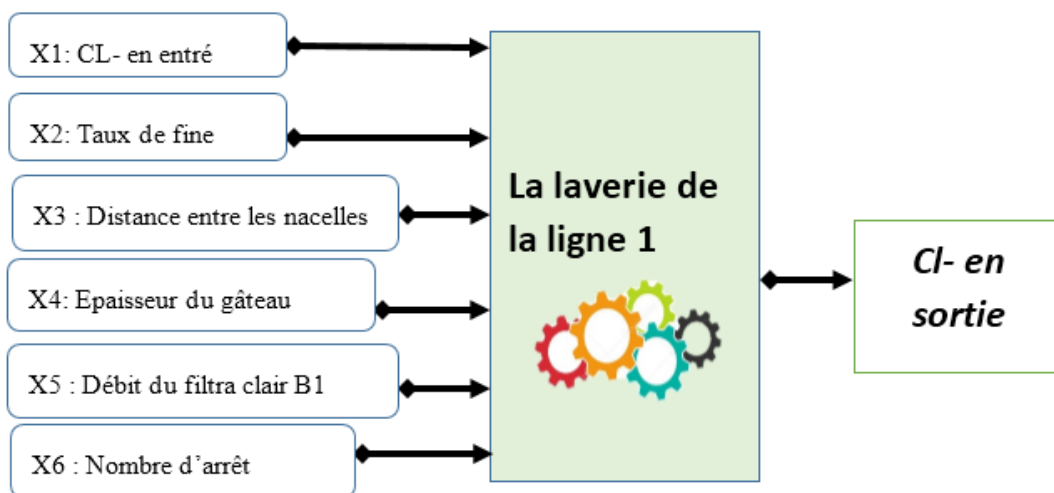


Figure 19 : Causes de variabilité de variabilité des chlorures

4.1. 5 pourquoi de variabilité des chlorures

Le tableau (26) illustre le diagramme des « 5 pourquoi » afin de générer les causes racines de variabilité des chlorures.

Pourquoi1 ?	Pourquoi2 ?	Pourquoi3 ?	Pourquoi4 ?	Pourquoi5 ?
CTQ1 : Le phosphate est non conforme par rapport à CL- de 62,93 %	Débit maximale de l'eau douce insuffisant <u>(1)</u>			
	L'eau douce est contaminé de CL- à 285 ppm <u>(2)</u>			
	Débit du filtrat clair non ajusté <u>(3)</u>			
	Distance entre les nacelles non ajusté <u>(4)</u>			
	Epaisseur du gâteau non ajusté <u>(5)</u>			
	Déclenchement des lignes <u>(6)</u>			

	Taux de fine élevée	-Coupure non ajustée de 34, 37,41 et 44 (Z)		
--	---------------------	---	--	--

Tableau 26 : Les 5 niveaux pourquoi de la variabilité des chlorures

5. Etape Innover/améliorer

Les trois premières étapes de l'application de la méthodologie Six Sigma nous ont permis de connaître les facteurs X responsables de la variabilité de Y . Durant ces trois premières étapes, on n'a pas modifié le processus en profondeur. Les modifications introduites n'ont porté pour l'instant que sur la réduction de la variabilité en figeant tous les facteurs qui pouvaient l'être (voir étape « Mesurer »).

5.1. Générée des solutions

La génération de solutions est le fruit d'un travail de groupe. De très nombreux outils ont été développés pour assister les groupes de travail dans ce domaine.

Pour générer des solutions, on a fait un brainstorming en groupe en se basant sur les 6 facteurs sélectionnés à la fin de l'étape Analyser.

