

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la
Recherche Scientifique



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique

Ecole Nationale Polytechnique
Département de Génie Industriel
Option Management de l'innovation

Projet de Fin d'Etudes

Thème

Contribution à la réduction des pertes de matière
première en utilisant la méthodologie Six Sigma



Nestlé

Présenté par :

M. Amine LAROUK
M. Nabil HASNI

Dirigé par :

Mme Nibouche (ENP)
Melle Ait Bouazza (ENP)
M. Mustapha BOUKHOF
(Nestlé industrie Algerie)

Promotion : Juin 2015

Remerciements

A ALLAH Le Tout Puissant, Omniscient, Clément et Miséricordieux pour nous avoir donné la santé, la force nécessaire et le courage pour mener à bien ce travail.

Nous tenons à remercier,

M. Amine : Chef d'usine chez Nestlé Industrie Algérie, pour nous avoir accueillis et donné l'opportunité d'évoluer au sein de l'entreprise.

M. Mustapha : Responsable du service qualité chez Nestlé Industrie Algérie qui a été notre promoteur dans le cadre de notre stage et qui nous a guidés, orientés et mis à notre disposition toutes les ressources nécessaires au bon déroulement de notre projet.

M. Yacine : Responsable de la production de l'usine, pour nous avoir ouvert les portes de son département, d'avoir porté un grand intérêt à notre projet et de nous avoir transmis généreusement ses connaissances qu'elles soient en relation avec le projet ou d'ordre général.

Tout le personnel de l'usine ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de notre travail.

Notre profonde gratitude et nos sincères remerciements vont également à :

MMe Nibouche : notre encadreur à l'ENP, pour son implication et son encadrement.

Melle Ait Bouazza : notre Co-encadreur à l'ENP, pour son aide.

Mr Zouaghi : qui nous a accordé de son temps et qui s'est toujours montré disponible pour nous apporter ses précieux conseils.

Nous remercions aussi les membres du jury, ainsi que tous nos professeurs de l'Ecole Nationale Polytechnique pour nous avoir formés et transmis leur savoir.

DEDICACES

Je dédie ce travail :

A mes chers parents. Grâce à leurs encouragements et leurs grands sacrifices, ils ont pu créer le climat affectueux et propice à mes études. Aucune dédicace ne pourrait exprimer mon respect, ma considération et mes profonds sentiments envers eux.

A ma petite sœur et mes frères qui illuminent mes jours de bonheur et à la mémoire de mon frère Reda.

A tous les membres de ma famille.

A tous mes amis, camarades de classe et les membres du CAP qui ont fait de ces années une expérience inoubliable.

Amine

A mes parents et tout particulièrement ma mère, qui a consacré tous ses efforts pour mon éducation et ma réussite.

A ma chère femme, qui m'a soutenu et m'a encouragé durant les moments les plus difficiles et qui a su me donner le sourire à chaque fois.

A tous mes proches, pour leur soutien et leurs encouragements.

A tous mes amis et camarades, qui ont fait de ces années des années inoubliables.

Je dédie ce modeste travail.

Nabil

ملخص: تواجه صناعة الأغذية مشكلة التذبذب يوميا. وهذا يتسبب في خسائر مالية كبيرة أدت بالعديد من الشركات الى بذل مجهودات قصد الحد من هذه المشكلة، وتعتبر شركة نستله رائدة في هذا السياق. يظهر التذبذب في مراحل مختلفة على جميع أنحاء سلسلة التوريد (الإنتاج والتجهيز والتعبئة والتوزيع والاستهلاك)، ومن الأفضل أن تتخذ إجراءات في كل مرحلة من مراحل السلسلة من أجل تحقيق الحد الأدنى من التذبذب. ينضم هذا المشروع الى سلسلة من تدابير الحد من التذبذب التي تشهدها الوحدة "Dairy" للمصنع "Nestlé Industrie Algérie" التي تتضمن النشاط الرئيسي للمصنع.

يهدف هذا المشروع الى الحد من الخسائر في المواد الأولية خلال عملية التعبئة والتغليف لمسحوق الحليب. لتحقيق هذا الهدف، تم استخدام منهجية «Six Sigma» تتضمن هذه المنهجية 5 مراحل "DMAIC" (تعريف، قياس، تحليل، تحسين والتحكم). من خلال هذا النهج المسألة هي تحديد المشكلة وأسبابها الجذرية، وتحليل تلك الأسباب من اجل تحديد مجالات التحسين واقتراح وسائل للحفاظ على تلك التحسينات

الكلمات المفتاحية: الحد من التذبذب، ستة سغما، علم القياس، الجودة، الانتاج.

Résumé : L'industrie et plus particulièrement l'industrie agro-alimentaire est confrontée quotidiennement au problème de gaspillage. Celui-ci lui implique des pertes financières conséquentes qui ont mené à une mobilisation croissante de nombreuses firmes importantes pour pallier au problème du gaspillage et le groupe Nestlé est leader dans cette dynamique.

Les différents stades d'apparition du gaspillage se succèdent tout au long de la chaîne logistique (production, transformation, conditionnement, distribution, puis consommation) et il est préférable de mener des actions au niveau de chaque maillon pour atteindre un objectif optimal de réduction du gaspillage.

Ce projet s'inscrit dans le cadre de la réduction du gaspillage au sein de l'unité Dairy de Nestlé Industrie Algérie, qui abrite l'activité principale de l'usine. Il vise à réduire les pertes de matière première lors du conditionnement de la poudre de lait. Pour atteindre cet objectif la méthodologie de gestion de projet Six Sigma est déroulée selon les 5 phases du DMAIC (Définir, Mesurer, Analyser, Innover, Contrôler). A travers cette démarche, il est question de définir le problème et ses causes racines, de les analyser en profondeur, puis de proposer des pistes d'amélioration et de contrôle continu pour y faire face.

Mots Clés : Réduction du gaspillage, Six Sigma, Métrologie, Qualité, Production.

Abstract: Food industry faces the waste problem on a daily basis. This involves substantial financial losses that led many important companies to mobilize resources in order to address the waste problem, and the Nestlé Group is a leader in this dynamic.

Waste appears on different stages throughout the supply chain (production, processing, packaging, distribution and consumption) and it is better to take action at each stage of the chain in order to achieve a minimal level of waste.

This project fits as part of the waste reduction measures taking place in the “Dairy” unity of Nestlé Industrie Algérie, which houses the main activity of the factory. It aims to reduce raw material losses during milk powder packaging process. To achieve this goal, Six Sigma methodology was used. This methodology consists of the 5 phases of the DMAIC cycle (Define, Measure, Analyze, Improve, and Control). Through this approach it is question of defining the problem and its root causes, deeply analyzing those causes and identifying areas of improvement ways to sustain those improvements.

Keywords : Waste reduction, Six Sigma, Metrology, Quality, Production

Sommaire

Introduction générale.....	1
Chapitre I : Présentation de l'entreprise	3
1. Introduction	4
2. Présentation de Nestlé	4
2.1. Présentation du groupe Nestlé.....	4
2.2. L'histoire de Nestlé.....	5
2.3. Activités	6
2.4. Nestlé en Algérie.....	7
3. Etude de l'existant	8
3.1. Infrastructure de l'usine	8
3.2. Personnel de l'usine	9
3.3. Description macroscopique de l'activité.....	9
3.4. Le processus de production, un processus clé.....	12
4. Problématique.....	13
Conclusion	17
Chapitre II : Etat de l'art	18
1. Introduction	19
2. Six Sigma	19
2.1. Origine	19
2.2. Principe et philosophie.....	20
2.3. Déroulement d'un projet « Six sigma »	20
3. Contrôle statistique de la qualité	22
3.1. Distribution de probabilité	22
3.2. Variation dans les processus	22
3.3. Capabilité d'un processus	24
3.4. Représentation graphique d'une distribution	27
3.5. Métrologie et capabilité des systèmes de mesures.....	29
3.6. Les cartes de contrôle.....	32
4. Outils et techniques	33
4.1. SIPOC	33
4.2. La charte de projet.....	34
4.3. Voix du client (VOC).....	36
4.4. Le diagramme cause à effet (Ishikawa)	38
4.5. Le Brainstorming	39
4.6. Le diagramme de Gantt.....	40
5. Conclusion.....	41

Chapitre III : Déroulement de « Six Sigma »	42
Introduction	43
Phase 1 : Définir	43
La charte.....	43
La voix du client VOC.....	46
SIPOC	49
Phase 2 : Mesurer	50
R&R capacité des moyen de mesure	50
Plan de collecte de données & échantillonnage	52
Boite à moustaches	53
L'histogramme - interprétation -capabilité	55
Phase 3 : Analyser	61
Les 5M du processus de conditionnement	61
Cartes de contrôle	64
L'opération de remplissage des sacs	65
Conclusion	69
Chapitre IV : Propositions d'améliorations.....	70
Introduction	71
Phase 4 : Innover / Améliorer.....	71
Changement de la technologie du doseur	72
Changement du Petit Hopper	74
Introduction d'un vibreur	76
Garder un niveau constant à l'intérieur du Petit Hopper :	76
Activer l'option de feedback du CW	77
Plan d'action d'amélioration.....	78
Phase 5 : Contrôler	82
Rappel du plan d'action à réaliser.....	82
Procédures et instructions à mettre en place	82
Conclusion	86
Conclusion générale	87
Bibliographie.....	88
Annexe	92

Liste des Tableaux

Tableau 1 : gamme de produits Nestlé (Nestlé, 2015)	7
Tableau 2 : DESCRIPTION DES PROCESSUS PRINCIPAUX	10
Tableau 3 : Méthodes de récolet de VOC	37
Tableau 4 : La charte	44
Tableau 5 : Les clients et CTQ	48
Tableau 6 : Cartographie SIPOC	49
Tableau 7 : caractéristiques des outils de mesure	51
Tableau 8 : résultats du testes sur les CWs	52
Tableau 9 : interprétation de la boite a moustache	54
Tableau 10 : résulta des données	57
Tableau 11: plan d'action (résumé)	82

Liste des figures

Figure 1 : Organigramme de Nestlé Industrie Algérie	9
Figure 2 : Cartographie typologique des processus	11
Figure 3 : chaîne de valeur de Nestlé industrie algérie	12
Figure 4: Diagramme d'Ishikawa pertes de matière première	15
Figure 5: graphe de proportion pour les pertes de matière première.....	15
Figure 6: Exemple d'une distribution normale (Chandler, 2012).....	23
Figure 7 : répartition des individus dans une distribution normale (Bencini & Pautz, s.d.) ...	26
Figure 8 : La nécessité des indicateurs Cpk et Ppk (Pillet & Duret, 2005).....	26
Figure 9 : Histogramme de valeurs	28
Figure 10: Exemple de boite a moustache	29
Figure 11: Rolr du processus de mesure	29
Figure 12 : La fidélité.....	30
Figure 13 : La justesse.....	31
Figure 14 : Diagramme cause-effet des 5M	39
Figure 15 Exemple d'un diagramme de Gantt (Gantt.com, 2012)	40
Figure 16 : Boite a moustaches des données des lignes A et B.....	54
Figure 17 : Histogramme des données de la ligne A.....	56
Figure 18 : Histogramme des données de la ligne B.....	57
Figure 19: Diagramme Ishikawa des causes de variation	63
Figure 20 : Carte de contrôle de la ligne A	64
Figure 21: Carte de controle de la ligne B.....	65
Figure 22 : Doseur et alimentation par vis sans fin (Cogard, 2006)	66
Figure 23 : Courbe reliant la cause (quantité dans le Petit Hopper) à l'effet (variation du poids des sacs).....	68
Figure 24 : Exemple de doseur "loss in weight" Source: Spécification produit Coperion K-TRON - Doseur monovis pondéral par perte de poids KML-S500-16D	73
Figure 25: Source: Spécification technique "Loss in weight feeding" - ROSPEN industries .	73
Figure 26 : Courbe reliant la cause (quantité dans le Petit Hopper) à l'effet (variation du poids des sacs) pour un volume plus grand	75
Figure 27 : Logigramme des actions correctives.....	84

Abréviations

5M	: Méthode, Matière, Main-d'œuvre, Milieu et Moyen
CTQ	: Critical to Quality
CW	: Checkweigher
DMAIC	: Define, Measure, Analyze, Improve, Control
FAQ	: Frequently asked questions
GH	: Grand Hopper
MP	: Matière première
NCE	: Nestlé Continuous Excellence
NCM	: Net Content Management
PF	: Produit fini
PH	: Petit Hopper
TRS	: Taux de rendement synthétique
VOC	: Voice of customer ou Voix du client
C_p	: Capabilité

Introduction générale

Toute mobilisation de ressource ne contribuant pas à la chaîne de valeur de l'entreprise est considérée comme du gaspillage. Le gaspillage au sein de l'entreprise entrave la création de la valeur. Cette raison pousse les organisations aujourd'hui à déployer des efforts considérables visant à réduire – voire éliminer – le gaspillage sous toute ses formes dans le but d'atteindre l'excellence opérationnelle.

Le groupe Nestlé, leader mondial dans la nutrition, la santé et le bien être est présent dans le monde entier à travers un éventail très large de produits. L'un des facteurs qui a mené le groupe à forger son image de référence mondiale de l'industrie agro-alimentaire est sa politique qualité. Celle-ci regroupe un ensemble de programmes dont le plus important : Nestlé Continuous Excellence. Ce dernier s'articule essentiellement autour de l'élimination du gaspillage « Zero Waste » et la conformité des produits aux exigences des clients et aux réglementations « Compliance ».

Nestlé Industrie Algérie se spécialise dans le conditionnement de la poudre de lait et la production de chocolat en poudre et de café au lait instantané. Conformément à la politique qualité du groupe Nestlé, la direction a mis en place plusieurs démarches qualité. Dans ce contexte, elle s'est penchée sur la problématique du gaspillage à travers une démarche d'amélioration au niveau de l'unité Dairy, où a lieu le conditionnement de la poudre de lait.

Notre projet de fin d'étude s'inscrit dans ce cadre et vise à réduire les pertes de matière première au niveau de l'unité Dairy. Pour la réalisation de ce projet, la direction a porté son choix sur la méthodologie Six Sigma, basée sur des outils statistiques et qui vise à déterminer les sources de variabilité d'un processus et à les réduire. Notre mission consiste dans un premier temps à analyser et classer les sources de pertes de matière première, puis à formuler des solutions qui répondent à cette problématique.

Notre mémoire est structuré selon quatre chapitres. Le premier chapitre présente le groupe Nestlé à travers le monde et Nestlé Industrie Algérie, notre organisme d'accueil. Il présente aussi l'analyse de l'existant que nous avons mené au sein de l'unité Dairy. Le deuxième chapitre présente une synthèse de la littérature traitant de la méthodologie Six Sigma – la démarche que nous avons suivie lors de ce travail – ainsi que les différents outils et méthodes que nous avons

mobilisés. Le troisième chapitre concerne les trois premières phases du DMAIC que sont Définir, Mesurer et Analyser, à travers lesquelles nous avons pu mieux cerner le projet et comprendre la problématique. Le quatrième et dernier chapitre regroupe les deux phases restantes, Innover/Améliorer et Contrôler, qui regroupent les différentes solutions et recommandations proposées pour faire face au problème.

Chapitre I : Présentation de l'entreprise

1. Introduction

Dans la première partie de ce chapitre, nous présenterons le groupe Nestlé, son histoire et ses activités. Nous présenterons ensuite Nestlé Industrie Algérie, notre entreprise d'accueil. Dans la deuxième partie, nous présenterons l'entreprise avec plus de détails à travers une étude de l'existant, afin de formuler notre problématique.

2. Présentation de Nestlé

Nous présentons l'entreprise Nestlé et sa présence dans le monde, nous allons ensuite nous intéresser à Nestlé industrie Algérie.

2.1 Présentation du groupe Nestlé

Nestlé est un groupe Suisse, leader mondial de la Nutrition, de la Santé et du Bien-être, avec une présence dans 197 pays à travers ses produits. Elle compte 339000 collaborateurs, et 442 fabriques dans 86 pays, dont deux en l'Algérie.

Avec un chiffre d'affaire de 85,15 milliards d'euros pour l'année 2014, le groupe figure dans le top 3 des sociétés de produits alimentaires et boisson de l'index Access to Nutrition¹ et le 1er dans le secteur de l'agro-alimentaire selon Forbes magazine²... Le mérite revient à la politique instaurée par Nestlé, appelée « Nestlé Continuous Excellence », qui fait du groupe une référence certaine en matière de qualité.

De plus, Nestlé est engagé dans les causes humanitaires et le développement durable : santé, nutrition, accès à l'eau potable... à travers sa vision de création de valeur partagée, à la fois pour les actionnaires, mais aussi pour les consommateurs.

Enfin, notons que le groupe mise beaucoup sur l'innovation. En effet, Nestlé possède le plus grand réseau de recherche et développement du secteur agro-alimentaire, avec 5,000 collaborateurs travaillent dans 34 centres et laboratoires de recherche à travers le monde.

¹ Fondation pour lutter contre la mauvaise nutrition et les maladies apparentées.

² Magazine économique américain. Classement par chiffre d'affaire.

2.2.L'histoire de Nestlé

Nestlé a vu le jour en Suisse au milieu des années 1860, lorsque le fondateur Henri Nestlé inventa la poudre de lait pour bébé et sauva la vie d'un nourrisson. Le premier produit de Nestlé était appelé "Farine Lactée Henri Nestlé". Quelques années plus tard, le produit était commercialisé à travers tout le continent européen.

En 1874, la société Nestlé a été achetée par Jules Monnerat. Nestlé a développé sa propre formule de lait concentré pour faire face à son concurrent Anglo-Swiss Condensed Milk Company (lait concentré). Les deux entreprises ont fusionné en 1905, un an après que Nestlé ait intégré le chocolat à sa gamme de produits. L'entreprise, qui porta le nom "Nestlé and Anglo-Swiss Milk Company" avait des usines aux États Unis, Espagne, Allemagne, Grande-Bretagne et l'Australie peu de temps après ces faits.

La première guerre mondiale a rendu l'approvisionnement en matière première et la distribution des produits difficiles. L'Europe était en crise et le lait était devenu rare, les entreprises devaient vendre le lait au grand public au lieu de l'utiliser comme ingrédient. Nestlé a fait l'acquisition de plusieurs usines aux Etats unis pour faire face à la demande grandissante. Après la guerre, la production de la société avait doublé, mais c'était une période de crise. Nestlé a du s'endetter et elle a connu des pertes importantes en 1921. Pour affronter ces difficultés, la direction de Nestlé a fait appel au spécialiste bancaire suisse Louis Dapples qui réorganisa l'entreprise et rationalisa les opérations de la société afin d'aligner la production sur les ventes.

Nestlé innove encore une fois dans les années 30 en développant Nescafé, le café instantané ayant révolutionné les habitudes de consommation du café. Peu de temps après, Nestea voit le jour. Nestea était à la base un thé soluble facilitant la préparation. De nos jours, la marque propose du thé glacé aux arômes divers.

Après la seconde guerre mondiale, Nestlé fusionna avec Alimentana S.A. qui produisait des soupes et des assaisonnements. La société a poursuivi son expansion en faisant l'acquisition de Cross & Blackwell (sauces et conserves), Findus (surgelés), et Libby (jus de fruits). Petit à petit, la gamme des produits Nestlé s'élargit et la société fait son entrée dans le domaine de la cosmétique, en devenant un associé majeur du groupe L'Oréal (cosmétiques) dans les années 70. Une nouvelle fois face à la crise, avec la hausse des prix des grains de café et du cacao,

Nestlé décide d'investir dans l'industrie pharmaceutique en acquérant l'entreprise Alcon Laboratories (traitements ophtalmologiques)

Pendant les années 80, dans l'une des plus grandes acquisitions de l'époque, Nestlé racheta Carnation (lait concentré) pour 3 milliards de dollars. Les obstacles au commerce international diminuèrent dans les années 1990, ouvrant de nouvelles opportunités avec les parties orientales de l'Europe et la Chine. Dans cette même période, le groupe fait l'acquisition de San Pellegrino (eau minérale et sodas) et Spillers Petfoods (alimentation animale). Avec le rachat de Ralston Purina (alimentation animale) en 2002, les entreprises du groupe Nestlé spécialisées dans l'alimentation animale se joignent pour former Nestlé Purina PetCare, leader mondial dans ce secteur.

En 2002, il y a eu deux autres acquisitions majeures en Amérique du Nord : en Juillet, Nestlé a fusionné son entreprise de crème glacée avec l'entreprise américaine Dreyer's (crème glacée), puis en Aout a eu lieu l'acquisition de Chef America Inc (aliments surgelés). En 2003 a eu lieu l'acquisition de Mövenpick (crème glacée), qui est venu renforcer la position du groupe comme leader sur ce marché. En 2006, Jenny Craig (programmes de nutrition et perte de poids) et Uncle Toby's (céréales) viennent s'ajouter au portefeuille du groupe. En 2007, Novartis Medical Nutrition (aliments médicaux), Gerber (céréales pour bébé) et Henniez (eau minérale) sont acquises par Nestlé, suivies de Frozen Pizza de Kraft Foods en 2008.

2.3. Activités

Le groupe Nestlé est présent à travers le monde avec un portefeuille d'activités extrêmement varié. Avec plus de 2000 marques, le groupe est présent sur plusieurs secteurs des biens de grande consommation, allant des produits laitiers et de la nutrition infantile jusqu'aux produits cosmétiques et de soins corporels. Le tableau 1 suivant présente le chiffre d'affaire et les résultats par activité de l'année 2014 :

TABLEAU 1 : GAMME DE PRODUITS NESTLE (NESTLE, 2015)

Catégorie de produit	CA (millions €)	Résultats opérationnels (millions €)
Boisson liquide et en poudre	16 716	3 858
Eau	5 661	585
Produit laitiers et glaces	13 786	2 224
Nutrition et Health science	10 742	2 242
Plats préparés et produits pour cuisiner	11 147	1 489
Confiserie	8 044	1 107



2.4.Nestlé en Algérie

Nestlé est présente en Algérie avec ses produits à la fois importés, ou produits dans l'une des deux usines : Nestlé Waters Blida (eau minérale) et Nestlé Industrie Algérie, où nous avons effectué notre stage.


2.4.1. Nestlé Industrie Algérie

Implémentée en Avril 2009, l'usine se situe dans la zone industrielle d'Oued Smar Alger, elle compte un effectif de 58 personnes. Sa capacité est d'environ 10 000 tonnes par an. Elle comporte deux ateliers : un atelier de conditionnement pour le lait en poudre, et un atelier de fabrication pour le café et le chocolat en poudre.

Conditionnement « Dairy »

Gloria	Nespray
	

Production « Mixes »

Nescafé CREM 3 en 1	Nesquik
	

2.4.2. Histoire de l'entreprise

En Avril 2009, Nestlé lança le projet de construction de sa première usine en Algérie. Le projet de construction a duré 20 mois et dès la fin 2010 l'usine était opérationnelle. La première production de lait en poudre a eu lieu en Janvier 2011. En Mai 2011, le laboratoire de l'usine entre en activité, et les produits sont désormais analysés au niveau de l'usine. En Octobre 2014, Nestlé Industrie Algérie inaugure sa ligne de production Nescafé CREM 3 en 1 qui produit des sticks de 18 grammes. Enfin, en Avril 2015 a eu lieu le démarrage de la ligne de production Nesquik pour le chocolat en poudre.

3 Etude de l'existant

Dans cette partie, nous allons établir un état des lieux en présentant l'infrastructure et les ressources de Nestlé Industrie Algérie. Nous allons ensuite énumérer d'une manière non-exhaustive les pistes d'amélioration que nous avons identifiées sur le terrain. Puis, nous allons formuler la problématique choisie pour notre travail. Enfin, nous expliciterons les raisons ayant motivé le choix de la démarche « Six sigma » pour la résolution de cette problématique.