Problème	Problèmes potentiels	Cause potentielles	Solutions
Cl ⁻ = 285 ppm	Eau douce	Contamination par Cl ⁻	Neutraliser l'eau douce (Cl ⁻ = 0 ppm)
Arrêts	Arrêt des lignes	Asservissement mal fait	Asservissement de l'arrêt des nacelles
Paramètre non ajusté	Filtre	Epaisseur du gâteau	Ajuster les paramètres du filtre
		Distance entre les nacelles	
		Taux de fines	
		Débit filtrat clair	
Débit maximale non-assuré	Pompe 60	Débit de l'eau douce insuffisant	Assurer un maximum débit de l'eau douce

Tableau 27 : Récapitulation des solutions proposées

Solution 1 : Débit maximale de l'eau douce insuffisant :

Augmenter le débit de la pompe 60N de l'eau douce de 150 m³/h à 200 m³/h ce qui implique augmenter le débit maximum de l'eau douce de 40 m³/h à 70 m³/h comme le montre la figure (21).

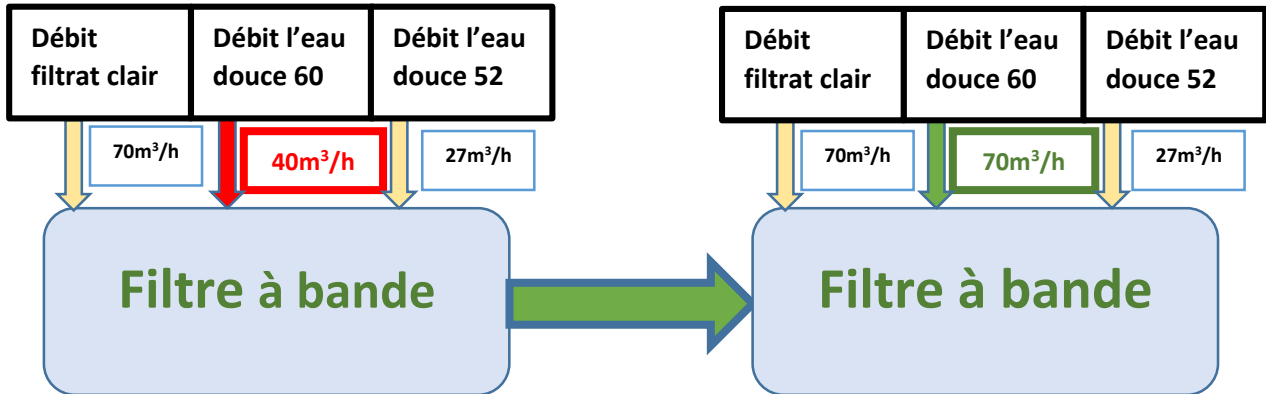


Figure 20 : Augmenter le débit de l'eau douce

En employant cette solution on serait obligé de changer la pompe de l'eau douce avec une autre plus puissante. Malgré que cette solution s'avère efficace pour la diminution du CL- mais va dégrader l'efficacité de la pompe à vide ce qui va augmenter le taux d'humidité puis la charge sur les convoyeurs

Solution 2 : L'eau douce est contaminé de CL- à 285 ppm (2)

La figure (22) illustre la solution proposé envie de résoudre le problème de contamination de Cl- est d'utiliser l'eau neutre de teneur de Cl- = 0 ppm au lieu de l'eau utilisé maintenant ou Cl- = 285 ppm.