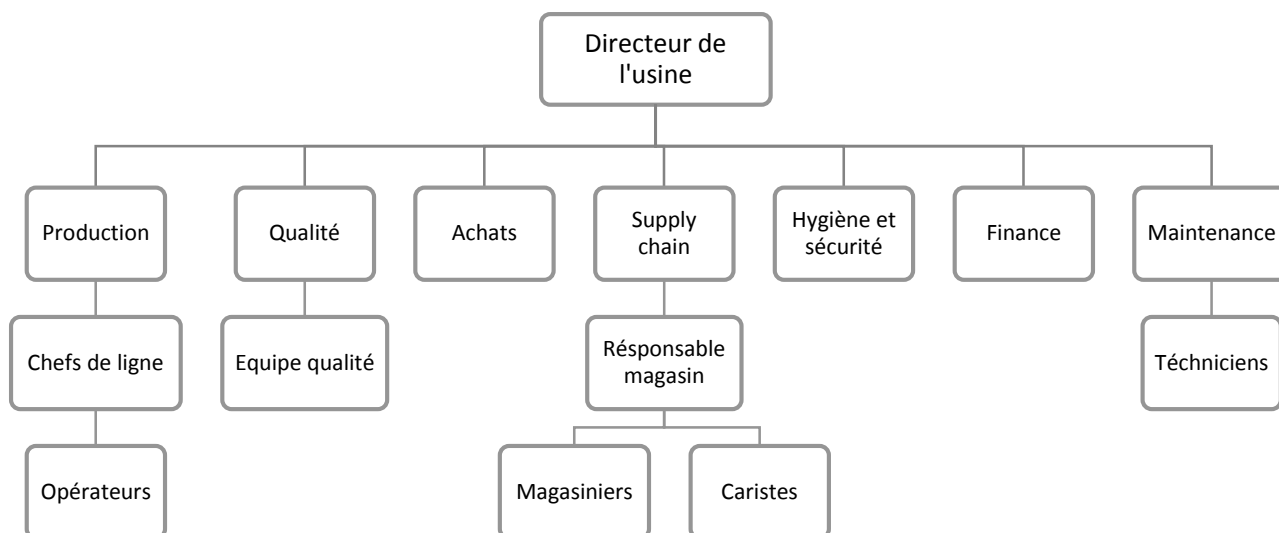
3.1. Infrastructure de l'usine

L'usine est bâtie sur une surface de plus de 5 500 m². La zone dédiée à la production et au stockage occupe environ 3 000m² de cette surface. Elle est partagée entre l'unité de conditionnement de la poudre de lait (qui compte deux lignes), l'unité de production et de conditionnement de Nescafé CREM 3 en 1 et Nesquik et l'aire de stockage de matière première et le stock temporaire du produit fini en attente de libération.

3.2. Personnel de l'usine

Nestlé Industrie Algérie compte 58 employés, répartis entre les différents départements de l'usine, et occupants des postes opérationnels ou managériaux. L'organigramme représenté sur la figure 1 montre la structure du personnel de l'usine :

Figure 1 : Organigramme de Nestlé Industrie Algérie



3.3. Description macroscopique de l'activité

Lors de notre première journée en tant que stagiaires, nous avons fait la connaissance de l'équipe de l'usine. Nous avons par la suite effectué une visite des lieux en compagnie du responsable de la production. Lors de cette visite dite "Gemba walk", nous nous sommes intéressés au flux physique afin d'avoir une vue globale sur l'activité de l'usine. Nous avons identifié les processus élémentaires résumés dans le tableau 2 ainsi qu'une évaluation de ces processus avec les membres de cette équipe.

TABEAU 2 : DESCRIPTION DES PROCESSUS PRINCIPAUX

Processus	Fonction	Maturité	Transversalité	Moteur	Stratégique	Description
Processus approvisionnement	Département achats & approvisionnements	5	2	4	4	S'occupe des achats directs et indirects de tout ce qui est nécessaire pour le bon déroulement des autres processus. Gère aussi la relation avec les fournisseurs.
Processus contrôle qualité	Département qualité	5	5	5	4	S'assure de la bonne conformité des produits et du bon fonctionnement des processus. Le contrôle qualité concerne aussi bien la MP que les PF et les équipements de production.
Processus production	Département production	4	5	5	5	Mobilise près de 75% du personnel dont 4 chefs de lignes, le processus de production assure la transformation de la MP en PF.
Processus logistique	Département Supply chaine	5	3	3	4	Assure la réception et la manutention de la MP, Ainsi que la manutention et la distribution des PF.

Maturité : le processus a-t-il atteint la performance souhaitée ?

Transversalité : le processus est-il partagé ?

Moteur : le processus a-t-il une influence sur les autres processus ?

Stratégique : le processus a-t-il un fort impact sur l'atteinte de notre stratégie ?

Pour une meilleure lisibilité et afin d'avoir une vue d'ensemble sur l'activité de l'entreprise, nous avons établis une modélisation des macro-processus élémentaires décrivant l'activité de l'usine (cartographie typologique de niveau 2). Elle est représentée sur la figure 2.

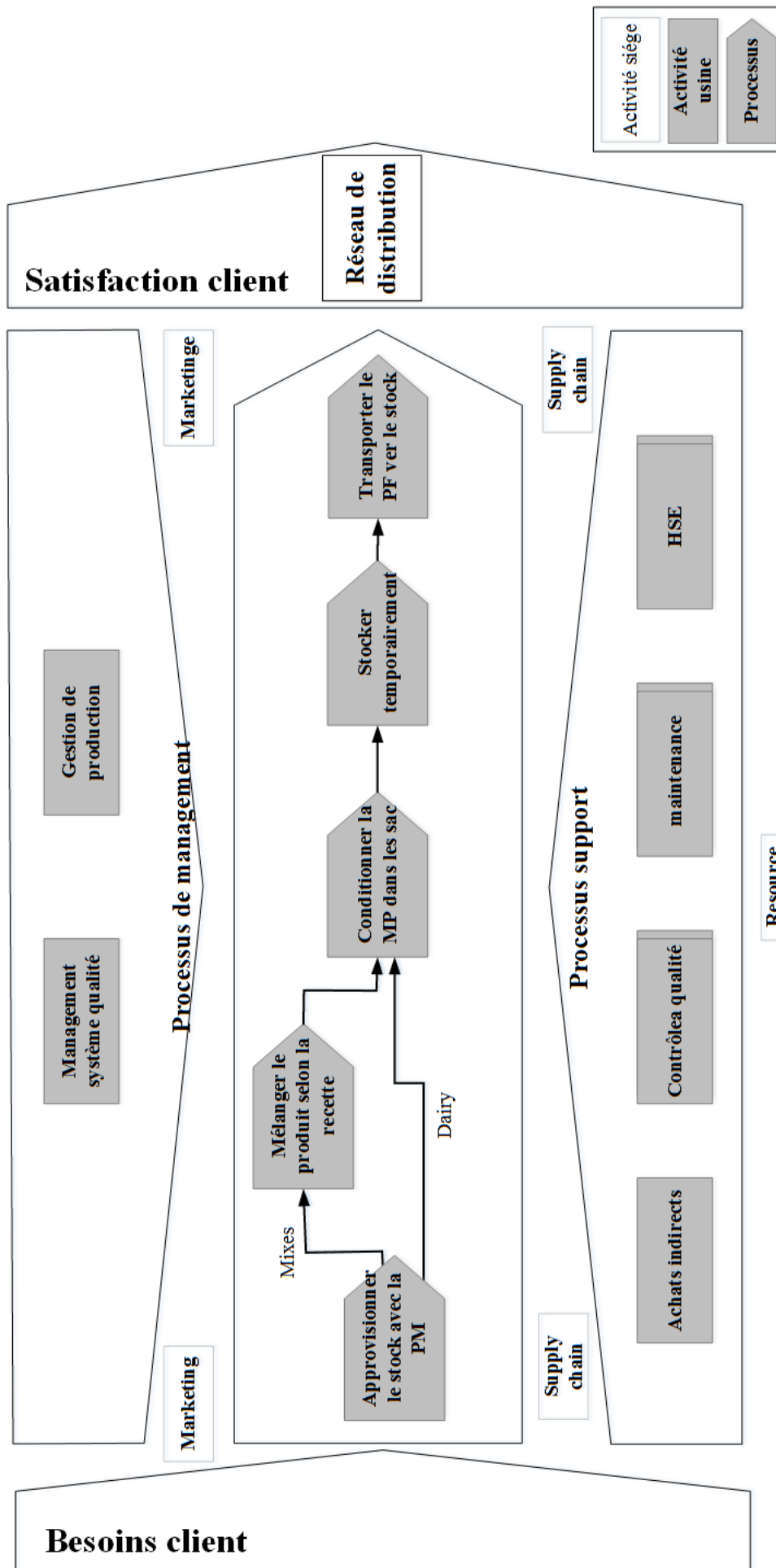


FIGURE 2 : CARTOGRAPHIE TYPOLOGIQUE DES PROCESSUS

A partir des informations récoltées, nous avons pu aussi définir la chaîne de valeur de l'usine, permettant de visualiser les différentes activités et leur contribution à la création de valeur. Elle est représentée sur la figure 3. Cartographie typologique des processus

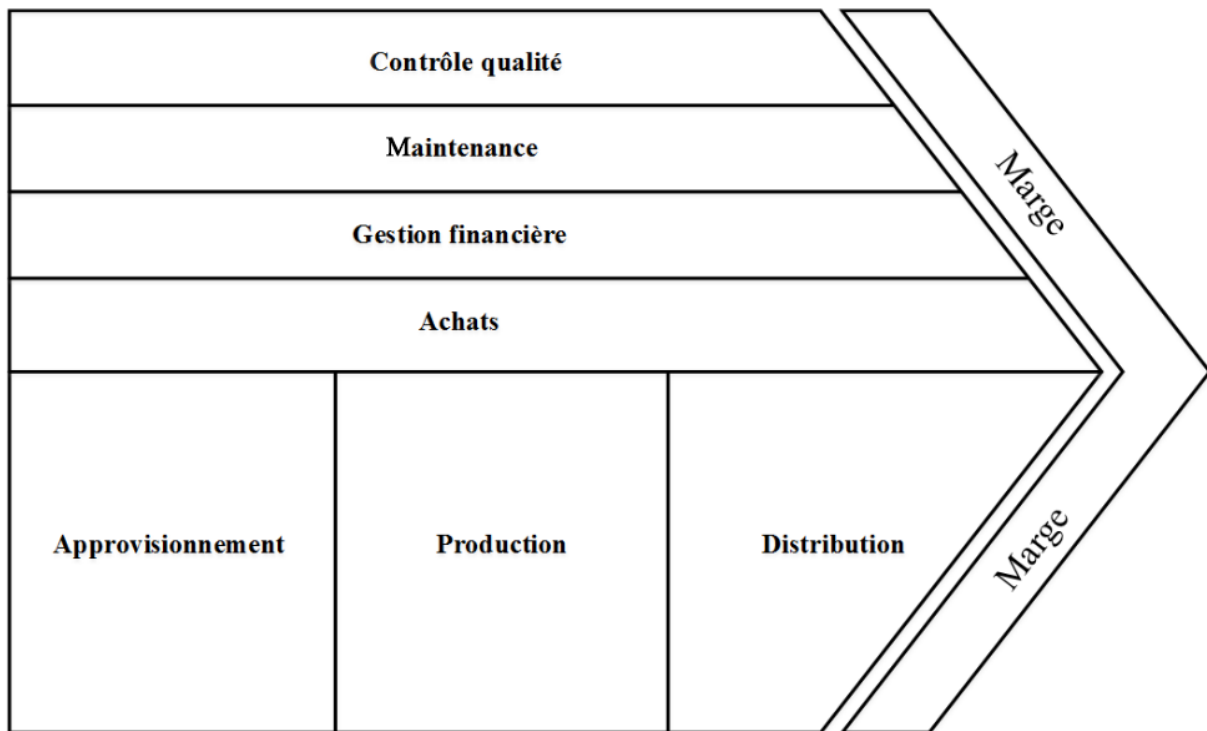


FIGURE 3 : CHAÎNE DE VALEUR DE NESTLÉ INDUSTRIE ALGERIE

3.4. Le processus de production, un processus clé

En analysant la cartographie et la chaîne de valeur de l'usine, il est évident que la production est un processus clé³. En effet, c'est le processus qui mobilise le plus grand nombre de ressources, et c'est la source principale de création de valeur pour l'entreprise.

La production est divisée en deux unités. La "Dairy" pour le lait en poudre a été lancée en 2010, avec la création de l'usine. Elle comporte deux lignes de conditionnement A et B produisant des

³ Un processus clé est défini comme étant un processus contribuant fortement à la création de valeur

paquets de 500 grammes. Avec une capacité annuelle d'environ 10 000 tonnes, elle représente l'activité principale de l'usine. L'unité "Mixes" a vu le jour en 2014 avec le lancement du produit "Nescafé CREM 3 en 1". Cette unité comporte un mixeur pour mélanger les ingrédients et une doseuse remplisseuse pour le remplissage de sticks de 18 grammes. L'unité "Mixes" a une capacité annuelle d'environ 5 000 tonnes. En Avril 2015 a eu lieu le lancement du nouveau produit "Nesquik" et l'acquisition d'une nouvelle ligne de conditionnement pour l'unité "Mixes".

Compte tenu de la place importante qu'occupe l'unité "Dairy" dans l'activité de l'usine, notre travail va porter sur cette dernière. L'unité est coupée en zones selon le niveau d'hygiène correspondant. La salle de stripping (ou se fait ouverture des sacs contenant la MP) et la salle d'emballage et de palettisation sont des zones à moyenne hygiène. Tandis que la salle de versement et la salle de conditionnement sont des salles à haute hygiène (schéma dans l'annexe). Chaque zone ayant des procédures et des instructions à respecter avant d'y entrer : lavage des mains, utilisation du désinfectant, port de charlotte et de couvre-chaussure...

4. Problématique

Au cours de ses 6 années d'existence, l'unité "Dairy" a connu plusieurs projets d'amélioration et d'optimisation : réaménagement des postes de travail, formation du personnel, modifications techniques du procédé (ie ajout d'un vibreur au niveau des réservoirs). De plus, elle est équipée de Checkweighers permettant de contrôler le poids de chaque sac sortant de la ligne, et de rejeter les sacs qui ne sont pas conformes. C'est donc un processus piloté et maîtrisé qui bénéficie d'une attention particulière de la part de la direction.

Cependant, dans sa quête vers l'excellence, Nestlé incite - à travers la démarche NCE - le personnel à toujours remettre en question les choses établies. En effet, on ne s'arrête jamais à un niveau de maîtrise satisfaisant, mais on doit toujours chercher à le dépasser et améliorer l'existant. En partant de ce point de vue, et à travers des interviews et des observations sur le terrain, les pistes d'amélioration suivantes ont été identifiées :

Problèmes liés à la qualité de la poudre : la qualité de la poudre influe grandement sur la performance du procédé. Une poudre contenant un taux élevé de matière grasse devient collante, et provoque des colmatages au niveau des conduites, et peut aussi coller sur les sondes de niveaux et ainsi les empêcher de fonctionner correctement. Une poudre trop fine devient

volatile, et provoque des “soudures sur poudre”, ce qui empêche les sacs de se fermer correctement et oblige l'opérateur à arrêter la production pour nettoyer l'outil.

Problème lié à la conception du procédé : au niveau du procédé, chacune des deux lignes dispose d'un silo de stockage propre à elle “Grand Hopper A et Grand Hopper B”. Ces derniers servent de “stock tampon” permettant de réguler le flux de sortie et le stabiliser. Cependant, ces deux réservoirs sont installés en série (l'un après l'autre) ce qui veut dire que l'un doit être rempli avant que l'autre ne puisse l'être.

Les arrêts de la production : un arrêt est une interruption de la production, une période durant laquelle les ressources productives ne sont pas utilisées, ce qui représente donc un manque à gagner pour l'entité. Nous distinguons deux types d'arrêts : les arrêts induits, qui sont externes au moyen de production et qui sont dus à des causes exceptionnelles. Durant notre présence, il y a eu des arrêts induits causés par une rupture de stock du triplex (film souple utilisé pour l'emballage). Les arrêts propres sont des arrêts internes au moyen de production, qui sont liés au fonctionnement du moyen en question. Des exemples de ce type d'arrêts sont la maintenance, le changement de bobine de triplex ou encore le changement de série.

Pertes de matière première : la matière première principale de l'unité “Dairy” est la poudre de lait. Cette dernière étant importée depuis la Nouvelle-Zélande, elle revient assez chère à l'entreprise. Et pourtant, durant chaque shift de production, il existe un écart entre la quantité de matière première utilisée et la quantité produite. Cet écart représente une perte considérable pour l'entreprise.

Notre travail porte sur ce dernier point. L'élimination des pertes de matière première grâce à un meilleur pilotage du processus de production, est le défi que veut relever l'équipe de Nestlé Industrie Algérie. Cette perte ayant un impact sur un processus clé de l'organisation, les performances de cette dernière en sont directement affectées.

Suite à une analyse menée dans l'unité “Dairy” visant à identifier les causes de ces pertes, nous obtenons le diagramme cause effet représenté dans la figure 4.

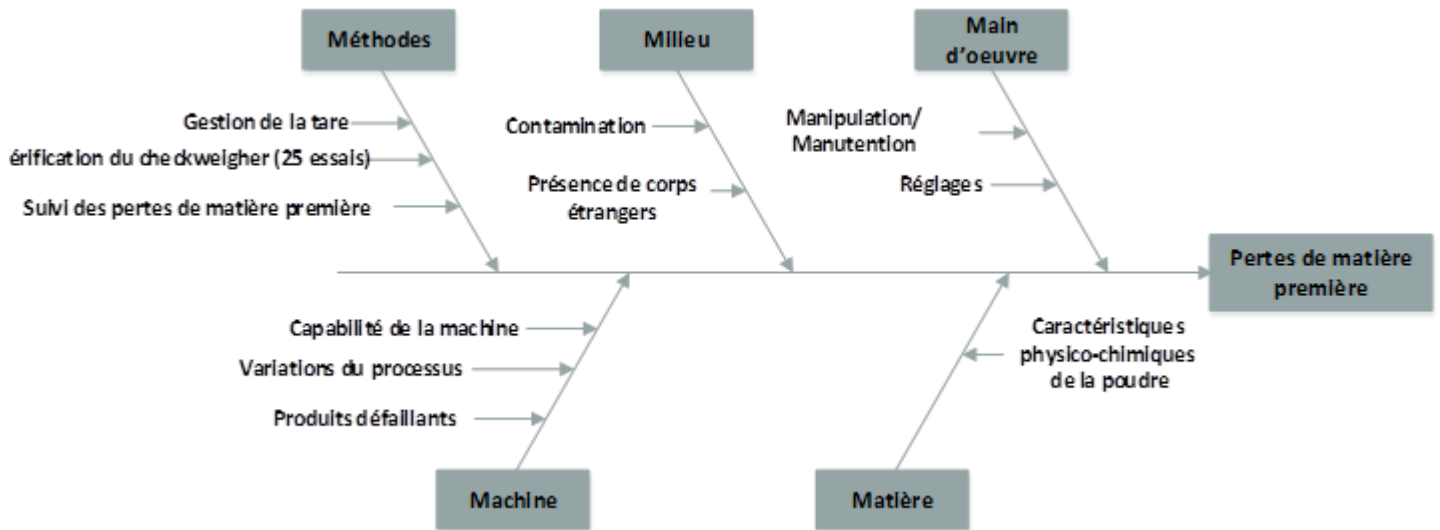


FIGURE 4: DIAGRAMME D'ISHIKAWA PERTES DE MATIERE PREMIERE

Une investigation plus approfondie nous permet de comprendre comment sont distribuées ces pertes de matière première dans le processus de production. Nous avons tout d'abord identifié les points où survenaient les pertes, afin de pouvoir évaluer la ventilation de ce gaspillage. Après avoir mesuré la quantité moyenne de poudre perdue dans chacun des points de plusieurs jours, nous obtenons la distribution suivante :

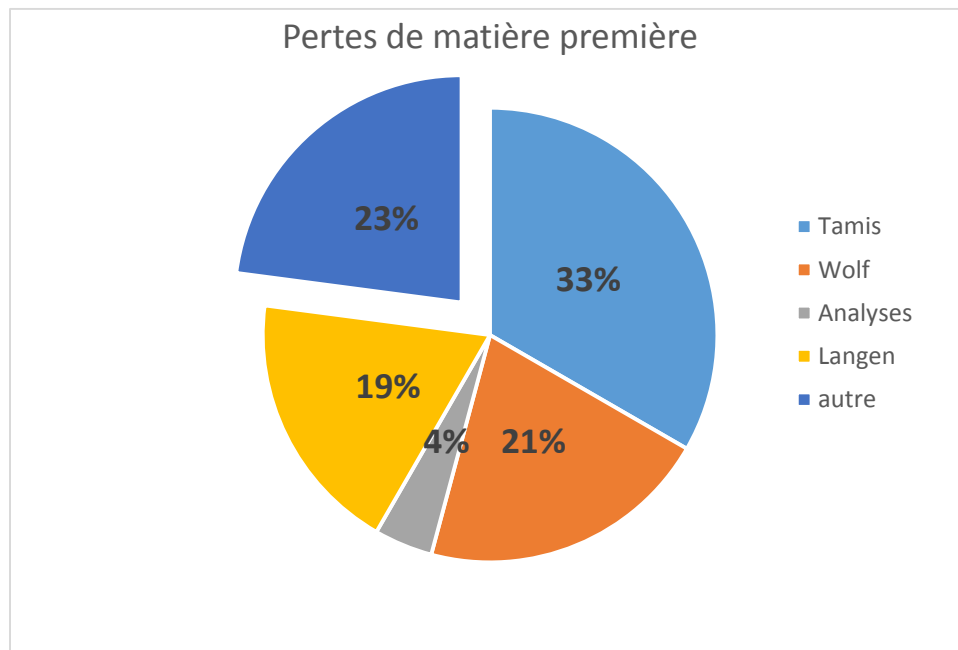


FIGURE 5: GRAPHE DE PROPORTION POUR LES PERTES DE MATIERE PREMIERE

Certaines de ces causes ne peuvent être éliminées. Les pertes “Tamis” sont directement liées à la nature de la matière première. Pour respecter les critères de qualité, les particules trop grosses doivent être “filtrées”. C’est donc une perte inévitable. Les pertes “Wolf/conditionnement” représentent la quantité de poudre de lait jetée dans la salle de conditionnement. Cette perte vient principalement des sacs mal fermés à cause d’une soudure sur poudre, ou alors d’un problème technique ou d’une fausse manipulation de la part de l’opérateur. Les pertes “Langen/emballage” sont les pertes constatées dans la salle d’emballage et résultent soit d’une mauvaise manipulation de la part des opérateurs causant l’ouverture d’un sac, ou bien d’une anomalie détectée sur un sac et qui n’aurait pas été remarquée dans la salle de conditionnement. Les pertes “analyses” représentent la quantité utilisée par le laboratoire pour effectuer des tests de conformité sur le produit fini. Ces tests étant destructifs, la poudre doit être jetée.

Il reste une dernière cause liée directement au processus de conditionnement et dont l’impact ne peut être mesuré d’une manière directe : le surpoids des sacs qui résulte de la variation inhérente au processus. En effet, si le poids nominal des sacs est de 500 grammes, le poids réel des sacs diffère de cette valeur dans la réalité. Compte tenu de la nature des causes citées précédemment et de la marge de manœuvre limitée quant à ces causes, notre intervention va cibler la perte due à l’overfilling⁴ due à la variation du processus de conditionnement.