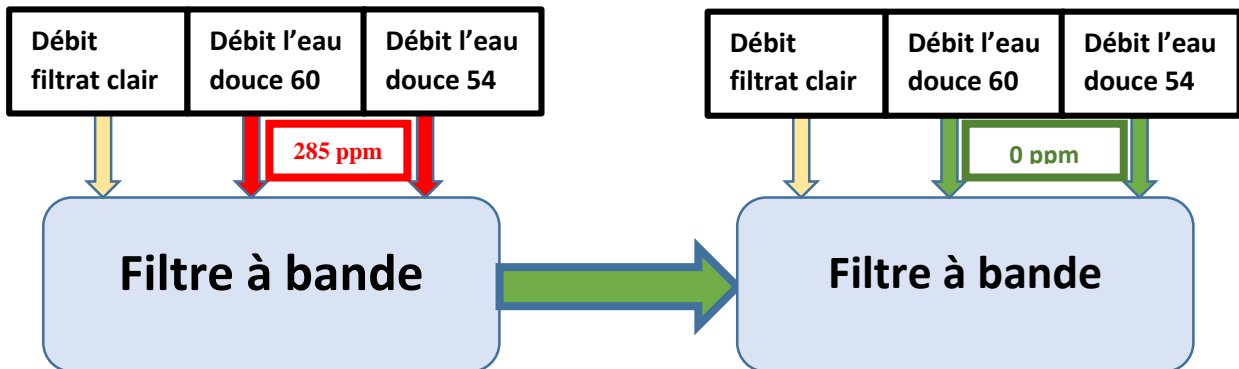


Figure 21 : utiliser l'eau neutre

- L'eau neutre est trop chère

Solution 3: Ajuster les paramètres critiques du filtre à bande de tel sorte à minimiser le CL- en sortie de la ligne 1

La filtration possède des paramètres qui doivent être maintenus dans une limite qui assure une bonne marche, parmi les principaux paramètres on peut citer :

- l'épaisseur du gâteau sur le filtre liée à la vitesse du filtre V.
- la distance entre les nacelles d.
- taux de fine.
- Débit filtrat clair D.

La figure (23) présente les paramètres à ajuster pour assurer une bonne marche.

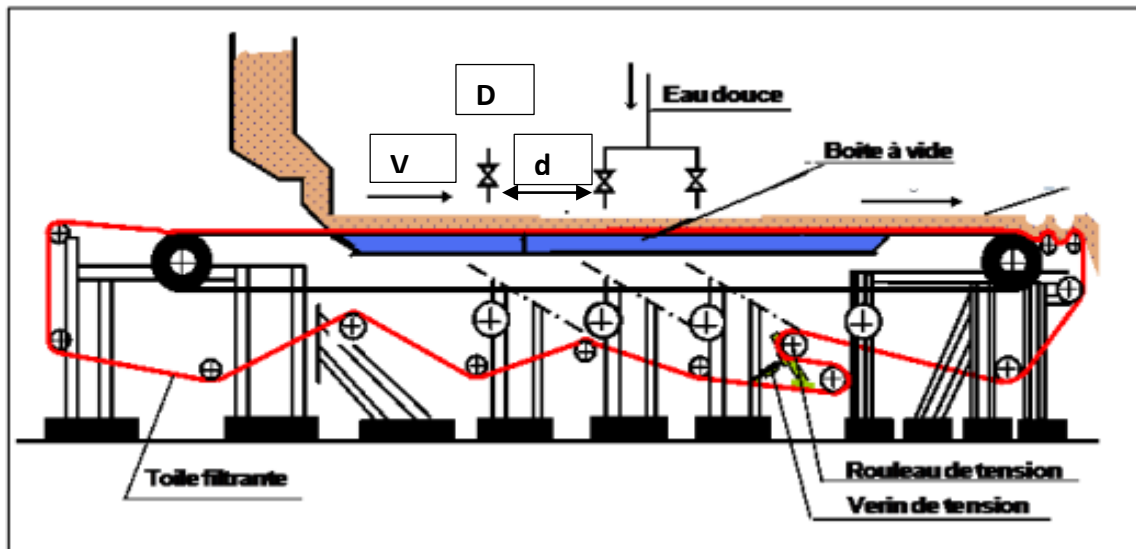


Figure 22: Les paramètres du filtre à bande à ajuster

5.2. Choix d'une solution

Lors de la phase génération des solutions, on a pu trouver quatre solutions pour le problème de Cl- et trois pour le manque de phosphate. Comme il n'est pas possible de mettre en place toutes les solutions, on va choisir celles les plus efficaces selon les critères suivantes :

Effet : cette solution est-elle susceptible de résoudre réellement le problème ?

Faisabilité : est-elle possible du point de vue technique ?

Economie : quel est le coût relatif à son application ?

Délai : quel est le délai nécessaire à sa mise en place ?

Effet indésirable : génère-elle d'autres problèmes ?

Chaque critère va être pondéré de 2 à 5 suivant le tableau (28). Par la suite on multipliera les quatre critères afin de calculer la note de chaque solution.