La direction a proposé la démarche “Six Sigma” pour le déroulement de ce projet d’amélioration. En effet, la problématique est directement liée à la variation constatée sur la sortie d’un processus, et cette variation concerne une valeur mesurable qui est le poids net des sacs sortant. Ce problème n’a pas pu être résolu par des méthodes simples, et “Six Sigma” se trouve être la méthodologie idéale pour ce genre de situation (Gratacap & Médan, 2009) . De plus, le manuel interne de Nestlé (General Instructions 131) recommande fortement la méthodologie DMAIC qui structure les projets “Six Sigma” pour assurer deux objectifs : éliminer les gaspillages (Zero Waste) et assurer la conformité des produits (Compliance).

Dans cette optique-là, et pour s’aligner avec les objectifs de la politique NCE, “Six Sigma” a été choisi comme démarche pour mener à bien notre travail.

⁴ Trop remplir (Dictionnaire Larousse Anglais français)

Conclusion

A travers ce premier chapitre, nous avons défini le contexte de notre travail, en présentant le groupe Nestlé et plus spécialement Nestlé Industrie Algérie qui est notre entreprise d'accueil. Suite à un diagnostic mené au sein de l'usine, nous sommes arrivés à une liste de problèmes et de pistes d'amélioration, parmi lesquels nous avons choisi notre problématique tout en justifiant ce choix. Nous avons aussi explicité les raisons qui nous ont poussés à utiliser la démarche Six Sigma pour résoudre cette problématique.

Chapitre II : Etat de l'art

1. Introduction

Nous allons parcourir à travers ce chapitre la littérature traitant des sujets qui entourent notre travail. Nous allons tout d'abord expliciter les concepts de la méthodologie Six Sigma et sa philosophie. Nous nous attarderons ensuite sur les différents outils et méthodes auxquels nous avons fait appel lors de notre travail.

2. Six Sigma

2.1. Origine

Avant les années 50s, les courants sociologiques OST et l'école des relations humaines avaient pour but d'augmenter la masse de la production (Fordisme, Toyotisme), car le marché absorbait tout. Après la deuxième guerre mondiale, une nouvelle approche de la qualité a vu le jour au Japon, connu aujourd'hui sous le nom de la qualité totale (TQM). Définie par Deming, cette approche est un moyen d'avoir de meilleures performances, en réduisant les coûts et en augmentant la satisfaction des clients.

Suite au succès qu'a connu cette approche au Japon, les américains ont adopté le principe de Deming en y incorporant l'utilisation des outils statistiques. Mais avec le temps, les résultats du TQM sont de moins en moins visibles. Pour pallier à ce problème, les ingénieurs de chez Motorola ont développé une méthode appelée « Six Sigma » qui se voulait plus structurée et donc avec des impacts palpables. Cette méthode a été rendue célèbre quand General Electric l'a repris et l'a amélioré en 1990 pour la réingénierie de ses processus. (Brue, 2006)

2.2. Principe et philosophie

Six Sigma est une méthodologie structurée cherchant à déterminer et à éliminer les effets négatifs de la variation dans les processus. C'est une approche qui est centrée sur la voix du client, et faisant appel à des outils et méthodes statistiques pour résoudre les problèmes.

C'est donc la réduction de la variance des processus qui est au cœur de Six Sigma. En effet, si on arrive à comprendre et à réduire cette variance, on pourra alors apporter des améliorations pour centrer le processus et le rendre plus stable et plus précis tout en s'alignant avec les attentes des clients. (Goldsby & Martichenko, 2005)

Six Sigma peut être considérée comme un **système de mesure de la performance** des processus, grâce aux différents indicateurs qu'elle fournit. C'est aussi une **méthodologie d'amélioration des processus** basée sur ce système de mesure, et découpée rigoureusement selon DMAIC⁵. Enfin, Six Sigma représente aussi un **modèle de référence** pour le management des entreprises, orienté vers l'amélioration continue de la qualité et de la rentabilité. Les entreprises ayant adopté Six Sigma comme modèle (et donc naturellement utilisé Six Sigma comme système de mesure et méthodologie d'amélioration) sont celles qui réalisent les meilleurs résultats avec cette approche. (McCarty, et al., 2004)

2.3. Déroulement d'un projet « Six sigma »

DMAIC est un acronyme qui caractérise une méthode standard d'amélioration du processus grâce à la résolution des problèmes, qui se déroule en cinq étapes : définir, mesurer, analyser, améliorer et contrôler. Cette approche n'est pas spécifique à Six Sigma, elle figure dans plusieurs autres démarches d'amélioration. Elle se rapproche de la méthode scientifique de résolution de problèmes : observer, formuler des hypothèses, collecter des données et formuler des conclusions, et elle se base sur la méthodologie d'amélioration continue proposée par E.W.Deming (Plan, Do, Check, Act).

⁵ DMAIC: acronyme pour: Define, Measure, Analyze, Improve, Control. C'est un modèle utilisé dans des méthodologies de résolution de problèmes.

Un projet Six Sigma comprend donc les cinq phases majeures du DMAIC, chaque phase étant caractérisée par un nombre d'outils bien déterminées et des livrables spécifiques. L'intérêt de la méthodologie ne se limite pas seulement à cette organisation en phases qui s'enchainent, l'avantage de Six Sigma se trouve dans le contenu de chaque phase qui fournit une approche concise et structurée pour la résolution de problèmes, ainsi que les outils à utiliser pour chaque phase et les questions auxquelles il faut répondre. (McCarty, et al., 2004)

Define

L'intérêt principal de cette phase est de s'assurer que l'équipe se focalise sur ce qui est important. Il faut identifier le processus à grande valeur ajoutée sur lequel le projet va porter.

L'équipe détermine les frontières du processus clé à améliorer, ainsi que les exigences sur sa sortie qui permettront de dire s'il est performant ou pas. La question à laquelle il faut répondre « Qu'est ce qui est important pour l'entreprise ? »

Measure

L'équipe mesure la performance actuelle du processus par rapport aux exigences. La question à laquelle il faut répondre : « Quel est l'état actuel du processus ? »

Analyze

L'équipe détermine ce qui ne va pas avec le processus, et identifier les causes racine qui provoque le problème. La question à laquelle il faut répondre : « Qu'est-ce qui ne va pas avec le processus ? »

Improve

L'équipe formule des solutions pour le problème, et choisi une seule à implémenter selon la faisabilité, les coûts etc. La question à laquelle il faut répondre : « Qu'est-ce qu'il faut faire pour améliorer le processus ? »

Control

L'équipe implémente la solution choisie et veille à ce que le problème ne réapparaisse plus. La question à laquelle il faut répondre : « Comment faire pour pérenniser l'amélioration pour qu'elle reste effective dans le futur ? »

3. Contrôle statistique de la qualité

(Montgomery, 2009)

3.1. Distribution de probabilité

Une distribution de probabilité est un modèle mathématique qui relie la valeur de la variable aléatoire étudiée avec sa probabilité (ou fréquence) d'occurrence. Il existe deux types de distribution de probabilité :

Distribution continue : quand la variable aléatoire étudiée est exprimée sur un intervalle réel, on parle de distribution continue. La distribution du poids net d'un produit est continue.

Distribution discrète : quand le paramètre mesuré prend des valeurs bien déterminées, par exemple des entiers. La distribution du nombre de produits non conformes est discrète.

Tout processus, quel qu'il soit, est incapable de toujours produire exactement le même produit ou service. Cette variation, qui est source de non-qualité pour l'organisation, est due aux 5M qui entourent le processus en question. Une démarche qualité visant à améliorer ce processus doit donc fournir des moyens simples pour analyser et représenter cette variation, afin d'en déterminer les causes et de les éliminer.

3.2. Variation dans les processus

D'une manière générale, la répartition des valeurs à la sortie d'un processus suit une loi normale. En effet, selon le théorème central limite : « Tout système, soumis à de nombreux facteurs, indépendants les uns des autres, et d'un ordre de grandeur équivalent, génère une loi normale ». Les facteurs indépendants étant les 5M du processus. Une distribution normale (ou distribution de Gauss) peut être représentée graphiquement grâce à une courbe en cloche :

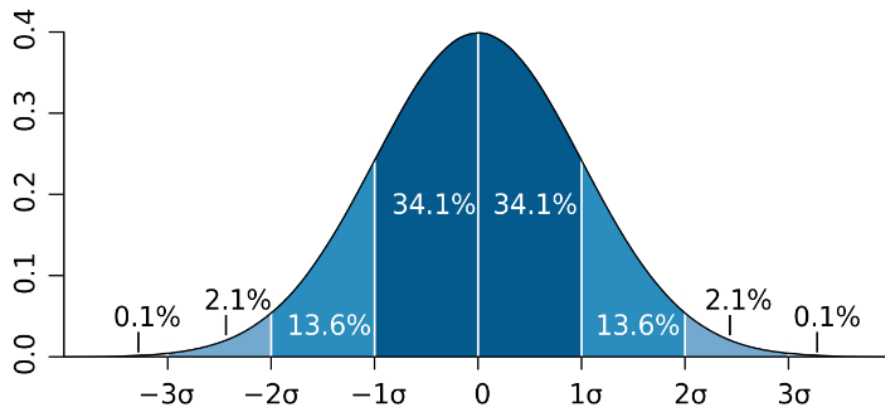


FIGURE 6: EXEMPLE D'UNE DISTRIBUTION NORMALE (CHANDLER, 2012)

Cette représentation permet déjà d'établir une première évaluation du processus. En effet, elle permet de distinguer les deux notions de la statistique permettant de décrire la distribution :

- **La valeur moyenne** de la distribution (\bar{x} pour l'échantillon, μ pour toute la population) qui est une évaluation du centrage des données.
- **L'écart-type** de la distribution (noté σ) qui est une mesure de la dispersion des données.

(Pillet & Duret, 2005)

Dans le contrôle statistique de la qualité, les causes de toutes ces variations sont regroupées en deux familles distinctes définies par Walter Andrew Shewhart :

Les causes communes représentent l'ensemble des causes et des facteurs de variation qui sont toujours présents et qui sont difficilement maîtrisables. La variation due aux causes communes peut être prédite et elle suit une loi normale (distribution en cloche). Lors d'une démarche qualité, il faut minimiser les causes communes ou alors vivre avec, car les éliminer reviendrait trop chère à l'organisation pour les bénéfices qu'elle peut en tirer (le rapport $\frac{\text{Gains}}{\text{Efforts}}$ n'est pas intéressant). Un processus opérant exclusivement sous l'effet de causes communes est dit « sous contrôle ».

Les causes spéciales représentent les causes de variation qui arrivent par surprise, et qui ne peuvent pas être anticipées. La distribution des données résultant d'un processus sous l'effet de causes spéciales ne suit aucune loi mathématique particulière. La présence de ce genre de causes nécessite une intervention sur le processus afin de les éliminer, car elles ont un impact négatif important sur la qualité, on parle alors de processus « hors contrôle ».

A partir des notions statistiques définies précédemment, deux cas de figures peuvent être identifiés pour un processus hors contrôle (présence de causes spéciales) :

- **Une valeur moyenne** éloignée de la valeur nominale (cible) du processus, synonyme d'un mauvais paramétrage (exemple : nécessité d'un étalonnage de la machine).
- **Un écart-type** très important indiquant une forte variabilité dans le processus, et donc un nombre important de pièces défectueuses (exemple : mauvaise étanchéité)

(Pillet, 2005)

3.3. Capabilité d'un processus

Comme il n'est pas possible d'obtenir un processus parfaitement stable, il faut revenir vers le client pour définir un intervalle de tolérance (une limite inférieure et une limite supérieure). Cet intervalle donne le seuil après lequel le produit ou le service est considéré défectueux ou de mauvaise qualité par le client. Tout processus doit être ajusté dans le but d'opérer à l'intérieur de ces spécifications.

La capabilité d'un processus désigne l'aptitude de ce dernier à réaliser une performance demandée. C'est donc la capacité du processus à opérer à l'intérieur du seuil de tolérance. La capabilité est un indicateur de performance quantitatif, défini par le rapport entre la performance demandée (l'objectif, fixé par le client) et la performance réelle du processus (ce qui est réalisé)

Il existe deux types d'indicateurs de capabilité :

- La capabilité long terme, notée P_p ou P_{pk} , désigne la réalité de l'ensemble des produits livrés. Elle traduit la **performance du processus**.
- La capabilité court terme, notée C_p ou C_{pk} , désigne la dispersion sur un temps très court. Elle traduit la **capabilité du processus**. (Pillet, 2005)

Les formules permettant de calculer le C_p , le P_p , le C_{pk} et le P_{pk} sont les suivantes :

Capabilité court-terme

$$C_p = \frac{IT}{6\sigma_{CT}}$$

$$C_{pk} = \min\left(\frac{LSS - \bar{x}}{3\sigma_{CT}}; \frac{\bar{x} - LIS}{3\sigma_{CT}}\right)$$

IT : intervalle de tolérance (voix du client).

σ_{CT} : Ecart-type à court terme.

LSS : Limite supérieure de spécification.

LIS : Limite inférieure de spécification.

\bar{x} : Moyenne de l'échantillon.

Capabilité long-terme

$$P_p = \frac{IT}{6\sigma_{LT}}$$

$$P_{pk} = \min\left(\frac{LSS - \bar{x}}{3\sigma_{LT}}; \frac{\bar{x} - LIS}{3\sigma_{LT}}\right)$$

IT : intervalle de tolérance (voix du client).

σ_{LT} : Ecart-type à long terme.

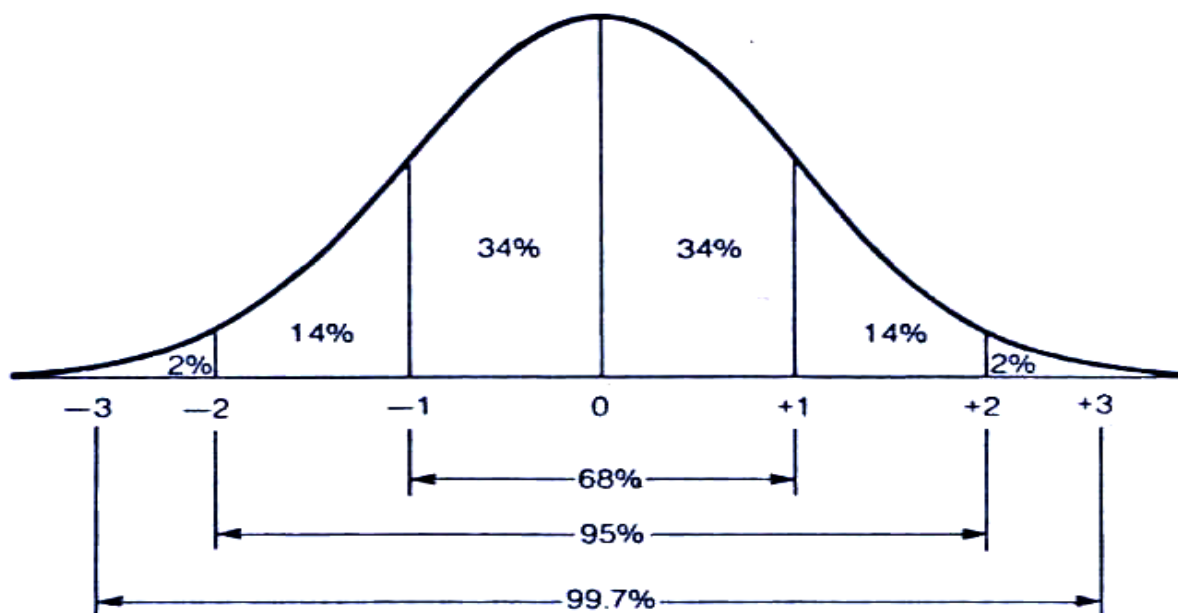
LSS : Limite supérieure de spécification.

LIS : Limite inférieure de spécification.

\bar{x} : Moyenne de l'échantillon.

L'indicateur de capabilité d'un processus permet de calculer la probabilité d'avoir des produits hors spécifications, en fonction de l'écart-type. En effet, pour une distribution normale, il est admis que 99.73% des valeurs de l'échantillon se trouvent dans un intervalle de longueur 6σ (3σ de part et d'autre de la moyenne). En comparant cet intervalle (qui représente la performance réelle du processus) avec l'intervalle de tolérance défini par le client (qui représente la performance attendue du processus) on peut évaluer le taux de produits

défectueux. On dit que le processus est capable à partir d'un $C_p > 1.33$, ce qui est équivalent



à un taux 3.4 unités défectueuses par million (3.4ppm).

FIGURE 7 : REPARTITION DES INDIVIDUS DANS UNE DISTRIBUTION NORMALE (BENCINI & PAUTZ, S.D.)

Cependant, la notion de centrage est essentielle pour pouvoir interpréter le C_p et le P_p . Si la distribution n'est pas centrée autour de la valeur nominale, il faut utiliser le C_{pk} et le P_{pk} pour évaluer la capacité du processus d'une façon plus exacte, car un processus non centré peut avoir un indicateur de capacité élevé mais un taux de pièces défectueuses important.

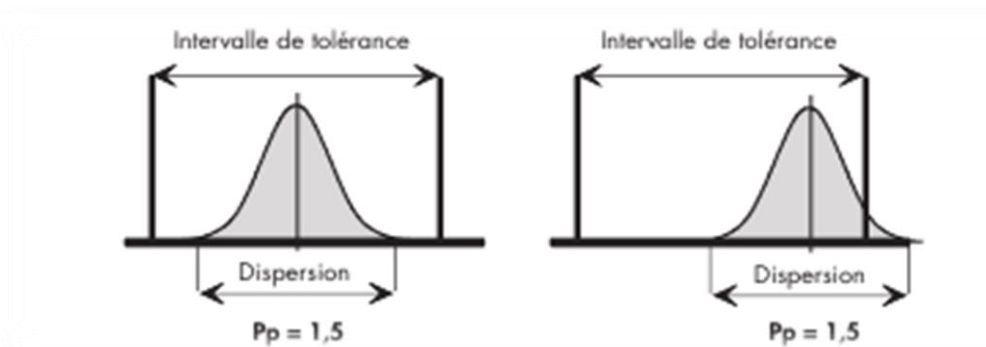


FIGURE 8 : LA NECESSITE DES INDICATEURS C_{pk} ET P_{pk} (PILLET & DURET, 2005)

3.4. Représentation graphique d'une distribution

L'histogramme

Un histogramme est une représentation graphique compacte des données. Il permet une lecture facile et donne une appréciation quant à la distribution des données. Pour tracer un histogramme à partir de données continues, il est important de diviser les gammes de données en intervalles, appelés intervalles de classe. La longueur des intervalles de classe doit être la même pour une meilleure visualisation des informations dans l'histogramme. Le nombre de classes n'est pas univoque mais il est lié au nombre de prélèvements et à la dispersion des données. Par ailleurs l'histogramme est moins lisible si le nombre de classes est trop important ou trop petit. Généralement on prend un nombre de classes entre 5 et 20 et il augmente en relation avec N le nombre de prélèvements. En 1926, Herbert Sturges a établis une formule⁶ pour calculer le nombre de classes. Plusieurs logiciels de calcul utilisent d'autres algorithmes pour déterminer h le nombre de classe, et la majorité des logiciel n'utilisent pas cette formule de Sturges.

Une fois le nombre de classes fixées et tous les intervalles définis, les données sont triées dans l'ordre et sont attribuées à chaque intervalle de classe. On note le nombre d'observations qui correspond à chaque classe. L'histogramme est représenté sur deux axes, l'axe horizontal représente l'échèle de mesure et l'axe vertical représente les fréquences ou le nombre d'occurrence pour chaque classe, parfois l'axe représente la fréquence relative par rapport à N

⁶ La formule de Herbert Sturges est $h = 1 + \log_2 N$

(nombre de prélèvement). Et finalement chaque intervalle de classe est représenté par un rectangle, ou la hauteur de ces derniers représente la fréquence. Un exemple dans la figure 9 :

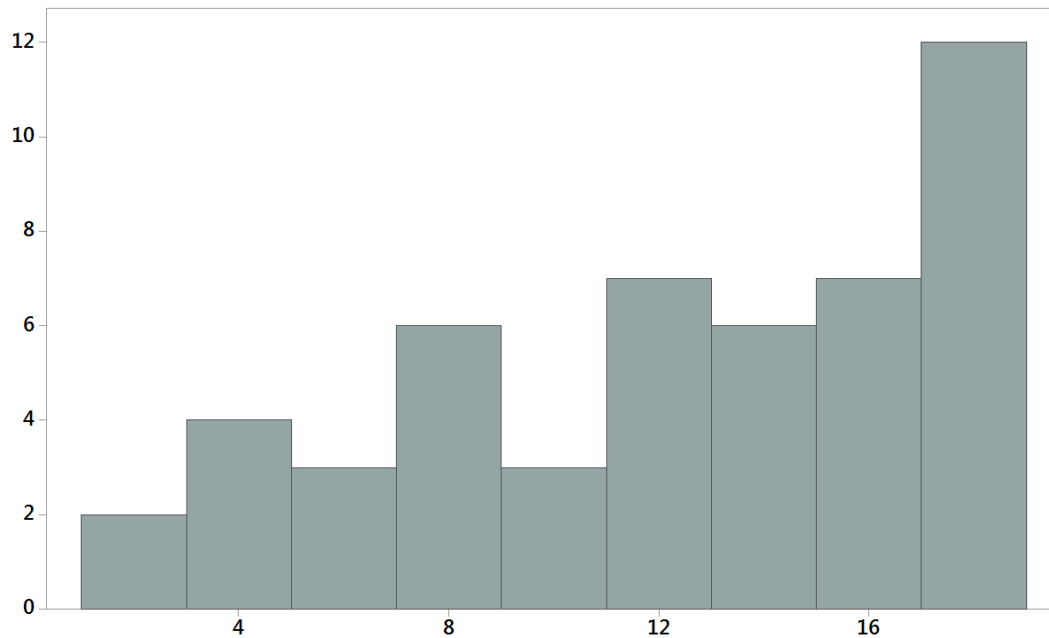


FIGURE 9 : HISTOGRAMME DE VALEURS

Box plot (boîte à moustaches)

Le calcul de la moyenne et de l'écart type d'une population fournit des informations quantitatives à propos de ses données. La boîte à moustaches est elle aussi une représentation graphique qui met en évidence plusieurs informations sur les données, comme par exemple la distribution des valeurs autour de la moyenne, la symétrie et l'asymétrie des données, ou encore la présence de valeurs aberrantes qui pourrait fausser les résultats. Pour obtenir une boîte à moustaches, on commence par tracer un rectangle qui va du 1^{er} jusqu'au 3^{ème} quantile, ce rectangle est coupé par la médiane (ou le 2^{ème} quartile). On prolonge ensuite une ligne depuis les extrémités du rectangle (1^{er} et 3^{ème} quartile) jusqu'au 1^{er} et 9^{ème} décile ou alors jusqu'aux valeurs extrêmes de la distribution (le minimum et le maximum).

La boîte à moustaches est très utile pour comparer plusieurs familles de données, des sous-groupes d'une population, c'est une représentation lisible, rapide et facile à interpréter. La figure 10 montre un exemple de boîtes à moustaches.

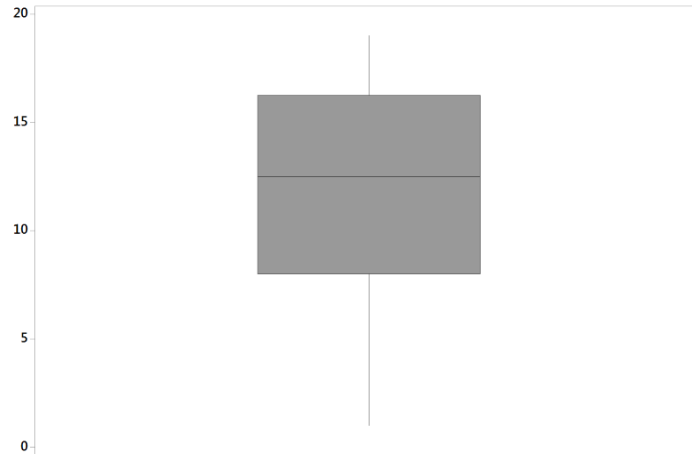


FIGURE 10: EXEMPLE DE BOITE A MOUSTACHE

3.5. Métrologie et capacité des systèmes de mesures

Si on se base sur des grandeurs et des indicateurs quantitatifs pour prendre les décisions, il est tout à fait naturel que ces décisions dépendent de la qualité de ces grandeurs mesurées. En effet, si l'information est erronée et ne reflète pas la réalité, elle ne peut être exploitée pour une interprétation ou une prise de décision. Une variation dans le processus de mesure implique donc une variation dans le processus qui en dépend. (Robertson, 1993)

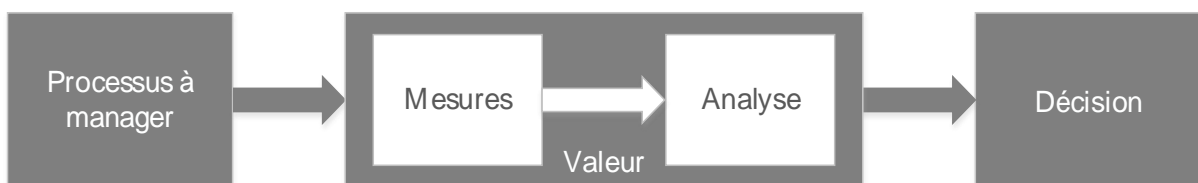


FIGURE 11: ROLR DU PROCESSUS DE MESURE

Selon l'AFNOR, le processus de mesure est l'ensemble des ressources, des activités ou des influences corrélées produisant un mesurage. Il est traditionnellement représenté suivant le schéma des 5M pour Méthode, Matière, Main-d'œuvre, Milieu et Moyen

Système de mesure : ensemble d'un ou plusieurs instruments de mesure et souvent d'autres dispositifs, comprenant si nécessaire réactifs et alimentations, assemblés et adaptés pour fournir des informations destinées à obtenir des valeurs mesurées dans des intervalles spécifiés pour des grandeurs de natures spécifiées (ISO/CEI GUIDE 99:2007)

Il est donc très important de s'assurer que le système de mesure mis en place par l'organisation fourni les bonnes informations. L'analyse du système de mesure est le processus qui permet d'évaluer la capacité de ce système de mesure.

La qualité métrologique d'un système de mesure est déterminée en fonction des caractéristiques des mesures effectuées avec ce système et la qualité de ces dernières. Ces caractéristiques prennent en compte les conditions normales dans lesquelles se déroule le processus de mesure (les 5M). Ces caractéristiques peuvent être regroupées en deux familles : caractéristiques liées à l'**exactitude**, ou caractéristiques liées à la **capabilité**

L'exactitude du système de mesure décrit la capacité du système à donner la vraie valeur (dite valeur de référence ou valeur théorique) de la mesurande. Elle dépend de la fidélité et que de la justesse du système de mesure.

La fidélité désigne la dispersion des valeurs d'une même mesure effectuées plusieurs fois, elle décrit la concentration des valeurs autour d'une moyenne. Un écart-type important peut être synonyme d'une erreur de fidélité.

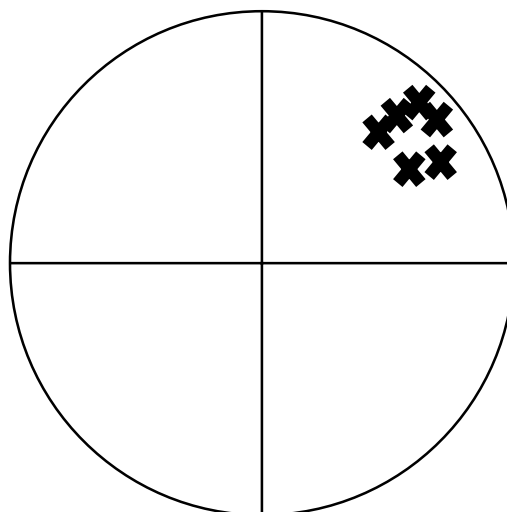


FIGURE 12 : LA FIDELITE

- **La justesse** désigne la proximité entre cette valeur moyenne et la vraie valeur de la mesurande. On parle de biais pour désigner une erreur de justesse.

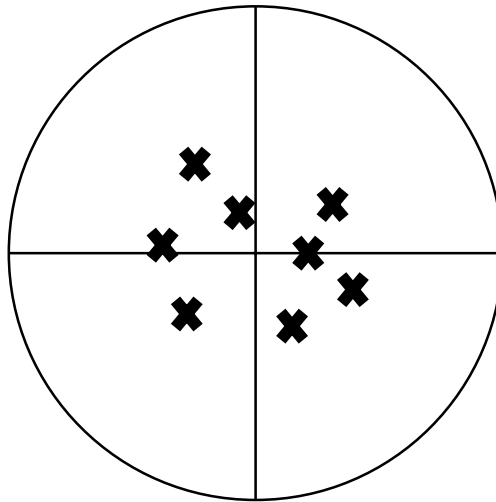


FIGURE 13 : LA JUSTESSE

La capacité du système de mesure permet d'apprécier la variabilité relative à ce dernier, afin de déterminer s'il est apte à être utilisé pour contrôler un processus donné et dans des conditions spécifiques. Pour être capable, la variabilité et l'incertitude du système de mesure doivent être compatibles avec la tolérance du processus mesuré. Une étude R&R (répétabilité et reproductibilité) est utilisée pour évaluer cette capacité.

- **La répétabilité** désigne la fidélité sous des conditions de répétabilité. Elle quantifie la capacité à reproduire une mesure, sur le même individu d'essai, sous les mêmes conditions et avec le même opérateur.
- **La reproductibilité** désigne la fidélité sous des conditions de reproductibilité. Elle quantifie la capacité à reproduire une mesure, sur le même individu d'essai, sous les mêmes conditions, mais avec des opérateurs différents.

(Chrysler Group LLC; Ford Motor Company; General Motors Corporation, s.d.)

Concernant l'instrument de mesure, la métrologie définit les notions suivantes :

Le seuil est la plus petite unité pouvant être mesurée par l'instrument de mesure utilisé.

La résolution représente le pas de l'appareil (incrémentation) et sa capacité à discerner entre deux valeurs mesurées.

Le calibre désigne la plus grande valeur que l'appareil peut mesurer. On retrouve parfois la gamme, qui désigne l'intervalle des valeurs que l'appareil peut mesurer (dans le cas où les valeurs peuvent être négatives par exemple)

(Bureau International des Poids et Mesures, 2012)

3.6. Les cartes de contrôle

W. Shwahaart est le premier qui a parlé des statistiques et l'usage des cartes pour contrôler la qualité, en 1932 avec son livre « Economic Control of Quality of Manufactured Product ». La carte de contrôle est un outil graphique de contrôle de la qualité, qui permet d'illustrer la variation des processus et leurs causes (communes ou spéciales) (Pillet, 2005). La carte contient une ligne centrale représentant la moyenne des valeurs qui se trouvent dans la carte de contrôle, et deux autres ligne horizontales représentant la limite supérieure de contrôle (LSC) et la limite inférieure de contrôle (LIC). Si le processus est sous contrôle tous les points sont entre les lignes de la limite. Si par contre il y a des points qui sortent des limites, le processus est instable. Même si il n y a pas de désordre dans la distribution des points à l'intérieur des limites, alors le système est instable dus à une cause spéciale qui fais en sorte que les points suivent une certaine tendance. (Montgomery, 2009)

Choix des limites de contrôle

Pour la carte de contrôle des moyennes \bar{x} , la limite représente une valeur de trois sigma, si le processus suit une loi normale alors on donne une probabilité de 0.0027 pour qu'un point sort des limite, c'est-à-dire dans 10,000 point il y aura 27 point en dehors des limite supérieure ou inférieure. Et dans certaines cas d'analyse une autre limite est ajouté pour plus de détaille appeler limite d'alerte, cette dernier représente généralement la valeur de deux sigma, dans la littérature la valeur des limite dépend de la fréquence et la taille de l'échantillon. Soit w un échantillon qui représente une caractéristique de qualité à étudier, la moyenne de w est μ_w et l'écart type de l'échantillon est σ_w , alors les ligne son calculer

$$LSC = \mu_w + L \sigma_w$$

$$\text{Ligne de centre} = \mu_w$$

$$LIC = \mu_w - L \sigma_w$$

Avec L est la distance par rapport à la ligne de centre, sa valeur est tabulée et elle a une relation avec la taille et le type d'échantillon. On peut définir de la même façon des limites d'alerte, mais avec un L différent.

4. Outils et techniques

Les différents outils et méthodes qui ont été utilisées dans notre travail seront expliqués dans cette partie.

4.1.SIPOC

Selon la norme ISO 9000 : « Un processus est un ensemble d'activités corrélées ou interactives qui transforme des éléments d'entrée en éléments de sortie »

Les éléments d'entrée d'un processus sont généralement les éléments de sortie d'autres processus, on appelle ces éléments de sorties des produits. Les processus d'un organisme sont généralement pilotés et managés dans des conditions maîtrisées afin d'apporter une valeur ajoutée. On appelle processus clé, un processus qui contribue fortement à la chaîne de valeur de l'organisation.

SIPOC est une technique de modélisation des processus, permettant de représenter ces derniers d'une manière claire et selon un modèle bien déterminé : Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Customers (Fournisseurs, Entrées, Processus, Sorties et Clients). C'est à travers ce modèle que l'on peut identifier aisément les acteurs concernés par le processus, ainsi que les différentes activités qui le composent. (Stamatis, 2003)

Lors d'une démarche Six Sigma, la compréhension parfaite du processus cible par toutes les parties prenantes est d'une importance capitale pour la réussite du projet. SIPOC va permettre à l'équipe d'avoir la même vision quant au fonctionnement du processus, ainsi que les clients concernés par ce dernier. C'est aussi grâce aux informations fournies par la cartographie SIPOC que d'autres méthodes peuvent être utilisées. Exemple SIPOC

4.2.La charte de projet

(McCarty, et al., 2004)

La charte est établie dans le but de fournir une description claire et résumée du projet à l'ensemble des parties prenantes : l'équipe projet, le chef du projet, la direction, le sponsor etc. Elle comprend l'énoncé de la problématique, les opportunités d'amélioration, les objectifs à atteindre, le périmètre du projet, un échéancier et les membres de l'équipe.

La charte est un document important, qui décrit le but et les limites de chaque projet. C'est un outil de communication permettant de relier entre toutes les parties prenantes, qui permet d'assurer que tous les membres de l'équipe partagent la même vision que le management, et comprennent ce qui est attendu à la fin de ce projet.

D'une façon générale, une première version de la charte est proposée par la direction à l'équipe. Cette dernière est basée sur une vision éloignée de la réalité du terrain, et l'équipe devra affiner la charte selon sa connaissance du processus concerné par le projet. Il faut consacrer du temps à cette étape car il est impératif que ce document soit approuvé par l'équipe avant de passer à l'action. De plus, la charte de projet est un document vivant, et il devra être révisé régulièrement, ceci permettra d'apporter des corrections au fur et à mesure de l'avancement du projet et de s'assurer que l'on est sur la bonne voie.

Parmi les points couverts par la charte du projet :

Description du projet

La description du projet permet d'explicitier la raison d'être de ce dernier. Elle doit montrer l'importance stratégique du projet et pourquoi la direction a décidé de le lancer. Ceci permet à l'équipe de comprendre le contexte du projet. L'un des facteurs de démotivation pour les membres de l'équipe est de sentir que le projet n'est pas soutenu par la direction. C'est pourquoi la description du projet une partie importante de la charte du projet, elle doit être élaborée par la direction avant le lancement du projet, et elle n'est pas censée changer à travers le temps.

Périmètre

Le périmètre décrit les limites du projet quant à l'intervention de l'équipe. Il peut aussi inclure la condition de démarrage et la condition d'arrêt du projet. Une bonne définition du périmètre du projet permet d'éviter le « scope creep » : si les frontières ne sont pas clairement établies, le projet risque de devenir de plus en plus grand au fur et à mesure que l'équipe avance, et les contraintes de délai et de budget ne pourront plus être respectées. Il faut donc veiller à préserver un équilibre entre les ressources allouées et les limites fixées.

D'une façon concrète, il faut déterminer quels sont les éléments du processus vont être inclus dans le projet, et quels sont les éléments qui ne le seront pas.

Constitution de l'équipe :

La partie consacrée à l'équipe établit une liste des différentes parties prenantes qui participent au projet. Cette partie peut aussi contenir les rôles et les responsabilités de chaque membre de l'équipe. Si des changements surviennent au cours du projet (périmètre révisé par exemple) la constitution de l'équipe peut être amenée à changer pour s'adapter à la nouvelle situation.

Objectifs du projet :

Un objectif définit ce qu'est le succès du projet. Il doit être formulé d'une façon qui fait apparaître l'indicateur à améliorer, et le niveau visé pour cet indicateur. Un objectif clair va permettre à l'équipe de savoir à quel moment le projet est achevé. Une erreur commune dans la formulation des objectifs est de lister des solutions au lieu des objectifs à atteindre.

Résultats :

La partie résultats met le point sur les problèmes rencontrés actuellement, ainsi qu'une évaluation financière des pertes causées par ces problèmes et une estimation des gains potentiels. Il se peut que ces informations ne soient pas visibles avant le lancement du projet : on sent qu'il y a un problème (difficultés, réclamations clients...) mais on n'a pas de chiffres représentatifs. Dans ces cas-là, il faudrait détecter les problèmes et mesurer leur impact dès les premières phases du projet. Cette partie de la charte est amenée à changer au fur que les informations sont collectées.

Planning

Le planning contient les dates importantes du projet: début d'une phase, fin d'une phase, jalon... l'équipe devra établir un échéancier plus détaillé une fois le projet lancé. Il existe des diagrammes qui permettent de représenter visuellement le planning d'un projet, le plus connu est le diagramme de Gantt.

Validation de la charte du projet : méthode SMART

Lorsque la première version de la charte est établie, il va falloir la valider. Il existe une méthode appelée méthode « SMART » (Acronyme de Specific, Mesurable, Atteignable, Relevant & Time-bound) qui permet de vérifier si la charte établie est pertinente, et qu'elle remplit son rôle de support de communication pour l'équipe. Pour mettre en œuvre la méthode SMART, il faut répondre aux questions suivantes :

- Est-ce que le projet adresse un problème *spécifique* ?
- Est-ce que l'objectif à atteindre est *mesurable* ?
- Est-ce que l'objectif est *atteignable* ?
- Est-ce que le projet a un impact *réel* sur les résultats ?
- Est-ce que le projet est limité dans le *temps* ?

L'équipe doit utiliser la méthode SMART pour apporter les corrections nécessaires à la charte et la finaliser, et pour s'assurer que cette dernière est comprise par tous.

4.3. Voix du client (VOC)

(Stamatis, 2003)

La notion de client est l'argument le plus fort pour utiliser Six Sigma, d'où cette force d'amélioration vers l'excellence, pour la créer il faut connaître le consommateur à travers les systèmes de services, afin de bien cerner les besoins et attentes des clients. De telles sortes que le développement du produit traduit les attentes en exigences fonctionnelles et en caractéristiques techniques.

L'objectif d'une démarche qualité est d'améliorer constamment la valeur vis-à-vis du client, pour identifier cette valeur il faut connaître les différents clients. Ces derniers sont les personnes (morales ou physiques) affectées par le produit (bien ou service). Par conséquent, toute entité

ayant une relation avec le produit est alors un client par rapport à une autre entité (qui est alors fournisseur). Les clients internes sont les services qui se succèdent tout au long de la chaîne de valeur, et qui affectent (où sont affectés par) la qualité du produit. Si l'un de ces clients est insatisfait, il est fort probable que les attentes des clients externes ne soient pas atteintes. Les clients externes sont les acheteurs du produit ou service, tel que le consommateur final, les distributeurs et les revendeurs.

Pourquoi mettre un tel accent sur la satisfaction du client dans la méthodologie Six Sigma ? La variation est fortement liée aux attentes des clients. Pour les clients internes, cette variation se traduit par les indicateurs de performance des services concernés, ce qui revient à dire qu'une forte variation est synonyme d'un processus instable ou non maîtrisé. Pour les clients externes, la variation se manifeste par un nombre élevé de plaintes et de réclamations. Une forte variation est donc synonyme de non qualité ou de non-conformité des produits. Il est donc d'une importance capitale de mettre en place un système d'écoute des clients qui va permettre de récolter les données, afin de mesurer la performance et de s'assurer qu'on est en train de répondre aux besoins des clients.

Il existe plusieurs méthodes permettant d'écouter la voix des clients. Le tableau 3 présente les méthodes les plus utilisées avec les avantages et les inconvénients de chacune d'entre elles.

TABLEAU 3 : METHODES DE RECOLET DE VOC

Méthode	Temps nécessaire	Type de donnée	Coût	Avantage	Inconvénient
Appel téléphonique	Deux (2) semaines	Quantitative (objective)	Grande	Si la procédure est bien respectée, l'information peut être généralisée sur une grande population	Elle est rigide, et avec une faible flexibilité
Courrier	Un (1) mois	Quantitative (objective)	Faible	L'information peut être généralisée sur une grande population	Collection d'information lente
Réunion de groupe	Un (1) jour	Qualitative (subjective)	Faible-moyenne	La méthode peut être personnalisée, occasion de d'approfondir les réponses	L'information ne se généralise pas, le déplacement des participants
Réunion de groupe en ligne	Un (1) jour	Qualitative (subjective)	Faible-moyenne	La méthode peut être personnalisée, pas de déplacement.	L'information ne se généralise pas, attire une les jeunes.
Entretien individuel	Plusieurs jours	Qualitative (subjective)	Faible	La méthode peut être personnalisée, occasion	Difficile d'avoir une coopération,

Méthode	Temps nécessaire	Type de donnée	Coût	Avantage	Inconvénient
				de d'approfondir les réponses.	le déplacement des interviewers
intercepts	Plusieurs jours	Les deux	Moyenne	Résultats spécifique à une population donnée.	L'information ne se généralise pas, appropriée à un nombre limité de sujets.
Test utilisateur	Un (1) mois	Les deux	Moyenne	Provides input on user friendliness	Inadéquante pour certaine recherches, appropriée à un nombre limité de sujets.
les plaintes	Des Mois	Qualitative	Faible	Fournit des données spécifiques	L'information ne se généralise pas, appropriée à un nombre limité de sujets.

4.4. Le diagramme cause à effet (Ishikawa)

Trouver les causes de variation et remédier aux problèmes est l'objectif principal de l'amélioration. On trouve sur le terrain plusieurs sources de variation. En 1943, Dr. Kaoru Ishikawa développa une méthode graphique simple pour illustrer les problèmes liés à la qualité, cette méthode est connue sous l'appellation de diagramme d'Ishikawa, mais on peut aussi trouver dans la littérature le nom de diagramme en arête de poisson ou encore diagramme cause à effet. (Pyzdek, 2003)

Le diagramme d'Ishikawa est un outil d'organisation graphique des connaissances pour un problème particulier, il est utilisé dans le but de structurer une recherche de causes lors d'un brainstorming, illustrer exhaustivement les causes d'un phénomène, ou pour analyser les causes en remontant l'arborescence du diagramme, et dans ce cas il est un moyen de communication. Construire le diagramme d'Ishikawa se fait en traçant une ligne horizontale qui conduit à un phénomène et une arborescence de causes et effets groupés selon le domaine. Généralement les causes sont regroupées selon les 5M (Main-d'œuvre, matière, méthode, machine, milieu). (Homann, 2009)

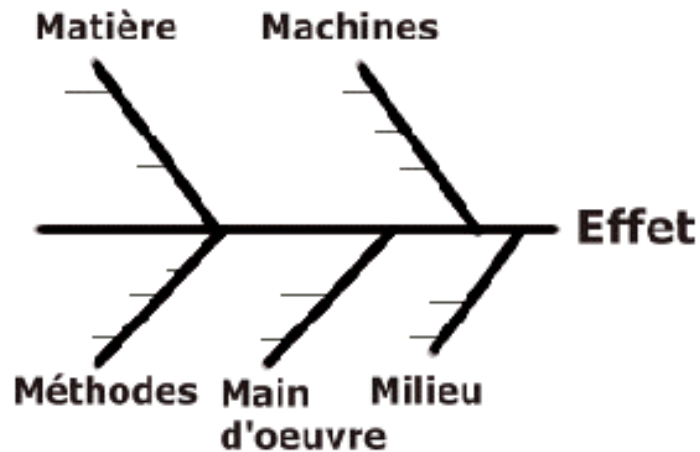


FIGURE 14 : DIAGRAMME CAUSE-EFFET DES 5M

4.5. Le Brainstorming

En français « remue-méninges », cette technique vise à briser la glace et créer une atmosphère favorable à la génération d'idées. Elle a été conçue en 1940 par Alex Osborn, un publicitaire américain. Il existe quatre règles qui garantissent le bon déroulement d'une séance de brainstorming :

- Ne jamais critiquer les idées proposées. Toutes les idées sont bonnes à noter, même les plus farfelues d'entre elles
- Laisser libre cours à son imagination, ne pas se lier de contraintes (financière, technologiques...)
- Rebondir sur les idées proposées par les autres membres, et essayer d'en formuler des nouvelles en combinant par exemple plusieurs idées.
- Essayer d'obtenir le plus grand nombre d'idées possible. Ce qui importe lors d'une séance de brainstorming, c'est le nombre et non la qualité des idées.

Le brainstorming correspond naturellement à la 4ème phase de la démarche DMAIC (Innover/Améliorer). En effet, le but de la technique est de générer le maximum d'idées. Enfin, notons que c'est l'outil le plus connu et le plus répandu parmi les outils de créativité, car c'est un outil intuitif et facile à mettre en œuvre.