Coefficient	2	3	4	5
Effet	Négligeable	Moyen	Important	Très important
Faisabilité	Très difficile	Difficile	Facile	Très facile
Economie	Très couteuse	Couteuse	Economique	Très économique
Délai	Très long	Long	Moyen	Court
Effet indésirable	Très important	Important	Moyen	Négligeable

Tableau 28 : Critères de choix d'une solution

5.3. Application de la démarche

Nous avons adopté la démarche de choix d'une solution afin d'avoir celles le plus efficiente comme le montre le tableau (29)

Problème	Solution	Effet	Faisabilité	Economie	Délai	Effet indésirable	Note globale
Problème CL-	Solution 1	4	4	3	3	2	288
	Solution 2	2	3	2	2	5	120
	Solution 3	3	4	5	4	4	960

Tableau 29 : La note globale pour chaque solution proposée

La solution retenue est :

- **L'ajustement des paramètres du filtre**

Valider la solution retenue :

Pendant ce stade on va prouver les solutions sélectionnés marche expérimentalement pour le problème des chlorures. Le tableau illustre la plage de variation des paramètres du filtre et leurs points de commandes.

Paramètre	Plage de variation	Responsable
Distance d entre les nacelles	d-80 cm d+80 cm	Chantier
Epaisseur du gâteau e en cm	A travers la variation de vitesse : 0,12 m/s à 27 m/s	La salle de contrôle
Taux de fine	9,5 à 13,5 %	La salle de contrôle
Débit filtrat clair en m3/h	50 à 70	La salle de contrôle

Tableau 30: La plage de variation des paramètres et leurs points de commande

Planifier la mise en œuvre

Qui ?	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Stagiaire ➤ Chef des lignes de lavage ➤ Chef d'atelier ➤ Chef de poste
Quoi ?	Faire un plan d'expérience
Quand ?	Le 30/05/2018 de 8h à 12h
Où ?	La ligne 1
Comment ?	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Varier la vitesse de la bande V, le taux de fine t et le débit de filtrat clair D ➤ Les distances entre les nacelles
Pourquoi ?	Trouver la combinaison des facteurs qui minimise la réponse CL-

Tableau 31: QQQOCP pour planifier la mise en place

5.4. Conclusion

Tout au long de l'étape «Innover», nous avons proposé des solutions jugées innovantes. On a eu recours à des outils d'aide à la décision telle que : le vote pondéré, la matrice de compatibilité, Brainstorming,...

D'après sa mise en place, il s'avère que la démarche de résolution de problème DMAIC liée à Six Sigma est plus puissante que les démarches classiques telles que le PDCA puisque le DMAIC se base essentiellement sur des mesures et des faits pour analyser les causes et générer des solutions. En outre, Le DMAIC est bien structuré et donne une grande importance au client chose qui n'existe pas chez le PDCA

6. Etape Contrôler:

L'ensemble des étapes « Définir », « Mesurer », « Analyser », « Innover/ améliorer » a permis de fournir une solution afin d'améliorer le σ du processus. Cette cinquième étape a pour objectif de se donner les moyens de mettre sous contrôle le processus afin de s'assurer de la stabilité de la solution trouvée (tableau (14)).

ANOMALIE	REMEDES	Responsable
Epaisseur du gâteau supérieur à 15 mm , Mauvaise répartition de l'eau douce sur la table filtrante des points où épaisseur gâteau élevé et d'autre point où épaisseur bas.	Augmenter la vitesse de la table filtrante remise en état de la nacelle de distribution de la bouillie sur le filtre (horizontalité, état mécanique	L'opérateur de la salle du contrôle Equipe mécanique s'il s'agit de la nacelle
Apparition de non-conformité de Cl-	En cas d'apparition d'une non-conformité de Cl-, faire une analyse 5M immédiat afin de cerner la source de variabilité le plus tôt possible et éviter de reporter l'analyse puisqu'il y aura d'autres sources de variabilités et l'analyse sera moins pertinent	Chef des lignes de lavages
Niveau insuffisant de l'eau douce dans les bacs	Afficher le niveau des bacs de l'eau douce chez le chef des lignes de lavage, et aussi l'ordre de marche des pompes	L'opérateur de la salle du contrôle