4.6. Le diagramme de Gantt

Le diagramme de Gantt est un outil de planification et de gestion de production, élaboré par Henry L. Gantt en 1903. Le principe du diagramme de Gantt est associé à l'organisation scientifique du travail de Frederick W. Taylor, son but principal étant de planifier les tâches pour optimiser le temps et les ressources, et coordonnée entre les équipes et les départements (Wilson, 2003)

Les avantages du diagramme de Gantt est de faire un plan qui peut être visualisé clairement par toutes les parties prenantes. Le diagramme de Gantt compare ce qui est fait est ce qui est planifié dans le but de suivre la progression de l'exécution, en même temps qu'il souligne les raisons pour lesquelles la performance est loin du plan, car la visualisation du temps est simple et bien illustré. (Clark, 1923)

Le diagramme de Gantt est une représentation graphique des tâches sur l'axe de temps. Elle permet de visualiser l'ordonnancement des activités dans l'exécution et à quel moment elles doivent être faites. Les activités (ou tâches) sont représentées sur l'axe horizontal par des barres horizontales de dimension proportionnelle à leur durée. L'axe vertical représente la succession des tâches par ordre d'exécution. (Project Management Institute, 2008)

La figure 15 est un exemple de diagramme de Gantt pour la publication d'un article de recherche

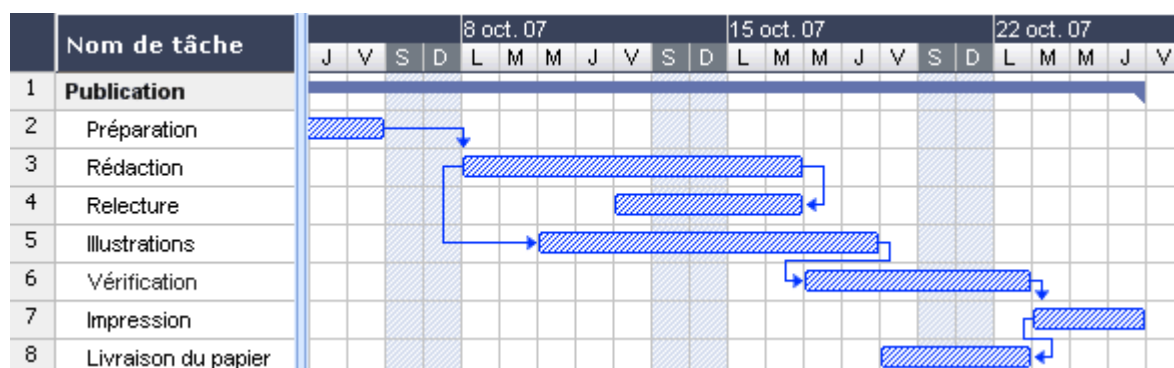


FIGURE 15 EXEMPLE D'UN DIAGRAMME DE GANTT (GANTT.COM, 2012)

Le graphe illustre les tâches en ordonnées et le temps en abscisses, la ligne représente l'activité et la colonne représente une unité de temps. Le but est de déterminer les dates planifiées de début et fin de chaque activité puisque la durée et l'enchaînement des tâches est déjà établie. Certaines contraintes peuvent être illustrées dans le diagramme, comme une interdiction de

démarrage avant une date ou avant la fin d'une autre activité qui est représentée par une dépendance. Les jalons de contrôle sont représentés sur le diagramme pour prendre des décisions ou pour la synchronisation entre les parties prenantes.

5. Conclusion

Nous avons exploré à travers ce chapitre les différentes notions auxquelles nous avons fait appel lors de ce projet. Nous avons tout d'abord expliqué la démarche Six Sigma et les différents concepts qui lui sont liés, puis nous avons présenté les méthodes et les outils utilisée lors du déroulement de notre travail.

Chapitre III : Déroulement de « Six Sigma »

Introduction

Nous nous sommes concertés avec l'encadreur dans l'entreprise afin de contribuer au déroulement du projet Six Sigma, et d'après la littérature et le manuel Nestlé, le déroulement de la méthodologie Six Sigma est structurée selon le modèle DMAIC qui comporte 5 phases. Dans cette partie nous allons nous imprégner de la problématique par conséquent nous allons dérouler les trois phases de la démarche que sont Définir, Mesurer et Analyser.

Phase 1 : Définir

Cette première phase de la démarche correspond à la partie planification dans le mode projet. Nous nous sommes réunies avec les différents responsables et la direction de l'usine pour établir la charte, cette dernière figure dans le tableau 4

La charte

La charte comporte les informations essentielles qui permettent de définir le projet et de le cerner. Le nom du projet permet à toute personne d'identifier le projet et donne une idée à propos du sujet de la problématique, qui est le gaspillage de la matière première. Elle comporte aussi une partie qui identifie toute les parties prenantes ainsi que le responsable du projet. Ces derniers ont été désignés par le chef de l'usine selon leurs connaissances et leurs compétences, ainsi que la correspondance entre les objectifs des départements auxquels ils appartiennent et ceux du projet. C'est cette équipe que nous avons rejoint pour effectuer notre stage.

Notre travail va donc porter sur la perte de matière première qui est la poudre de lait, utilisée dans l'unité de conditionnement "Dairy". Le lait en poudre représente le produit principal de l'usine, c'est pourquoi il a été décidé d'intervenir sur cette unité particulière. Le champ d'action, représenté dans la charte par le périmètre du projet, se réduit aux processus de production, le système de mesures et les procédures de travail de l'unité "Dairy". La matière première, en l'occurrence la poudre de lait, sort du périmètre du projet, car cette dernière a été le sujet d'autres interventions et elle s'avère être de très bonne qualité : ses caractéristiques physico-chimiques sont satisfaisantes. De ce fait, les recommandations et les solutions formulées ne devront pas porter sur la nature de la matière première ni sur un éventuel changement du fournisseur.

Pour quoi le gaspillage ? L'usine s'engage dans une démarche de zéro perte, et tous les moyens sont mis en œuvre afin d'atteindre cet objectif. Ce projet s'insère dans cette optique d'amélioration continue. Lors de la réunion initiale du projet le chef du projet déclara les pertes financières due au gaspillage de l'année 2014. L'objectif est de réduire la variance, qui est l'écart entre la quantité produite (PF) et la quantité de la matière première (MP) utilisée, cet écart représente le gaspillage et le manque à gagner de l'entreprise.

La charte contient donc toutes les informations permettant de cadrer le projet, contenant le champ d'action mais aussi l'échéancier. Le planning de déroulement du DMAIC est représenté sur un diagramme de Gantt, afin d'explicitier les dates importantes et les durées de chaque phase de notre travail. Nous remarquons que la durée de la phase mesure est importante relativement aux autres étapes, ceci est dû au fait que les mesures doivent être effectuées lors des journées de production, dans des conditions normales et toujours identiques.

TABLEAU 4 : LA CHARTE

Nom du projet	Problème de gaspillage en Matière première	Produit concernés	« Dairy » lait en poudre
Sponsor	Chef d'usine	Responsable du projet	Responsable qualité
Membres de l'équipe	H.Nabil, L.Amine, Responsable production, Responsable HSE, Opérateurs	Membres de l'équipe support	L'équipe qualité, L'équipe production
Date de début	10/03/2015	Date de Fin	05/08/2015
Description			
1. Description du projet	Réduire les pertes dues au gaspillage de matière première. le poids net doit être le plus proche à la valeur nominale tout en respectant la réglementation de la DCP.		
2. Périmètre	Concerné	Non concerné	
	Processus de production Equipement de mesure Procédures de travail	Matière première	

3. Objectifs du Projet	Mesures	Actuelle	Objectif	Performance idéale																																																																																																																																				
	$variance = \frac{\text{Poids utilisé} - \text{Poids Produit}}{\text{Poids utilisé}}$	0.5%	0.3%	Zéro perte																																																																																																																																				
4. Résultats	Pertes actuelle : 1 000 000 DA Gain potentiel : 500 000 DA Gain estimés attendus sur le projet : 200 000 DA																																																																																																																																							
5. Avantage client	Gain en capabilité (indicateur de performance)																																																																																																																																							
6. Budget nécessaire	Non estimé.																																																																																																																																							
7. Planning		Phase de projet	Avancement																																																																																																																																					
D. Définir		15/03	80%																																																																																																																																					
M. Mesurer		18/03	100%																																																																																																																																					
A. Analyser		02/04	90%																																																																																																																																					
I. Innover/améliorer		19/04	85%																																																																																																																																					
C. Contrôler/valider		10/05	/																																																																																																																																					
Diagramme de Gantt	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">ID</th> <th rowspan="2">Nom de tâche</th> <th rowspan="2">Début</th> <th rowspan="2">Terminer</th> <th rowspan="2">Durée</th> <th colspan="3">mars 2015</th> <th colspan="4">avr. 2015</th> <th colspan="4">mai 2015</th> </tr> <tr> <th>15/3</th> <th>22/3</th> <th>29/3</th> <th>5/4</th> <th>12/4</th> <th>19/4</th> <th>26/4</th> <th>3/5</th> <th>10/5</th> <th>17/5</th> <th>24/5</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Définir</td> <td>15/03/2015</td> <td>17/03/2015</td> <td>3j</td> <td colspan="14">[Barre de tâche]</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Mesurer</td> <td>18/03/2015</td> <td>26/04/2015</td> <td>28j</td> <td colspan="14">[Barre de tâche]</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Analyser</td> <td>12/04/2015</td> <td>30/04/2015</td> <td>15j</td> <td colspan="14">[Barre de tâche]</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Innover/améliorer</td> <td>19/04/2015</td> <td>07/05/2015</td> <td>15j</td> <td colspan="14">[Barre de tâche]</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>Contrôler</td> <td>10/05/2015</td> <td>26/05/2015</td> <td>13j</td> <td colspan="14">[Barre de tâche]</td> </tr> </tbody> </table>														ID	Nom de tâche	Début	Terminer	Durée	mars 2015			avr. 2015				mai 2015				15/3	22/3	29/3	5/4	12/4	19/4	26/4	3/5	10/5	17/5	24/5	1	Définir	15/03/2015	17/03/2015	3j	[Barre de tâche]														2	Mesurer	18/03/2015	26/04/2015	28j	[Barre de tâche]														3	Analyser	12/04/2015	30/04/2015	15j	[Barre de tâche]														4	Innover/améliorer	19/04/2015	07/05/2015	15j	[Barre de tâche]														5	Contrôler	10/05/2015	26/05/2015	13j	[Barre de tâche]													
	ID	Nom de tâche	Début	Terminer	Durée	mars 2015			avr. 2015				mai 2015																																																																																																																											
						15/3	22/3	29/3	5/4	12/4	19/4	26/4	3/5	10/5	17/5	24/5																																																																																																																								
	1	Définir	15/03/2015	17/03/2015	3j	[Barre de tâche]																																																																																																																																		
	2	Mesurer	18/03/2015	26/04/2015	28j	[Barre de tâche]																																																																																																																																		
	3	Analyser	12/04/2015	30/04/2015	15j	[Barre de tâche]																																																																																																																																		
	4	Innover/améliorer	19/04/2015	07/05/2015	15j	[Barre de tâche]																																																																																																																																		
5	Contrôler	10/05/2015	26/05/2015	13j	[Barre de tâche]																																																																																																																																			

La voix du client VOC

Après avoir défini le projet, sa problématique et ses limites, nous passons à l'identification des bénéficiaires du projet : c'est les entités qui sont éventuellement concernées par les pertes de matière première dans le processus de production. Une fois les clients du projet identifiés, nous allons présenter les attentes et les exigences de chacun de ces clients.

L'identification des clients est une étape critique de la première phase du DMAIC. C'est cette orientation vers le client qui caractérise la méthodologie Six Sigma par rapport aux autres démarches d'amélioration de la qualité. Nous allons parler du client d'une façon générale : le client est la personne physique ou morale, qui a des besoins et des exigences auxquelles il doit répondre par le biais de produits ou services. Nous distinguons deux types de clients:

- Les clients internes qui opèrent au sein de l'organisation. C'est les différents services de l'entreprise qui ont besoin du produit semi-fini, ils sont clients d'un processus interne de l'entreprise. Parmi les clients internes, nous pouvons mentionner comme exemples le service qualité, le service finances ou la direction.
- Les clients externes qui sont les entités intéressées par le produit final et qui sont généralement indépendants de l'entreprise. Parmi les clients externes nous pouvons mentionner comme exemples les consommateurs individuels, revendeurs, grandes surface ou les bases-vie.

Chacun de ces clients a des besoins et des exigences particulières. Les clients internes s'intéressent au produit semi-fini et au flux informationnel car ils en ont besoin dans leurs activités : la sortie d'un processus représente l'entrée d'un autre processus. Pour pouvoir cerner les exigences de ces clients, nous avons mené des interviews individuelles avec les responsables de chaque service interne concerné par le sujet du gaspillage de la matière première.

Concernant les clients externes, nous nous sommes entretenus avec la responsable marketing au sujet des réclamations et des retours des clients. Les agences de protection du consommateur ainsi que le ministère du commerce sont aussi des entités externes ayant des exigences par rapport au produit. Nous avons alors tenu compte de ces exigences, qui figurent dans les textes législatifs et les différents référentiels et normes internationales régissant l'industrie agro-

alimentaire (tel que le Codex Alimentarius, la HACCP ainsi que l'article 68 de la loi n° 09-03 du 29 Safar 1430 correspondant au 25 février 2009 relative à la protection du consommateur et à la répression des fraudes).

Les résultats de cette enquête sont résumés dans le tableau 5 suivant. Nous présentons dedans le client concerné, ses critères et ses attentes vis à vis de la qualité et des performances d'une manière générale, et du projet d'une manière particulière.

TABLEAU 5 : LES CLIENTS ET CTQ

	Client	CTQ du client	Avantages
Externes	Consommateurs	<ul style="list-style-type: none"> • Besoin d’atteindre les attentes en termes de qualité. • Besoin d’avoir des produits conformes, en termes de poids et de valeur nutritionnelle. • Disponibilité des produits. 	<ul style="list-style-type: none"> • Croissance des ventes • Fidélisation des clients. • Bonne impression auprès des tiers.
	Agence et direction de régulation	<ul style="list-style-type: none"> • Besoin d’avoir des produits conformes par rapport aux textes juridiques. • Besoin de s’assurer que les entreprises n’ont pas recours à la concurrence déloyale et les pratiques malveillantes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Eviter de payer des amendes • Eviter de ternir l’image de marque
Internes	La société mère Nestlé SA	<ul style="list-style-type: none"> • Exigence de mise en œuvre des méthodes modernes de gestion et d’organisation dans une optique d’amélioration continue, afin de s’aligner avec le programme NCE. 	<ul style="list-style-type: none"> • Augmenter les profits. • Donner une continuité d’activité et bonne image de la société
	Direction de l’usine	<ul style="list-style-type: none"> • Besoin de réalisation des objectifs et maximisation de la production • Réduire la variance (MP-PF) 	<ul style="list-style-type: none"> • Augmenter les profits • Réduire les pertes.
	Service financier	<ul style="list-style-type: none"> • Besoin de justifier les écarts et la variance (MP-PF) 	<ul style="list-style-type: none"> • Bonne gestion du budget de l’usine
	Service production	<ul style="list-style-type: none"> • Matière première conforme et homogène (mêmes caractéristiques). • Disponibilité des machines. 	<ul style="list-style-type: none"> • Augmenter le TRS • Réduire la variance

SIPOC

La troisième et dernière étape de cette première phase met la lumière sur le processus cible de notre intervention. En effet, après avoir cadré le projet et ses limites, et après avoir identifié les entités concernées par le projet et leurs exigences, il est primordial pour l'équipe projet de bien cerner le processus en question. Une cartographie SIPOC permet justement d'approcher le processus d'une manière globale en identifiant les 5 parties suivantes : le fournisseur, l'entrée qu'il fournit au processus, les activités du processus, le produit à sa sortie et le client qui attend ce produit.

Nous avons établi la cartographie SIPOC du processus de production de la poudre de lait, qui figure dans le tableau 6 :

TABLEAU 6 : CARTOGRAPHIE SIPOC

Supplier	Input	Process	Output	Customer
Warehouse	Matière première	<pre> graph TD A[Stripping] --> B[Production] subgraph B [Production] B1[Versage dans le Guerin] B2[Tamisage] B3[Remplissage dans les sacs] B4[Soudure et coupe des sacs] B5[Check weigher] end B --> C[Packaging & Mise en palettes] C --> D[Warehouse PF] </pre>	Produit fini	Warehouse

A la fin de la phase Define, nous sommes en mesure de répondre à la question “qu’est ce qui est important pour l’entreprise ?” en définissant le projet, sa portée et ses objectifs. La cible est donc le gaspillage de la matière première cause par l’overfilling des sacs dans le processus de conditionnement.

Phase 2 : Mesurer

Cette deuxième phase concerne essentiellement la mesure des valeurs en rapport avec notre projet, ainsi que calcul de la variation du processus qui va permettre d'estimer la capacité de ce dernier

R&R capacité des moyen de mesure

Nous avons précisé auparavant que l’unité “Dairy” dispose de deux lignes de conditionnement. Chaque ligne est équipée d’un Checkweigher(CW). L’unité dispose aussi d’une balance statique de précision servant principalement à vérifier les CW.

CheckWeigher :

Positionné après la sortie de la Wolf (machine de conditionnement) comme le montre le schéma dans l’annexe 1.1 , son rôle est de peser chaque pièce produite en continu et fournir un nombre d’informations à l’opérateur (un graphe des valeurs individuelles, un histogramme avec la moyenne et l’écart type de la production journalière, une carte de contrôle x et une carte des tendances) ses caractéristiques sont dans le tableau 7.

Balance statique

La balance statique est présente dans le processus pour la vérification de l’exactitude du Checkweigher. D’une manière périodique chaque 30 minutes l’opérateur vérifie le poids de 2 sacs et les compare à la valeur affichée dans le Checkweigher. Les caractéristiques de la balance statique sont aussi présentes dans le tableau 7.

TABLEAU 7 : CARACTERISTIQUES DES OUTILS DE MESURE

	Checkweigher	Balance statique
Le calibre	1000g	1000g
La résolution	0.2g	0.1g
Le seuil	0.2g	0.1g

Tests effectués

Pour mener à bien l'analyse des moyens de mesure décrite dans le chapitre II, nous avons suivi les instructions figurant dans le document interne de Nestlé (General Instructions 51 : Net Content Management), qui décrit deux méthodes pour contrôler l'outil de mesure.

La procédure de vérification journalière de la balance statique, qui se fait avec un étalon de référence, est détaillée dans une fiche pour les opérateurs, elle consiste à poser l'étalon sur des points bien précis et noter la valeur affichée dans une checklist.

Pour l'analyse du CW, il existe deux méthodes : la première permet de vérifier la justesse du CW en pesant sur la balance statique, et d'une manière périodique (chaque 30 minute), deux échantillons résultent de la production. Les valeurs relevées depuis le CW et la balance statique sont notées dans une checklist afin d'avoir un suivi de l'équipement de mesure.

La seconde méthode permet de vérifier l'exactitude (justesse et fidélité) du CW. Elle consiste à faire passer par le CW le même sac 25 fois de suite. L'écart type de cette série de valeurs représente la dispersion (qui est l'erreur de fidélité de l'outil), tandis que l'écart entre la moyenne de ces valeurs et le poids affiché sur la balance statique représente l'erreur de justesse (le biais). Plus ces valeurs sont proches de zéro, plus l'outil de mesure est performant.

Résultats

Nous avons suivi la procédure décrite précédemment, et les résultats sont présentés dans le tableau 8.

TABLEAU 8 : RESULTATS DU TESTES SUR LES CWs

Test	CW ligne A	CW ligne B
Biais (erreur de justesse)	1.13 g	0.45
Variance (erreur de fidélité)	0.26g	0.17g

Les résultats des tests effectués nous disent que le CW de la ligne A contient un biais considérable. En effet, nous notons un écart de 1.13g avec la valeur affichée par la balance statique. Le CW de la ligne B contient aussi un biais de 0.45g ce qui est non négligeable.

Concernant la fidélité, la variance notée sur les valeurs du CW de la ligne A est de 0.26g et elle dépasse l'incertitude affichée par le constructeur qui est de 0.2g, mais l'écart n'est pas alarmant. Concernant le CW de la ligne B, la valeur trouvée est acceptable, et correspond parfaitement à celle affichée par le constructeur.

Plan de collecte de données & échantillonnage

Pour effectuer la collecte de données, nous nous sommes référés aux instructions figurant dans le document interne de Nestlé (General Instructions 31: Statistical process control) traitant de la maîtrise statistique des procédés. L'échantillonnage se fait sur 30 sacs par lot et sur au moins de 10 lots.

Les conditions à respecter lors de la collecte de données sont les suivantes :

- La pesée doit être effectuée sur la balance statique (résultats de l'étape précédente)
- Les prélèvements se font indépendamment sur chaque ligne.

- Les prélèvements se font dans les conditions normales de production, sans facteurs externes ou circonstances particulières (par exemple la production sur une seule ligne ne représente pas une circonstance normale)
- Les prélèvements ne se font pas lors de la journée du nettoyage hebdomadaire (chaque Jeudi) car la production s'arrête à 10h
- Les prélèvements commencent après le premier bon sac produit, et concernent seulement les sacs jugés "bons" et pas défectueux.
- Les valeurs de la fin de production ne sont pas prises.

Une séance de prélèvement dure au minimum deux heures pour un shift de huit heures. Plus la durée est longue, plus l'échantillon est représentatif de la population totale. La valeur prélevée représente le poids net du sac, en prenant en compte la tare⁷ et nous la retirons du poids total.

Compte tenu de ces conditions et afin d'avoir un échantillonnage représentatif, la collecte de données nous a pris 28 jours en tout. Les causes principales ayant prolongé cette phase sont les cas où, soit l'une des deux lignes produisaient des sacs de 1kg, soit elle ne produisait pas du tout. Ces deux situations ne représentant pas les conditions normales de production, nous n'avons pas pris en compte les valeurs relevées pendant ces jours.

Boite à moustaches

La boite à moustaches est une représentation graphique des données permettant d'apprécier le profil d'une série statistique en illustrant quelques-unes de ses caractéristiques comme la médiane ou le 1er quartile et le 3ème quartile. Elle permet de voir comment sont distribuées les valeurs de la série statistique.

Nous avons donc décidé d'utiliser cette représentation graphique pour analyser les données récoltées. La figure 16 contient une boite représentant la ligne A et une autre boite représentant la ligne B. Nous allons par la suite discuter ces résultats

⁷ La tare représente le poids de l'emballage des sacs.

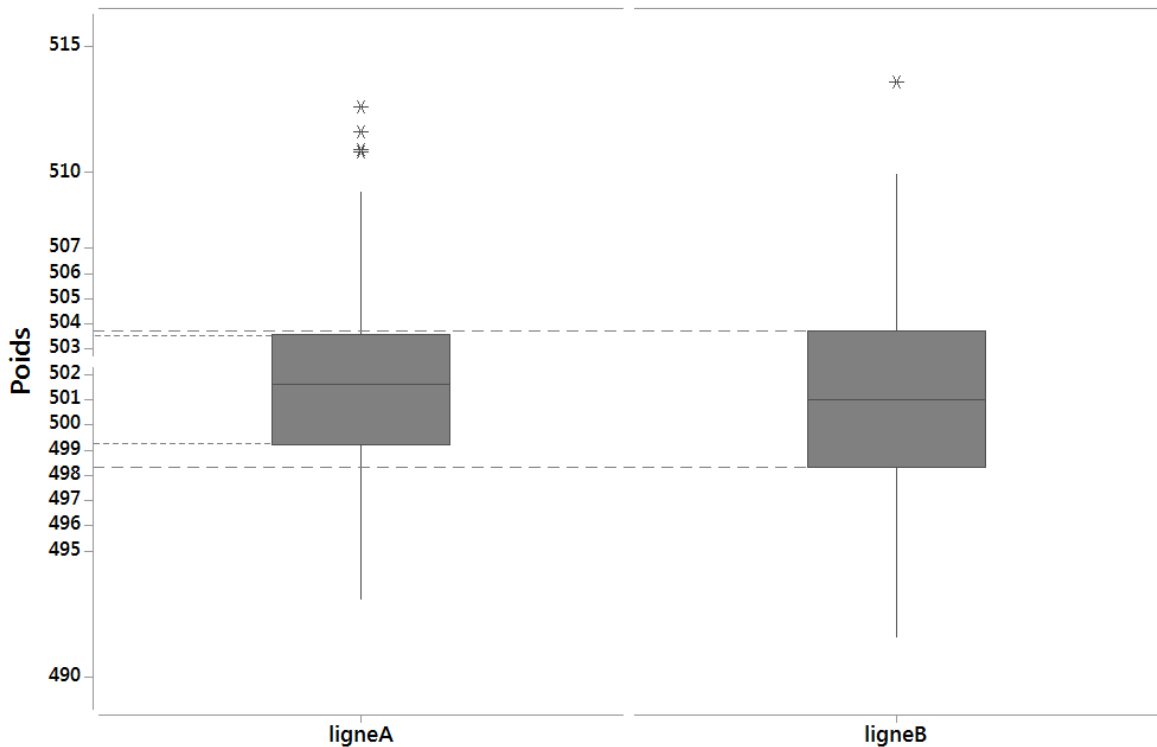


FIGURE 16 : BOITE A MOUSTACHES DES DONNEES DES LIGNES A ET B

Notons d’abord les caractéristiques (Chapitre 2 : Etat de l’art/ 3.4 Représentation graphique d’une distribution/ Box plot) de chacune des deux séries de valeurs, que nous pouvons tirer depuis les deux représentations :

TABEAU 9 : INTERPRETATION DE LA BOITE A MOUSTACHE

	Ligne A	Ligne B
1er quartile	499.25	498.3
Médiane	501.6	501
3ème quartile	503.57	503.7
Écart interquartile	4.35	5.4

A partir des représentations en boîte à moustaches et le tableau des valeurs caractéristiques, nous pouvons tirer les remarques suivantes concernant les séries de valeurs :

Pour la ligne A, 25% des valeurs sont inférieures à 499.25g, et donc 75% des valeurs sont supérieures à 499.25g. Vu que la médiane est 501.6g, on peut conclure que le processus n'est pas centré au tour de la cible (500g), et qu'il est décalé vers le haut (résultats supérieurs à la cible). Enfin, l'écart interquartile nous donne un aperçu sur la dispersion des données sans qu'il ne soit affecté par la présence de valeurs aberrantes (points fuyards, notés x sur la boîte à moustaches). 50% des valeurs se trouvent dans un intervalle d'une longueur de 4.35g et qui est délimité par le 1er et 3ème quartiles [499.25g ; 503.57g]

Pour la ligne B, le premier quartile se trouve être la valeur 498.3g et donc 75% des valeurs de la série sont supérieures à cette valeur. La médiane est 501g et donc là aussi le processus est décalé vers le haut par rapport à la valeur cible. Enfin, 50% des valeurs se trouvent dans un intervalle d'une longueur de 5.4, délimité par [498.3 ; 503.7]

En comparant les résultats de la ligne A avec ceux de la ligne B, nous tirons les conclusions suivantes :

- Les deux lignes connaissent une dispersion des valeurs (une variation) et cette dispersion est plus marquée pour le cas de la ligne B.
- Les deux lignes connaissent aussi un décentrage. En effet, dans les deux cas nous avons constaté un décalage vers le haut. Ce décalage est plus apparent dans le cas de la ligne A.

Ces résultats viennent donc confirmer que le processus, et plus particulièrement la variation et le décentrage de ce dernier, sont une cause de l'overfilling et donc de la perte de MP.

L'histogramme - interprétation -capabilité

L'histogramme est une autre représentation graphique des données, permettant d'étudier la distribution de notre variable. En comprenant la distribution du poids, nous pourrions déterminer approximativement à quel degré la variation du poids contribue dans la perte de matière première, et nous pourrions aussi évaluer la performance du processus et calculer sa capabilité

à répondre aux exigences spécifiées par les clients. En d'autres termes, l'histogramme représente la voix du processus et sa correspondance avec la voix des clients.

La figure 17 l'histogramme des valeurs de la ligne A :

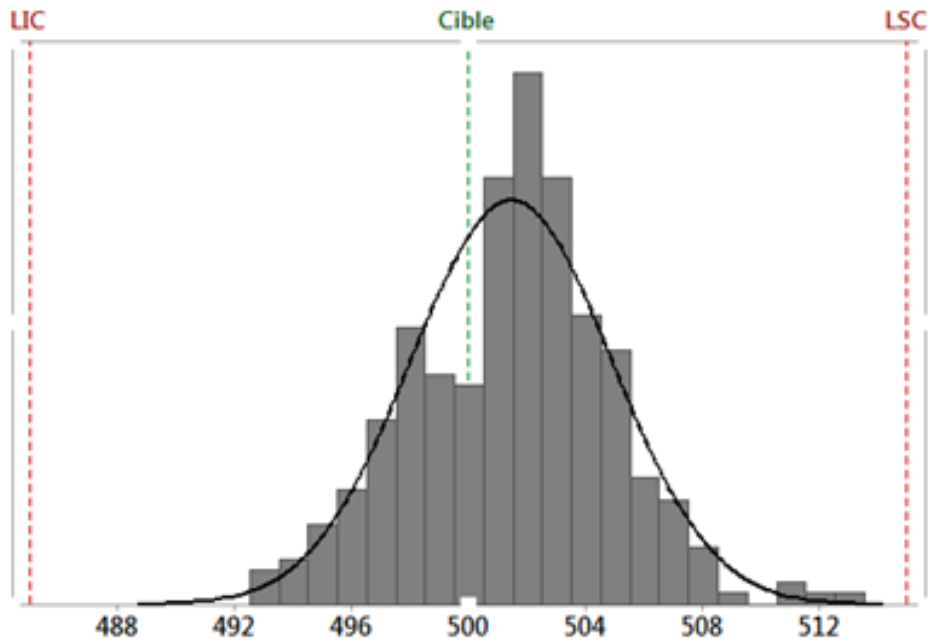


FIGURE 17 : HISTOGRAMME DES DONNEES DE LA LIGNE A

Les données sont distribuées selon une loi normale, ce qui indique que le processus opère sous l'effet de causes normales seulement, et pas de causes spéciales.

Nous remarquons que la distribution n'est pas centrée autour de la valeur cible (500g) car sa moyenne est de 501.43g. Cet écart de 1.43g représente l'écart moyen entre la moyenne et la cible présente dans tous les paquets produits par la ligne A. Nous pouvons voir aussi à travers ce graphique comment sont distribuées les valeurs autour de cette moyenne, ainsi que leur dispersion, cette dispersion est décrite par l'écart type de la distribution qui est de 3.42g

L'histogramme de la ligne B est donné dans la figure 18 :

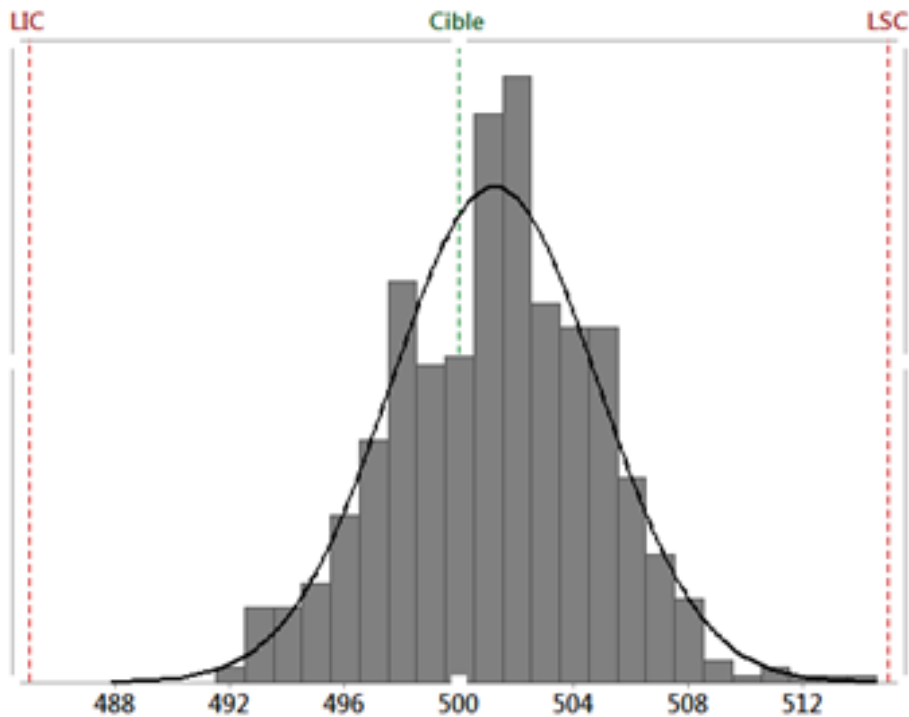


FIGURE 18 : HISTOGRAMME DES DONNEES DE LA LIGNE B

Là aussi, les valeurs sont distribuées selon loi normale, et il n'y a donc pas de causes spéciales influant sur le processus. La tendance centrale de la distribution est décalée par rapport à la cible (500g) car la moyenne des valeurs est 500.99g. La dispersion des valeurs, mesurée par l'écart type de la distribution qui est de 3.73g, peut aussi être appréciée via l'histogramme. Voici un tableau qui résume les caractéristiques des distributions des deux lignes, c'est le tableau 11 :

TABLEAU 10 : RESULTA DES DONNEES

	Ligne A	Ligne B
Moyenne (g)	501.43	500.99
Ecart type (g)	3.42	3.73
Etendue (g)	19.5	22

En comparant les distributions des deux lignes, nous remarquons les phénomènes suivants :

La tendance centrale, exprimée par la moyenne, est plus décalée dans le cas de la ligne A, car la moyenne des valeurs relevées depuis la ligne A est supérieure à celle de la ligne B. Cependant, elle est différente de la cible dans les deux cas.

En d'autres termes, les données montrent que la situation actuelle est équivalente à la situation où la ligne A produirait des paquets parfaitement identiques de 501.43g chacun, et des paquets de 500.99g dans le cas de la ligne B.

Ceci montre l'impact que peut avoir le décentrage du processus sur notre problématique qui est la perte de matière première. En effet, en nous basant sur ces valeurs, nous pouvons évaluer les pertes de matière première de la façon suivante :

Actuellement, l'usine perd 1.43g de poudre de lait par paquet produit par la ligne A, et 0.99g par paquet produit par la ligne B. La capacité de production journalière maximale de l'unité "Dairy" est de 31200kg. Cependant, affichant un TRS de 75%, l'unité produit en moyenne 23400 kg par jour. Sachant que chaque paquet contient 500g, le nombre de paquets produits est $23400 \div 0.5 = 46800$ sacs. Puisque l'unité ne dispose de deux unités fonctionnant à la même cadence (65sacs/minute), nous divisons par 2 le nombre de sacs pour trouver la production journalière de chaque ligne et nous retrouvons 23400sacs/ligne. Si la ligne A fait perdre à l'entreprise 1.43g par sac, ceci est équivalent à $23400 \times 1.43 = 33462$ g ou encore 33.46kg par jour ! En ce qui concerne la ligne B, la perte s'élève à 0.99g par sac, ce qui veut dire $23400 \times 0.99 = 23166$ g ou encore 23.17kg par jour. Ces calculs étant basés sur des moyennes sont approximatifs, mais donnent une idée des pertes de matière première dues à l'overfilling.

Dans la littérature, ce phénomène de décentrage par rapport à la valeur cible est appelé "erreur de réglage de la machine" (Pillet, 2005) car en théorie il peut être réglé grâce à un "étalonnage" ou une compensation sur l'outil, ce qui veut dire que l'opérateur doit régler la machine en tenant compte de cet écart pour atteindre la cible. Mais en pratique, il ne peut pas être éliminé avec autant de simplicité, en partie parce qu'il existe une multitude de causes pouvant donner lieu à ce phénomène, mais aussi parce que le processus connaît une variabilité inhérente entraînant une dispersion dans les valeurs de sortie, et qui empêche l'opérateur de régler et de suivre le processus d'une manière optimale et fiable.

Nous pouvons à présent calculer la capabilité de chacune des deux lignes. La capabilité C_p est donnée par la formule suivante :

$$C_p = \frac{LSS - LIS}{6\sigma}$$

Cependant, comme la voix du processus n'est pas symétrique par rapport à la cible, le C_p à lui seul n'est pas suffisant pour évaluer le processus. Nous devons utiliser le C_{pk} pour le calcul de la capabilité. La formule pour calculer le C_{pk} est la suivante :

$$C_{pk} = \min\left(\frac{LSS - m}{3\sigma}, \frac{m - LIS}{3\sigma}\right)$$

Avec :

LSS : Limite supérieure de spécification

LIS : Limite inférieure de spécification

m : Moyenne de la distribution

σ : Écart type de la distribution

En utilisant la formule du C_p , nous obtenons un $C_{p(A)}$ de 1.46 pour la ligne A et un $C_{p(B)}$ de 1.34 pour la ligne B.

En utilisant la formule du C_{pk} , on obtient un C_{pk} de 1.32 pour la ligne A et un C_{pk} de 1.25 pour la ligne B.

Ces indicateurs nous indiquent à quel point les processus satisfont les exigences des clients (représentées par les limites de spécifications). D'une manière générale, un processus avec un $C_p > 1.33$ est acceptée comme étant un processus capable. Dans notre cas, les processus s'avèrent être tout juste capable, avec un C_p/C_{pk} avoisinant le 1.33. Nous remarquons que l'indicateur de capabilité est "meilleur" pour la ligne A que pour la ligne B, alors qu'on avait trouvé précédemment que les pertes de matière première étaient plus importantes sur la ligne A que sur la ligne B.

Cela est tout à fait normal, car le C_p prend en compte la dispersion des données, représentée par l'écart-type de la distribution. Ce dernier étant plus grand pour les valeurs de la ligne B, son C_p en est inférieur. Concrètement, ceci veut dire que le processus est plus difficile à maîtriser et sa sortie est moins "stable".

La capacité du processus n'indique donc pas directement si le processus contribue à la perte de matière première ou non. Elle donne cependant une estimation de la probabilité d'avoir des produits non-conformes (qui n'a pas vraiment d'utilisation dans notre cas précis, car une pièce défectueuse passe en rework et n'est pas perdue). Il n'empêche qu'un processus capable est plus simple à piloter et à maîtriser (dans le cas d'une erreur de réglage expliquée auparavant par exemple)

Durant cette deuxième phase du DMAIC, nous avons étudié le phénomène de plus près en nous intéressant au processus de production. Nous avons tout d'abord effectué une collecte de données afin de comprendre le comportement et la distribution de la variable de poids. Nous avons ensuite évalué l'impact de la variation et du décentrage de cette distribution sur les pertes de matière première. Enfin, nous avons calculé la capacité des processus A et B et avons fait le lien entre la capacité et le sujet des pertes de matière première.

Phase 3 : Analyser

La troisième étape du DMAIC est la phase d'analyse. A travers cette phase, nous allons identifier les causes racines de l'overfilling. Nous allons aussi expliquer le principe de fonctionnement du processus de conditionnement de l'unité "Dairy" et rentrer dans les détails techniques qui nous permettront de le comprendre. Enfin, nous discuterons les cartes de contrôles relevées lors d'une journée de production et nous expliciterons le lien entre ce qui est perçu sur la carte de contrôle et ce qui se passe dans le processus, afin de comprendre l'origine de la variation et donc de l'overfilling.

Les 5M du processus de conditionnement

Afin de mieux comprendre les causes derrière la variation perçue dans le processus, nous allons procéder à une analyse des 5M du processus : Méthode, Machine, Main d'oeuvre, Matière, Milieu. Nous allons expliquer comment chacune de ces familles de causes influe sur le poids des sacs à la sortie du processus.

Méthodes :

Cette catégorie regroupe les méthodes et les procédures de travail ayant un rapport avec notre problématique, c'est à dire le poids des sacs à la sortie du processus de conditionnement. La vérification des moyens de mesure est l'une des procédures pouvant affecter le poids des sacs. Même si les moyens de mesure n'affectent pas réellement le poids, ils peuvent induire les opérateurs en erreur, car ces derniers vont se baser sur des informations erronées pour régler la machine.

La procédure de lancement et de réglage de la machine, ainsi que le contrôle de routine ont un impact sur le poids des sacs.

La procédure de gestion de la tare peut aussi être une source de variation et donc de surpoids dans les paquets. En effet, le poids net du sac, qui représente le poids de la poudre de lait contenue dans le sac, est obtenu en pesant le sac et en soustrayant le poids de l'emballage. Si le poids de l'emballage n'est pas connu par l'opérateur, et si il n'y a pas de méthodes bien établies pour le déterminer, le poids net précis des sacs ne peut alors être contrôlé.

Enfin, les différentes procédures de suivi, bien que n'affectant pas le poids des sacs, permettent une meilleure visibilité et donc un meilleur pilotage du processus.

Milieu :

Comme nous l'avions mentionné dans le Chapitre I, les différentes zones sont classées selon le niveau d'hygiène. Le conditionnement des sacs se fait dans une zone haute hygiène. La température et le taux d'humidité sont surveillés en permanence dans ces zones, car ces derniers peuvent avoir un effet sur le processus et sur les caractéristiques physico-chimiques de la poudre de lait.

Un autre paramètre ayant un impact direct sur le contrôle du poids des sacs est la circulation de l'air dans la salle de conditionnement. Les moyens de contrôles étant très sensibles, un courant d'air peut dégrader la précision des instruments de contrôle, qui donneront des résultats erronés.

Enfin, les vibrations sont aussi une source de variation du processus. La performance de la machine de conditionnement peut varier sous l'effet de vibrations, et il en va de même pour les instruments de contrôle du poids. En plus, la masse volumique d'une poudre soumise à des vibrations est amenée à changer sous l'effet du phénomène de tassement.

Main d'oeuvre :

L'opérateur est la seule personne ayant un impact direct sur la variation du poids. Il y a 3 opérateurs au total pour l'unité "Dairy". Un opérateur s'occupe de la ligne A, tandis que deux autres opérateurs s'occupent à tour de rôle de la ligne B (rotation des postes).

L'opérateur est chargé des différentes tâches opérationnelles ayant lieu dans la salle de conditionnement. Parmi ses responsabilités, nous pouvons citer le lancement de la machine, le contrôle de routine, les différents réglages et interventions nécessaires au bon fonctionnement des machines... il doit aussi s'assurer de la conformité des sacs produits vis à vis du poids, et faire le nécessaire en cas de non-conformité.

Chacun des opérateurs ayant sa propre vision et approche, on peut voir une différence dans les approches. Certains sont plus réactifs aux informations du CW par exemples, alors que d'autres préfèrent régler la machine une bonne fois pour toute.

Matière :

La matière dont il est question dans ce processus est la poudre de lait. Les caractéristiques physico-chimiques de la poudre utilisée ont une influence sur la variation des poids. Le poids d'une quantité de poudre donnée est directement lié avec sa masse volumique, et une variation dans cette masse volumique va donc induire une variation dans les poids des sacs.

Machine :

Le principe de fonctionnement de la machine de conditionnement ainsi que sa performance, sont des facteurs majeurs dans le déroulement du processus et la variation perçue à la sortie de celui-ci. Nous allons donner par la suite plus de détails quant au fonctionnement de la machine, car il s'avère être la cause principale de la variation du poids des sacs.

Les instruments de mesure font aussi partie de l'équipement de l'unité "Dairy" et affectent indirectement les poids, vu que ces équipements fournissent une information aux opérateurs. Si cette information est erronée, la décision (réglage de la machine) va l'être aussi.

Cette analyse des 5M qui entourent le processus de conditionnement nous permet de construire le diagramme des causes-effets de la figure 19, qui regroupe les causes de la

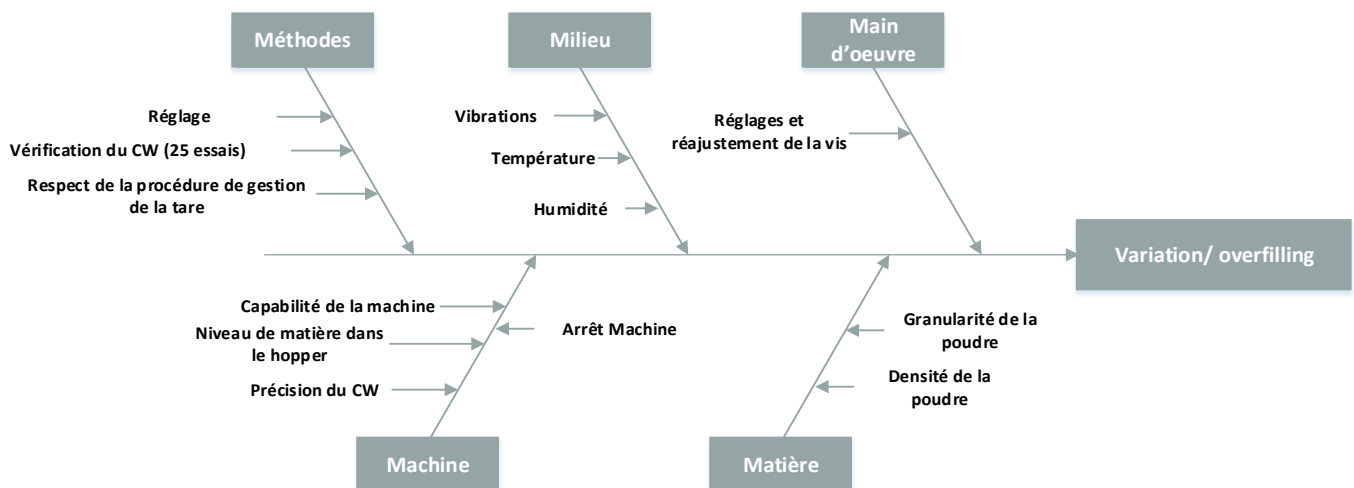


FIGURE 19: DIAGRAMME ISHIKAWA DES CAUSES DE VARIATION

Cartes de contrôle

Afin de pousser plus loin l'analyse de la variation et d'en déterminer la cause principale, nous avons opté pour une carte de contrôle quantitative des moyennes (chaque 3 sacs). Pour obtenir cette carte de contrôle, nous avons suivi la procédure et respecté les conditions décrites dans la partie Mesure traitant de la collecte des données, Chapitre 3 : Mesurer – Plan de collecte de données, mais cette fois ci, nous avons pris des sacs consécutifs.

La carte de contrôle relevée depuis la ligne A est représentée dans la figure 20. Les valeurs figurent dans le tableau de l'annexe 3.5.

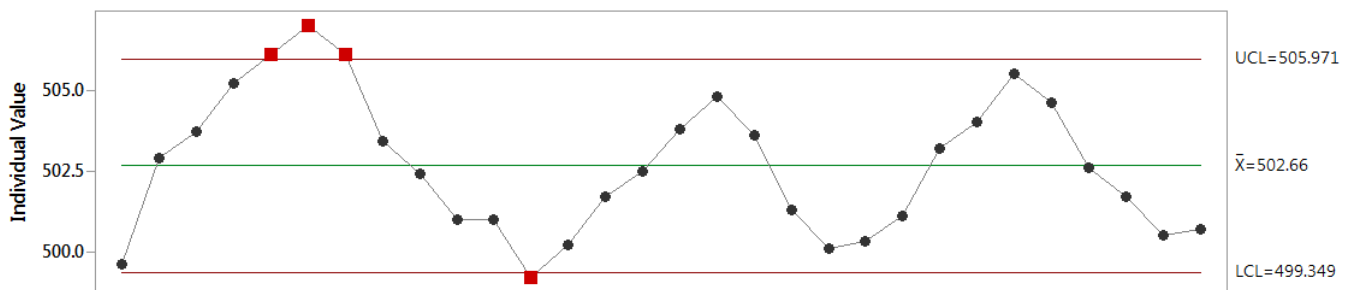


FIGURE 20 : CARTE DE CONTROLE DE LA LIGNE A

Les valeurs s'étendent de 499.2g jusqu'à 507g, avec une moyenne de 502.66g et un écart-type de 2.1g. D'une manière générale, elles sont supérieures à la valeur cible (500g). Nous remarquons quelques valeurs qui se trouvent hors des limites de contrôle, ce qui indique que le processus peut être instable.