Dérangement des paramètres du filtre	Afficher les paramètres de filtre à bande chez le chef des lignes de lavage et agir immédiatement au cas où il y un décentrage autour la consigne	L'opérateur de la salle du contrôle
Distances non-ajuster entres les nacelles	Contrôler la distance entre les nacelles mensuellement	Equipe mécanique
Dégradation de la toile filtrante	Contrôle et suivre la qualité des toiles - Rapiéçage des toiles en cas de présence de déchirures ou des trous au niveau de toile -débouchage des buses de lavage toile -changer les toiles suivant le planning et l'état l'encrassement	Opérateur SIDEN
Mauvais lavage toile	Contrôle les buses de pulvérisation d'eau (bouchage buse)	L'opérateur de la Salle du contrôle
Chute de vide du Filtre	contrôle de la pompe à vide (état des Courroies de transmission, débit eau de mer d'alimentation anneaux liquide, fuites,...)	-L'opérateur de la Salle du contrôle -Equipe mécanique
Taux de fines élevé	Vérification de coupure des hydrocyclones 34, 37, 41 et 44	Opérateur de laboratoire

Tableau 32 : les actions de contrôle des solutions retenues

6.1. Conclusion

D'après sa mise en place, il s'avère que la démarche de résolution de problème DMAIC liée à Six Sigma est plus puissante que les démarches classiques telles que le PDCA puisque le DMAIC se base essentiellement sur des mesures et des faits pour analyser les causes et générer des solutions. En outre, Le DMAIC est bien structuré et donne une grande importance au client chose qui n'existe pas chez le PDCA.

Conclusion générale

L'objectif de ce travail était d'améliorer les performances de l'unité de production laverie en agissant sur deux problèmes majeurs aux yeux des clients internes et externes du service laverie à savoir le dépassement des chlorures aux exigences et le manque de phosphate. À cet effet, nous avons fait de la fiabilisation de l'installation pour maintenir la continuité de la production du phosphate lavé et répondre à la variabilité des chlorures grâce à la méthode Six Sigma.

Alors pour fiabiliser l'installation il a été essentiel de suivre une démarche bien structurée. Tout d'abord nous avons commencé par une reconnaissance du milieu, du personnel, de tous les aspects de l'activité à l'usine. Les différents départements, postes et processus de production. Cela nous a permis de découvrir le monde du travail en général grâce à l'interaction quotidienne avec des personnes différentes, dans leurs attitudes comme dans leurs compétences.

Ensuite, afin de mener à bien notre mission, nous avons choisi d'effectuer une étude Pareto visant la sélection des équipements jugés les plus critiques en termes d'heures d'arrêt pour finalement déterminer les défaillances sur lesquelles il faut agir impérativement. Puis, Au terme de cette analyse, nous sommes sorties avec trois équipements critiques, équivalent de cinq défaillances.

L'étape qui suit est naturellement l'analyse des causes de ces défaillances et proposer des actions concrètes, simples à réaliser pour maîtriser les arrêts de la laverie.

Grace à la démarche DMAIC, liée à l'outil de résolution de problème Six Sigma, on a pu résoudre le problème de dépassement des chlorures aux exigences. Il reste juste la mise en place totale des actions d'améliorations de l'étape mesurer et les solutions sélectionnées lors de l'étape innover pour visualiser l'atteinte des objectifs fixés pendant l'étape Mesurer. Ce projet peut être généralisé facilement sur les autres lignes et aussi sur les autres laveries du groupe utilisant l'eau de mer pour avoir les mêmes résultats et voire mieux selon le respect des étapes DMAIC et aussi leur compréhension.

La méthodologie Six Sigma peut être mise en place sur les différentes étapes de la chaîne de valeur et non seulement dans la laverie ou pour diminuer le teneur des chlorures ou du cadmium. Elle a la capacité d'être adaptée à tout type de problème que ce soit un service ou un produit. Il faut juste bien choisir les mesures et vérifier le système de mesure pour ne pas se baser sur des mesures erronées.

Bibliographie

ANNEXE