La présence d'effets cycliques dans la carte de contrôle indique l'influence d'un phénomène cyclique causant la variation. Le cycle comporte deux phases : une phase à tendance croissante jusqu'à atteindre un maximum local (le poids du sac produit à cet instant est maximum), suivie d'une phase à tendance décroissante jusqu'à atteindre un minimum local (le poids du sac est minimum).

La figure 21 représente la carte de contrôle des valeurs relevée depuis la ligne B:

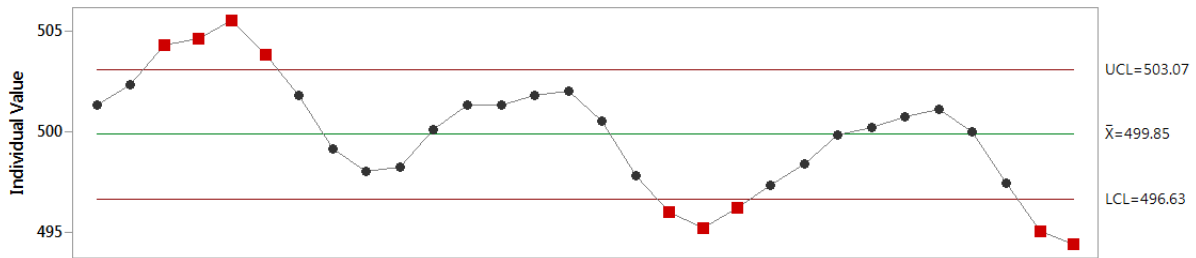


FIGURE 21: CARTE DE CONTROLE DE LA LIGNE B

Les valeurs s'étendent cette fois-ci de 494.4g jusqu'à 505.5g avec une moyenne de 499.85g et un écart type de 2.9g. Là aussi nous remarquons l'existence de points hors des limites de contrôles, ainsi que la présence d'effets cycliques.

Les cartes de contrôle de chacune des deux lignes présentent donc les mêmes phénomènes. Mais les valeurs de la ligne B connaissent une plus grande variation, expliquée par un écart type plus important ainsi qu'une tendance décroissante des valeurs de la carte de contrôle.

Globalement, nous concluons comme suit : la variation du poids des sacs a lieu d'une manière cyclique. D'après les deux cartes de contrôle, ce phénomène cyclique est la cause principale de la variation.

L'opération de remplissage des sacs

Pour expliquer la présence de ces effets cycliques dans la carte de contrôle, nous nous sommes mis à la recherche de la cause dans l'unité de conditionnement. Vu la nature cyclique du phénomène constaté, nous avons limité le champ d'investigation aux activités et aux opérations ayant lieu de manière périodique, avec une période proche de celle du cycle constaté précédemment. Cette période est de l'ordre de 35 à 40 secondes pour le cycle.

Pour situer la cause racine de ce phénomène, nous sommes remontés à l'opération de remplissage des sacs. Le remplissage des sacs se fait à l'aide d'une vis sans fin, ou "vis d'Archimède". La vis est connectée à un Hopper de 25kg contenant de la poudre de lait. Ce Hopper est lui-même connecté à un Grand Hopper via une grande vis d'alimentation.

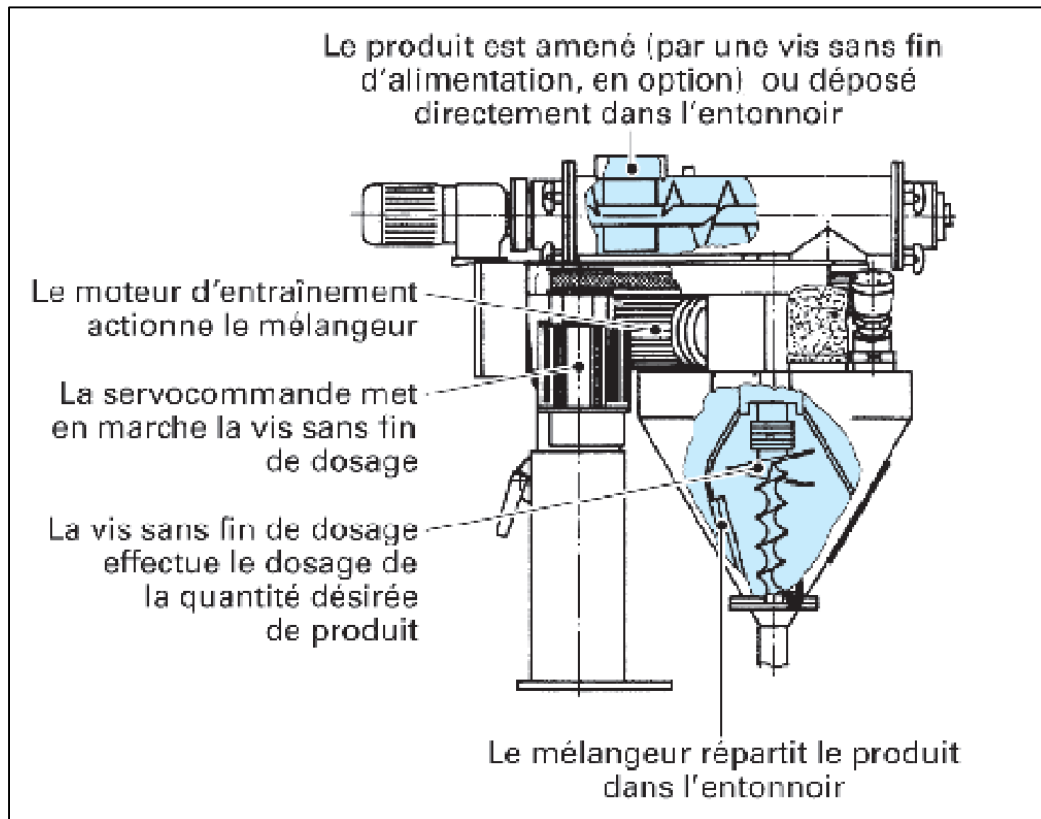


FIGURE 22 : DOSEUR ET ALIMENTATION PAR VIS SANS FIN (COGARD, 2006)

C'est à ce niveau que nous avons identifié le phénomène cyclique qui est à l'origine de la variation du poids des sacs. L'alimentation du Petit Hopper avec la vis d'alimentation se fait d'une manière périodique et c'est cette opération qui donne lieu aux cycles constatés précédemment. Le Petit Hopper est équipé d'une sonde, qui envoie un signal lorsque le niveau de la poudre à l'intérieur du Petit Hopper se trouve au-dessous d'un seuil donné qu'on va appeler "Niveau Min" (c'est à dire lorsque la sonde n'est plus en contact avec la poudre). Ce signal est transmis et donne l'ordre à la vis d'alimentation de ramener de la poudre de lait. C'est ainsi que commence donc l'opération d'alimentation. Durant cette opération, le niveau de la poudre au sein du Petit Hopper va augmenter jusqu'à atteindre un certain "Niveau Max". L'alimentation s'arrête et le niveau à l'intérieur du Petit Hopper redescend de nouveau jusqu'à atteindre "Niveau Min", ce qui donne lieu à une nouvelle opération d'alimentation et ainsi de suite.

Le cycle est donc l'opération d'alimentation du Petit Hopper. "Niveau Max" correspond au sac ayant le poids maximum, tandis que "Niveau Min" correspond au sac ayant un poids minimum. Les deux phases (Croissance, Décroissance) correspondent aux deux états de la vis d'alimentation (Marche, Arrêt).

La technologie utilisée pour le remplissage des sacs est nommée "Dosage volumétrique". L'opération de dosage se fait par le biais de la vis sans fin. Cette dernière contient des espaces creux autour de son axe servant à contenir de la poudre. Par la rotation de la vis, la poudre vient se loger dans ces chambres et occuper le volume (d'où le nom "Dosage Volumétrique"). Cette poudre va être déversée dans les sacs et la quantité déversée dépend de la poudre contenue dans la vis, les dimensions de la vis et sa vitesse de rotation

Nous émettons alors l'hypothèse suivante concernant la cause principale de la variation du poids dans le processus :

Le poids des sacs produits est directement lié au niveau de poudre contenu dans le Petit Hopper. Plus ce dernier est rempli, plus le poids des sacs sortants est grand.

Afin de valider cette hypothèse et de vérifier l'existence d'une relation entre le niveau de poudre dans le Petit Hopper et le poids des sacs, nous avons mené une expérience à la fin de la production et au dernier jour de la semaine. Cet instant coïncide avec le nettoyage hebdomadaire de la ligne, où les opérateurs doivent vider le circuit de la matière première qui s'y trouve.

Pour réaliser cette expérience, nous nous sommes intéressés aux derniers paquets sortants de la ligne, quand le Petit Hopper est en train de se vider. A ce moment-là, l'opération d'alimentation n'a plus lieu (car il n'y a plus de poudre dans le circuit) et donc le phénomène cyclique ne se produit pas. Nous avons alors pesé les derniers sacs sortants pour établir une relation entre le poids de ces sacs et la quantité de poudre dans le Petit Hopper. Les sacs ont été pesés dans l'ordre de leur sortie de la machine, afin de pouvoir les utiliser pour déterminer la quantité de matière dans le Petit Hopper à tout instant : la quantité totale étant la somme des poids de tous les sacs et la quantité à chaque instant est la quantité totale moins la somme des poids des paquets déjà produits à cet instant. Les valeurs obtenues peuvent être consultées dans l'annexe 3.6 et le graphe de la figure 23 suivant représente la relation exprimée par ces valeurs :

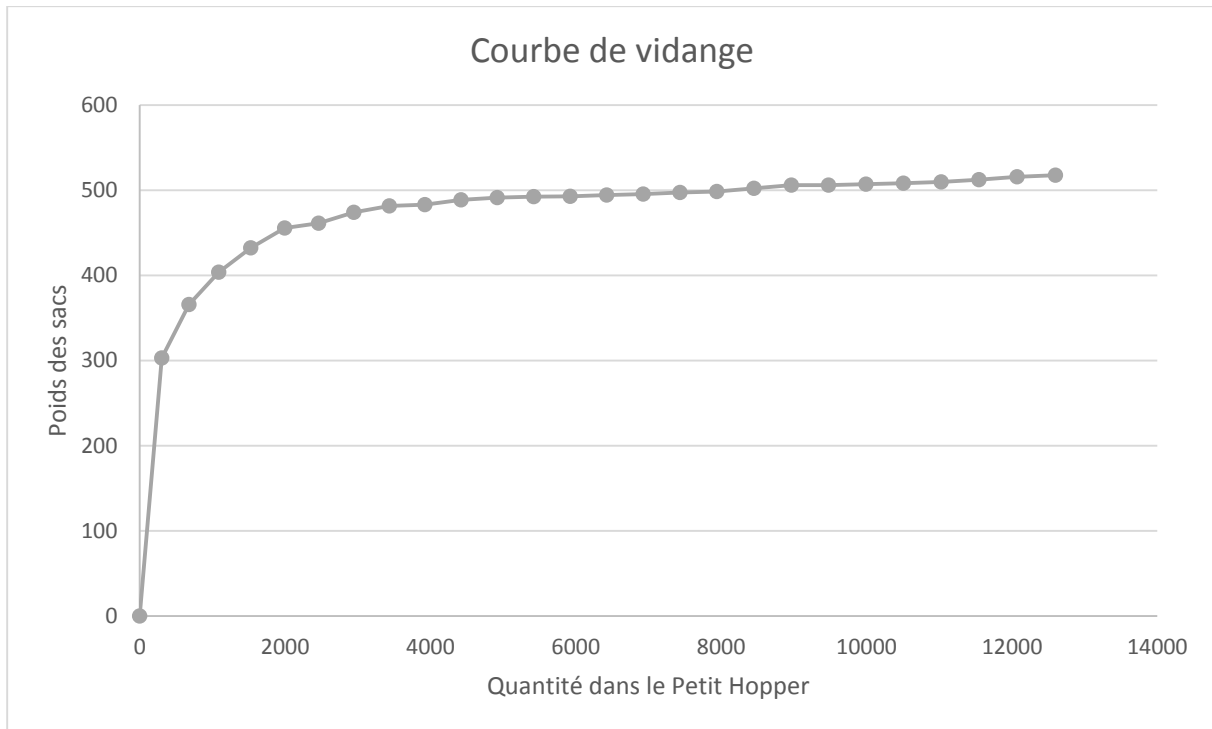


FIGURE 23 : COURBE RELIANT LA CAUSE (QUANTITE DANS LE PETIT HOPPER) A L'EFFET (VARIATION DU POIDS DES SACS)

Ce graphique montre clairement que la quantité de poudre dans le Petit Hopper (Axe des abscisses) à un instant (t) a une relation directe avec le poids du sac produit à cet instant. En d'autres termes, la variation du poids des sacs à la sortie du processus est due en premier lieu à la variation de la quantité de matière contenue dans le Petit Hopper. L'hypothèse émise est alors vraie, et cette cause représente la cause principale de la variation du processus.

Durant la phase d'analyse, nous avons exploré toutes les pistes qui entourent le processus à la recherche des causes de la variation du poids des sacs. Nous avons commencé notre diagnostic par une analyse des 5M qui entourent le processus. Nous avons par la suite étudié les cartes de contrôle de chacune des deux lignes, afin d'apprécier la stabilité du processus et de vérifier la présence de tendances particulières ou des symptômes menant vers une cause spéciale. Les effets de cycles constatés sur les deux cartes de contrôle nous ont menés vers le Petit Hopper qui est au cœur de l'opération de remplissage. Nous avons identifié le cycle d'alimentation du Petit Hopper qui est à l'origine de la variation, pour enfin prouver l'existence d'une relation entre ce cycle et le cycle constaté sur les cartes de contrôle.

Conclusion

Durant ce chapitre, nous avons déroulé les trois premières phases de la démarche DMAIC que sont Définir – Mesurer – Analyser. La première phase nous a permis de bien définir le projet en identifiant les clients et leurs besoins et en détaillant le processus concerné par le projet. La deuxième phase nous a permis d'évaluer la performance globale du processus, ainsi que l'impact de la variation sur la perte de matière première. Enfin, lors de la troisième phase, nous avons exploré les différentes causes à l'origine de la variation, afin de déterminer sur quoi nous allons agir par la suite.

Chapitre IV : Propositions d'améliorations

Introduction

Après avoir fait le tour des causes de la variation entourant le processus et après avoir déterminé la cause principale, nous allons à travers ce chapitre dénombrer les différentes pistes et solutions pouvant remédier au problème de la variation du poids. Ce chapitre regroupe donc les deux dernières phases du DMAIC : la phase "Innover/Améliorer" qui contient les différentes solutions et idées d'amélioration - principalement techniques - et la phase "Contrôler" qui présente les recommandations visant à pérenniser ces améliorations à travers des procédures ou des plans d'action à appliquer sur le terrain.

Phase 4 : Innover / Améliorer

Le cycle d'alimentation du Petit Hopper a été désigné comme étant la source principale de la variation. Nous avons vérifié cette hypothèse en prouvant l'existence d'une relation directe entre la quantité de matière dans le Petit Hopper et le poids des sacs à la sortie du procédé.

Ainsi, pour mener à bien ce projet Six Sigma, il faut éliminer cette source de variation dans le processus. Pour ce faire, nous avons fait appel à nos connaissances techniques et nos compétences en innovation afin de générer des idées de solutions.

A cet effet, nous nous sommes entretenus avec l'ensemble du personnel de l'usine, chacun ayant une vision du phénomène, ainsi que des connaissances tacites acquises avec l'expérience et liées au poste occupé par la personne : le responsable de la production avec sa vision globale et sa compréhension des enjeux stratégiques du projet et des différents risques encourus, les chefs de lignes et leur compréhension du processus de production, les opérateurs et leurs connaissances du terrain, l'équipe maintenance et leurs connaissances techniques par rapport au procédé, ainsi que des personnes des autres services pouvant avoir une vision fraîche et des idées nouvelles (responsable HSE, l'équipe qualité et même le chef de l'usine).

Les idées de solutions présentées ici sont donc le résultat de plusieurs séances de créativité avec les différents acteurs cités. Nous allons commencer par les idées les plus évidentes, mais ce sont aussi les plus coûteuses (innovations de rupture). Ce sont généralement des solutions ayant fait leurs preuves et faisant appel à des fournisseurs spécialisés maîtrisant le domaine. Viendrons

ensuite les idées d'amélioration mobilisant moins de ressources et réalisables au niveau de l'entreprise (innovations incrémentales). Nous allons expliquer le principe de chaque solution et comment elle répond au problème posé, ainsi que ses avantages et ses inconvénients.

Changement de la technologie du doseur

Le principe de fonctionnement de l'opération de dosage "dosage volumétrique par une vis sans fin", expliqué dans le Chapitre 3: Analyser – L'opération de remplissage des sacs, connaît certaines limites, dont le manque de précision et la sensibilité accrue aux perturbations externes. Il existe une autre technologie de dosage dite "dosage gravimétrique (ou pondéral)" qui permet de dépasser ces limites, en offrant une meilleure précision de dosage. Cette technologie peut être implémentée de plusieurs façons, toutes basées sur la mesure du poids. Celle qui nous intéresse le plus dans notre cas est le principe "Loss in weight" ou "à perte de poids".

Un système "loss in weight" utilise le même principe que le "dosage volumétrique par une vis sans fin". Il dispose d'un Hopper de dosage alimenté par une vis d'alimentation et le remplissage des sacs se fait à l'aide d'une vis sans fin. Cependant, le système est équipé en plus d'une cellule de capture qui mesure le poids du Hopper à chaque instant. Cette information (le poids du Hopper) est transmise à un micro-processeur qui va s'en servir pour adapter la vitesse de rotation de la vis sans fin. En d'autres termes, pour chaque sac rempli (càd une diminution dans le poids du Hopper) le micro-processeur va compenser cette perte de poids avec une augmentation dans la vitesse de rotation de la vis, afin de garder constante la quantité de poudre dans les sacs produits. Ceci élimine donc la variabilité constatée dans les poids des sacs.

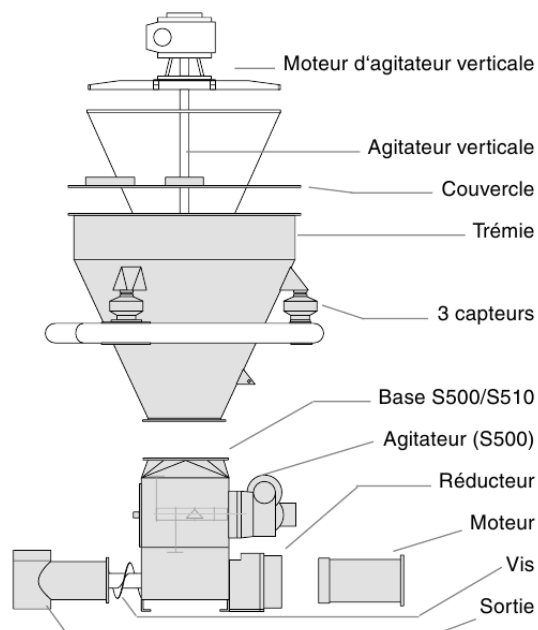


FIGURE 24 : EXEMPLE DE DOSEUR "LOSS IN WEIGHT" SOURCE: SPECIFICATION PRODUIT COPERION K-TRON - DOSEUR MONOVIS PONDERAL PAR PERTE DE POIDS KML-S500-16D

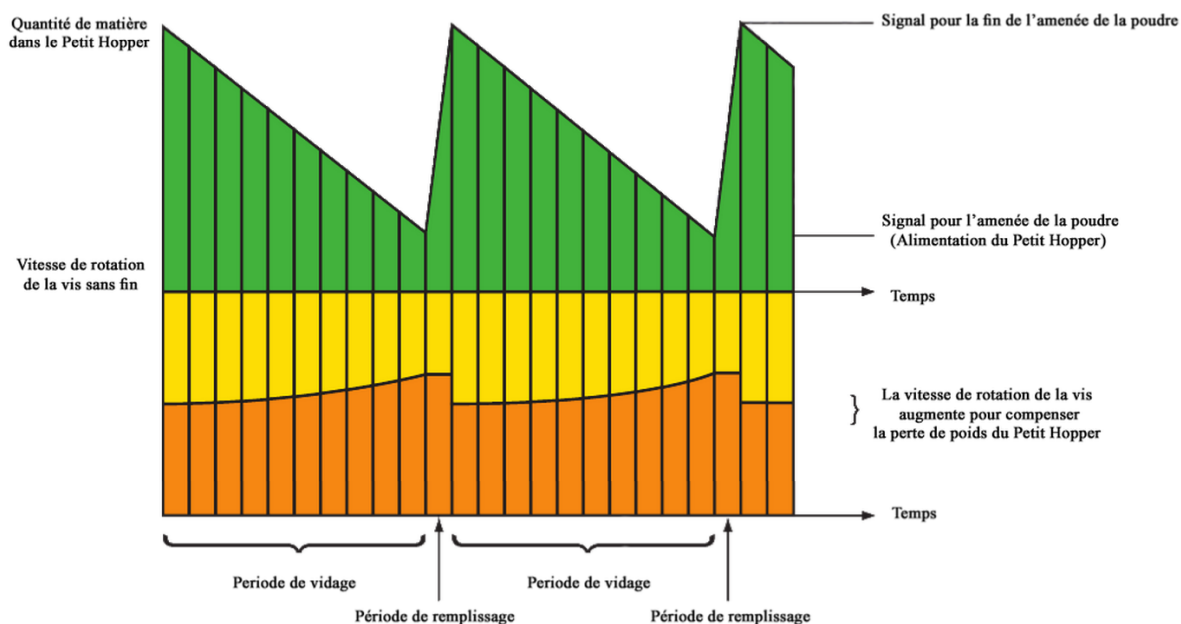


FIGURE 25: SOURCE: SPÉCIFICATION TECHNIQUE "LOSS IN WEIGHT FEEDING" - ROSPEN INDUSTRIES

Avantages :

Même si le coût de cette solution est important, le retour sur investissement est garanti sur le long terme, car elle élimine la cause principale des pertes de matière première. Cette technologie est répandue dans l'industrie où la précision est un critère important à cause des coûts élevés de certaines matières premières comme le cacao, ou un critère libérateur pour le produit final comme dans le cas de l'industrie pharmaceutique. Les systèmes de dosage pondéral à perte de poids constituent donc une référence pour leur précision et répondent parfaitement à notre problématique, en éliminant la variabilité du processus qui est à l'origine des pertes de matière première. De plus, ce type de solutions offre des options de suivi et de traçabilité avancées concernant le procédé.

Inconvénients :

Cependant, cette technologie connaît elle aussi certaines limites : la complexité du système (micro-processeur, électronique et le nombre important de dispositifs/composants) rend la manipulation et la maintenance difficiles. De plus, le coût d'acquisition d'une telle technologie est important. Enfin, la cadence de production est plus petite par rapport au dosage volumétrique (environ 40 sacs/min pour le dosage gravimétrique, contre 65 sacs/min pour le dosage volumétrique)

Changement du Petit Hopper

L'expérience que nous avons menée pour comprendre la cause principale de la variation, qui est la quantité de poudre contenue dans le Petit Hopper, a été expliquée dans le Chapitre III - Analyse. Nous avons obtenu le graphe donnant la relation entre le poids des sacs produits et la quantité de matière dans le Petit Hopper.

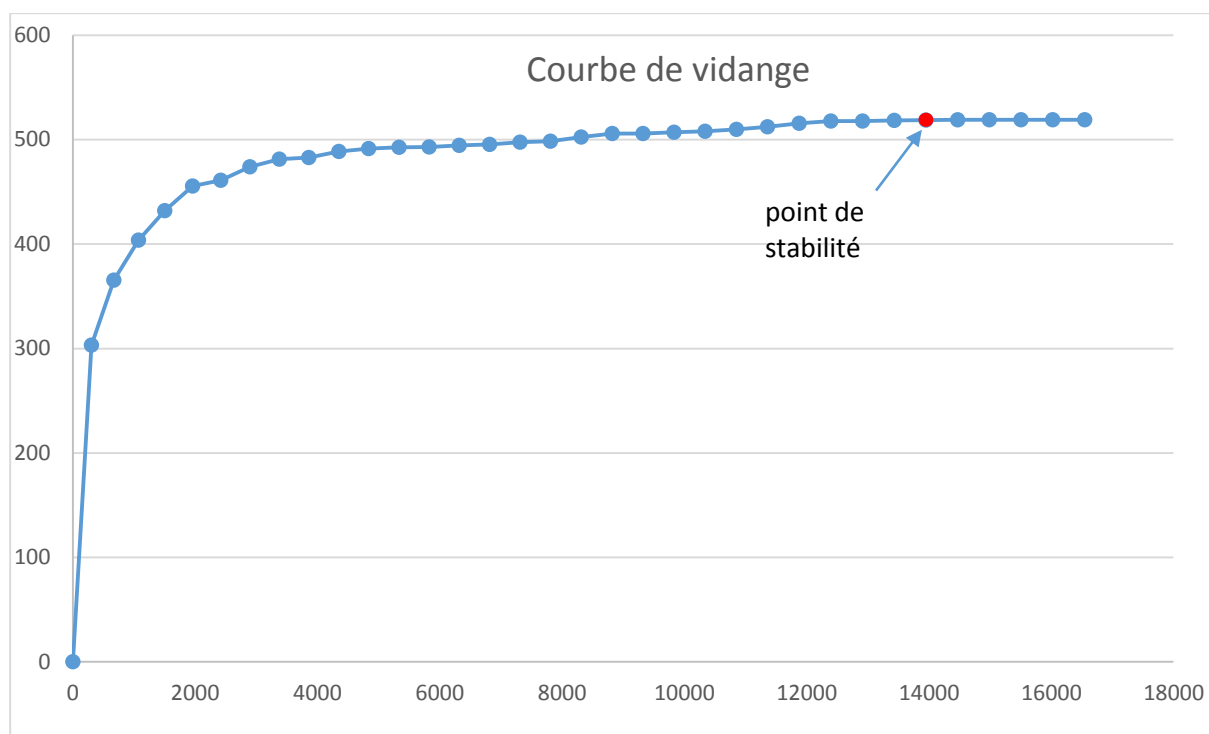


FIGURE 26 : COURBE RELIANT LA CAUSE (QUANTITE DANS LE PETIT HOPPER) A L'EFFET (VARIATION DU POIDS DES SACS) POUR UN VOLUME PLUS GRAND

Ce graphe nous montre clairement que plus la quantité de poudre contenue dans le Petit Hopper est grande, plus la pente de la courbe s'approche de zéro (càd la variation diminue). Nous pouvons supposer que pour une capacité infiniment grande dans le Petit Hopper le poids des sacs à la sortie est constant, car la variation relative de la quantité de poudre dans le Petit Hopper, ainsi que son impact, deviennent négligeables.

Avantages :

En gardant le même principe de fonctionnement et en changeant un seul paramètre qui est la capacité du Petit Hopper, cette solution ne nécessite aucun temps d'adaptation pour les opérateurs et l'équipe de maintenance. En plus de la simplicité, il n'y a aucun impact sur la cadence, ni la nécessité d'acquiescer d'autres composants et dispositifs.

Inconvénients :

Le coût de cette solution reste assez important, et l'entreprise doit faire appel à un fournisseur spécialisé pouvant concevoir un Hopper selon les spécificités requises.

Introduction d'un vibreur

D'après la fiche technique du doseur utilisé actuellement, le fournisseur propose en option la mise en place d'un vibreur au niveau du doseur. Le vibreur a pour but d'améliorer la coulabilité⁸ de la poudre et facilite son écoulement, ce qui a pour effet de stabiliser le poids des sacs à la sortie du procédé quand la quantité de matière dans le Petit Hopper est minimale. Ainsi, en réglant le vibreur de sorte à ce qu'il émette des vibrations lors de la période de vidage (quand la quantité de matière diminue) ce dernier doit compenser la perte de poids en faisant écouler plus de poudre.

Avantages :

Le fait que ça soit une option proposée par le fournisseur implique des coûts intéressants et la possibilité d'adapter les produits selon les besoins de l'entreprise. De plus, la mise en place de la solution prend un temps minimal.

Inconvénients :

Le matériau utilisé pour la fabrication du doseur risque de se fissurer sous l'effet de vibrations répétées. En effet, un dispositif semblable a été installé sur le Grand Hopper et ce problème est apparu. De plus, cette solution reste approximative et il n'y a aucun moyen de vérifier son impact sur la variation de manière exacte.

Garder un niveau constant à l'intérieur du Petit Hopper :

La variation du poids étant due à la variation de la quantité de matière première dans le Petit Hopper, nous pouvons stabiliser le processus en éliminant cette dernière et en assurant un niveau de matière constant. Pour ce faire, on doit réguler les débits de matière de notre système. En effet, le Petit Hopper contient une entrée (vis d'alimentation) pour l'amenée de la poudre et une sortie (vis sans fin) pour le dosage des sacs. Actuellement, la vis d'alimentation fonctionne d'une manière périodique : 25 secondes de marche (remplissage) et 10 secondes d'arrêt (vidage). Tandis que la vis de dosage fonctionne de manière continue, avec un débit de 32.5kg/minute (pour une cadence de 65 sac/min)

⁸ La coulabilité d'une poudre est son aptitude à s'écouler librement de manière régulière et constante sous forme de particules individuelles (Khashayer & Guigon, 2009)

En paramétrant le moteur de la vis d'alimentation de telle sorte à ce que le débit entrant instantané soit égal au débit sortant instantané, nous assurons un niveau constant à l'intérieur du Petit Hopper et donc un poids constant pour les sacs à la sortie du procédé. Le principe est de modifier le programme de l'automate de la machine, et faire en sorte que la vis d'alimentation tourne en continu, et à une vitesse assurant un débit égal au débit de sortie (32.5kg/min pour le cas usuel).

Avantages :

Une solution facile à implémenter et basée sur un concept simple. De plus, un moteur consomme beaucoup d'électricité lors du démarrage, il consommera donc moins d'énergie si il fonctionne en continu. Ceci permet aussi d'augmenter la durée de vie du moteur, avec moins de cycles démarrages/arrêt et fonctionnant.

Inconvénients

Cette solution nécessite la mise en place de composants spécifiques pour être réalisée : un débitmètre pour mesurer le débit et un régulateur de vitesse pour pouvoir adapter la vitesse du moteur à la valeur désirée. De plus, il faut faire appel à un prestataire spécialisé, car l'entreprise ne possède pas un automaticien. Il faut aussi installer une sonde de niveau afin de s'assurer que la quantité de matière dans le Petit Hopper reste sous contrôle, car un léger écart entre l'entrée et la sortie peut avoir un impact important sur le long terme.

Activer l'option de feedback du CW

Parmi les options du CW, il existe une fonction de "feedback", qui envoie un signal à la machine de conditionnement si le poids des paquets sort de l'intervalle acceptable [485;515] désigné par la loi. L'idée est de changer l'option en réduisant la longueur de l'intervalle de contrôle. Ainsi, le CW enverra plus de signaux, l'étendue des valeurs va diminuer, la variance du processus va aussi diminuer et on gagnera en capabilité et en stabilité.

Cette solution n'agit pas directement sur la cause de la variation mais plutôt sur son effet, c'est donc une amélioration corrective (ou encore curative). Elle peut être mise en place avec d'autres solutions afin d'offrir une meilleure robustesse au système, en intégrant le feedback du moyen de contrôle (le CW) dans l'opération de dosage.

Avantages :

Cette option étant déjà incluse dans le CW, elle ne coûte rien à l'entreprise et il suffit de l'activer pour pouvoir en profiter. Puisqu'elle agit sur la variation du poids et non sur sa cause, elle permet de corriger les anomalies et les effets qui affectent le poids même si ces derniers ne sont pas causés par la variation du niveau à l'intérieur du Petit Hopper. Elle permet aussi de réduire la nécessité d'intervention des opérateurs en automatisant l'opération de contrôle et de régulation du poids des sacs.

Inconvénients :

Ce type de configuration se base sur un signal de retour (le feedback), le facteur du temps est particulièrement important dans ce genre de système : d'un côté, le temps de réponse, qui est le temps écoulé entre la production d'un sac et l'instant où il est pesé, ne doit pas être très long parce-que le système doit être réactif. D'un autre côté, une variation instantanée, due à une cause spéciale et qui ne dure pas dans le temps peut avoir un effet indésirable, car le CW envoie un signal pour le doseur, alors que la cause n'est plus. Ceci peut causer un dérèglement et donc augmenter la variation pour un court moment.

Plan d'action d'amélioration

Après avoir fait le tour des idées de solutions pouvant éliminer la variation du poids des sacs, nous allons détailler l'ensemble des actions à réaliser pour résoudre la problématique posée, qui est la perte de matière première.

Étalonnage du Checkweigher:

Le CW étant le moyen de contrôle principal utilisé pour la vérification de la conformité des sacs et le réglage du procédé, il doit assurer pleinement sa fonction. Les tests de capacité des moyens de contrôle menés pendant la phase de mesure (Chapitre 3: Mesurer – Capacité des moyens de mesure) montrent que les données fournies par les CW des deux lignes, particulièrement celui de la ligne A, peuvent être biaisées. Ceci induit les opérateurs en erreur pendant le réglage de la machine, en plus de fausser les informations archivées servant au reporting et à la traçabilité.

Actuellement, l'étalonnage du CW a lieu une fois par an. Un technicien (envoyé par le fournisseur) vient pour effectuer les tests et les réglages nécessaires au bon fonctionnement de l'équipement. Nous avons mené les tests mentionnés précédemment au mois d'Avril et la venue du technicien est programmée pour le mois de Juin. Étant donné que les résultats des tests n'étaient pas satisfaisants, le technicien doit intervenir afin de corriger le problème.

Réglage du feedback du CW

Le feedback, qui est l'option de retour disponible dans le CW, est sous exploitée actuellement. Cette dernière vérifie si la moyenne des poids des trois derniers sacs pesés se trouve dans l'intervalle de tolérance spécifié [485 ; 515] . Si cette condition n'est pas vérifiée, le CW envoie un signal à la machine qui effectue le dosage, afin de réajuster la vitesse de la vis de manière à se retrouver dans l'intervalle : augmenter la vitesse si la moyenne est inférieure à 485, diminuer la vitesse elle est supérieure à 515.

Pour un meilleur contrôle et un meilleur pilotage du processus de dosage et moins de variabilité dans les poids des sacs, nous pouvons modifier les paramètres de cette fonction de sorte à réduire l'intervalle des valeurs tolérées. En effet, cette option ne doit pas obligatoirement être réglée selon l'intervalle de tolérance. En réduisant l'intervalle de contrôle du CW, nous allons tout d'abord réduire la probabilité d'avoir des sacs non conformes. En reconnaissant les tendances assez tôt, le CW va automatiquement réagir en réglant la vitesse de la vis, le processus reste donc sous contrôle. Nous allons aussi réduire la variabilité et donc gagner en capacité : l'écart type ainsi que l'étendue des valeurs seront réduits.

Les nouvelles limites à mettre en place proviennent des limites de contrôle retrouvées dans les cartes de contrôle : la limite d'alerte, qui correspond à 2 Sigma du processus, nous semble être adéquate pour définir ces nouvelles valeurs. L'intervalle devient donc, une fois les valeurs arrondies : [492.5 ; 507.5]

Enfin, pour augmenter l'efficacité de cette solution, il est préférable de rapprocher le CW de la sortie de la machine pour avoir un temps de réponse plus court.

Implémenter la solution

Pour pallier au problème de la variation du poids des sacs, nous voulons à travers cette solution éliminer la cause principale de cette variation, qui est la variation de la quantité de poudre dans le Petit Hopper. Nous allons maintenant détailler le concept de cette solution.

Notre système est composé d'un Hopper qui contient de la poudre de lait prête à être conditionnée. Cet Hopper est alimenté par une grande vis (entrée) et il remplit les sacs par le biais d'une petite vis (sortie). Ces vis, appelées vis sans fin ou vis d'Archimède, permettent le transport de matière avec une grande précision. Le principe de notre solution est le suivant :

Nous voulons garder la quantité de matière dans le Petit Hopper constante. Pour ce faire, nous devons réajuster la vitesse de rotation de la grande vis, afin que le débit instantané entrant soit égal au débit instantané sortant.

Il existe une relation théorique entre le débit de matière transportée et la vitesse de rotation de la vis sans fin utilisée. Cette relation met en jeu les dimensions de la vis utilisée ainsi que les caractéristiques de la matière à transporter. Le débit volumique est donné par l'équation suivante :

$$Q = 1000\varphi S \frac{\pi D^2}{4} p N$$

Q : Le débit volumique (litres/min)

S : Rapport de la section utile (diamètre de la spire/diamètre de l'axe)

φ : Coefficient de remplissage de l'auge (selon le produit et l'inclinaison de la vis)

D : Diamètre nominal de la spire (m)

p : Pas de la spire, qui est la distance entre deux filets (m)

N : Vitesse de rotation (tours/minute)

Le débit de matière à la sortie du Petit Hopper (au niveau du tube doseur) est de 32.5kg/min pour une cadence de 65sacs/min. Nous utilisons la masse volumique de la poudre de lait pour transformer le débit volumique d'alimentation donné précédemment en débit massique.

Pour déterminer la cause de la variation, nous avons effectué des expériences avec l'équipe qualité pour calculer le poids spécifique de la poudre de lait. Ce dernier est d'environ 0.45kg/l à la réception (matière première) et de 0.5kg/l à la sortie du procédé (produit fini). C'est la deuxième valeur qui nous intéresse, car ce sont les opérations de transport pneumatique et de tamisage qui affectent la densité de la poudre dans le procédé et toute les deux ont lieu bien avant l'arrivée de la matière au Petit Hopper.

La relation pour le débit massique (kg/min) devient donc :

$$Q = 500\varphi S \frac{\pi D^2}{4} pN$$

Il suffit alors de régler la vitesse de rotation du moteur entraînant la vis d'alimentation pour obtenir le débit souhaité. Cependant, pour une meilleure maîtrise du procédé et pour des raisons de sécurité, de fiabilité et de robustesse, les initiés du domaines recommandent l'installation de dispositifs de contrôle et de capteurs permettant de vérifier le bon fonctionnement du système: un débitmètre pour avoir le débit en temps réel ou encore une sonde de niveau permettant de s'assurer que la quantité de matière dans le Petit Hopper reste sous contrôle. En effet, un léger écart entre les flux peut avoir des résultats indésirables (Petit Hopper vide ou bourré) sur une longue période de fonctionnement. (Saudmont, 2002)

Phase 5 : Contrôler

La dernière phase du DMAIC regroupe les différentes recommandations et procédures permettant de pérenniser la solution et de suivre son évolution. Ces procédures visent aussi à éviter la reproduction du problème traité et donnent aux différents acteurs (opérateurs en premier lieu, mais aussi au management) une meilleure visibilité sur le processus, ainsi que des outils correctifs en cas de signes de problèmes.

Rappel du plan d'action à réaliser

TABLEAU 11: PLAN D'ACTION (RESUME)

Action	Responsable	Indicateur de réalisation	Objectif
Étalonner le CW	Service qualité Technicien (externe)	Test d'exactitude hebdomadaire	Biais de 0.2 g max
Activer le feedback du CW	Maintenance	L'écart-type et l'étendue	Ecart-type < 3 Etendue < 20
Stabiliser le niveau dans le Petit Hopper	Maintenance Automaticien (externe)	Capabilité à long terme	Cp, Cpk > 1.5

Procédures et instructions à mettre en place

En plus des améliorations à caractère technique visant à réduire la variabilité, nous recommandons la mise en place des procédures suivantes pour mieux piloter le processus.

Carte de contrôle

Le CW dispose de plusieurs vues. L'une d'entre elles fournit la carte de contrôle (valeurs individuelles ou moyennes). Pour être exploitée au maximum, une carte de contrôle doit non seulement être utilisée pour le contrôle du procédé en temps réel, mais aussi pour évaluer sa performance à long terme. De ce fait, les historiques des cartes de contrôle doivent être consultés régulièrement par le management afin de suivre l'évolution du processus.

De plus, tout comme l'option du feedback, les limites d'alerte et de contrôle figurant sur la carte de contrôle doivent être différentes des limites de spécification du produit (+ ou - 15g). Ces limites dépendent de la performance du processus suivi (voix du processus) et non des objectifs ou de l'intervalle de tolérance (voix du client). Les cartes de contrôle doivent être alors mises à jour de manière régulière de façon à refléter le comportement du processus et permettre une lecture claire des différents symptômes ou anomalies potentielles. La littérature recommande généralement une limite d'alerte de 2σ et des limites de contrôle de 3σ . Les règles de Westgarde pour la lecture des cartes de contrôle sont clairement expliquées par la documentation interne de Nestlé et il est fortement recommandé de familiariser le personnel avec ces règles afin qu'il puisse interpréter les cartes de contrôle et agir en conséquence.

Le σ correspond à l'écart type décrivant la variation du processus. Ce dernier doit être calculé régulièrement pour mettre à jour les cartes de contrôle et permettre un meilleur suivi de la performance du processus en général.

Des formations destinées aux personnes concernées visant à les initier aux notions statistiques et à la maîtrise statistique des procédés sont nécessaires pour que cette procédure aboutisse à des résultats probants.

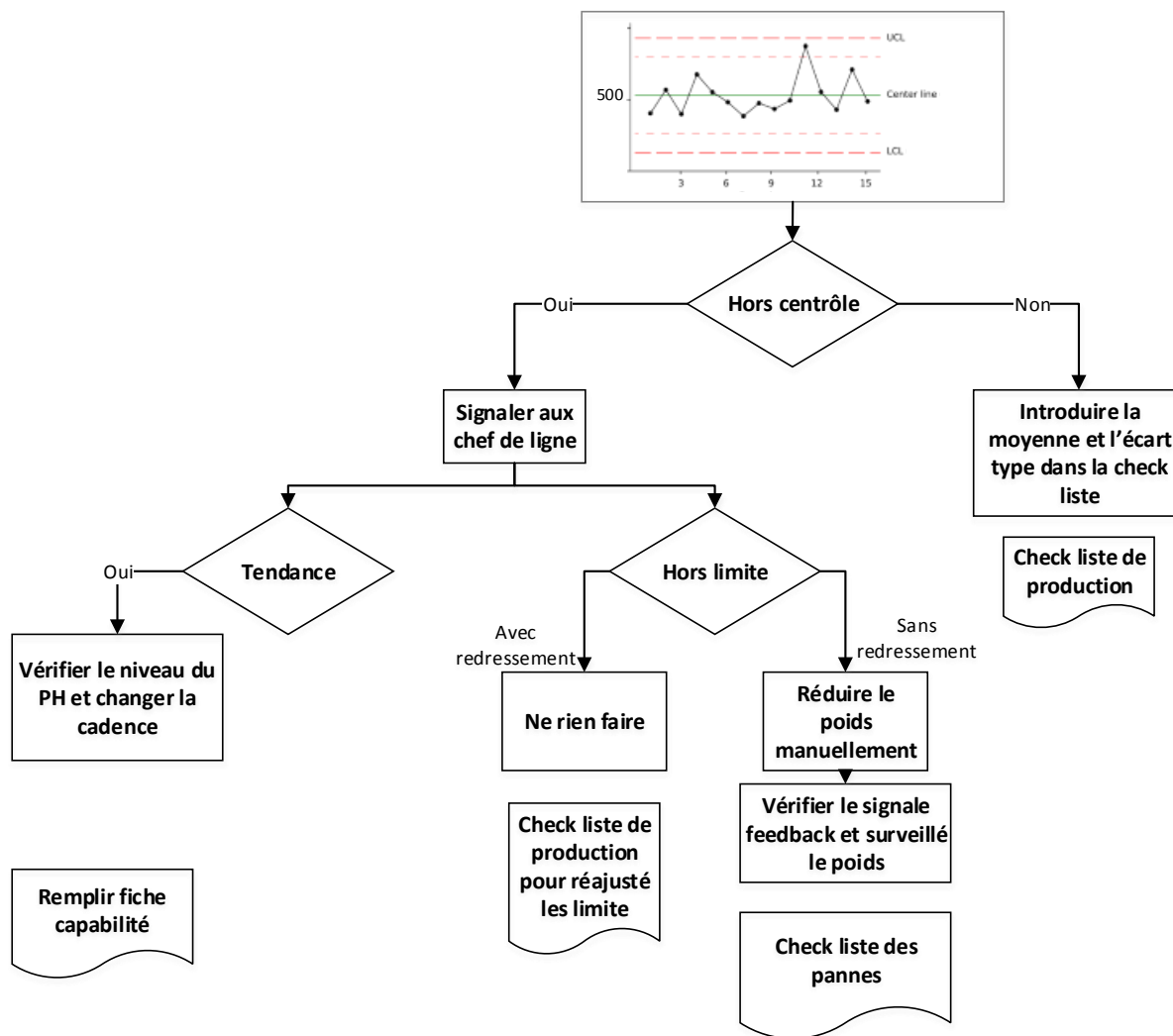


FIGURE 27 : LOGIGRAMME DES ACTIONS CORRECTIVES

Gestion de la tare

La tare représente le poids des sacs utilisés lors du conditionnement. Pour une meilleure maîtrise du poids net, il est donc primordial de gérer cette tare à travers une procédure claire et pertinente. Celle-ci devra permettre la détermination du poids des emballages, mais aussi un contrôle et un suivi régulier de ce dernier.

Le matériau utilisé pour l'emballage est un complexe qui se présente sous la forme d'un film à triple couches. L'entreprise s'approvisionne principalement chez deux fournisseurs: les produits ne sont donc pas tout à fait identiques. C'est pourquoi il faut suivre méticuleusement

les caractéristiques du produit de chaque fournisseur et noter avec soin quel emballage a été utilisé lors de chaque production.

Actuellement, la tare est calculée de la manière suivante: avant chaque production, l'opérateur lance la machine sans activer le doseur pour obtenir 9 sacs vides. Ces sacs seront compressés manuellement pour chasser l'air, puis pesés simultanément. En divisant le poids affiché par 9, l'opérateur obtient le poids moyen d'un sac vide, ce qui représente la tare pour cette journée de production.

Cette procédure figure dans la documentation interne de Nestlé (GI: Net content management). Cependant, elle ne concerne que l'opération quotidienne. La partie "contrôle et suivi" qui figure dans le document n'est pas mise en place. Cette partie-là propose de procéder de la manière suivante: 29 sacs vides compressés doivent être pesés individuellement. La moyenne et l'écart type de l'échantillon doivent être calculés et affichés au niveau de l'unité de production. En effectuant l'opération de calcul de la tare quotidienne expliquée précédemment (la méthode des 9 sacs) la moyenne obtenue doit être comparée à la moyenne affichée. Si elles ne sont pas identiques et l'écart entre les deux valeurs est plus important que l'écart type affiché, l'opérateur doit le signaler et utiliser la tare calculée obtenue par la méthode des 9 sacs pour cette production. Si l'écart entre les deux moyennes est moins important que l'écart type affiché, l'opérateur doit utiliser la moyenne affichée.

Checklist et reporting

Pour un meilleur suivi du processus et une meilleure visibilité, il est intéressant de mettre en place des checklist et des tableaux de bords spécifiques à cette problématique, qui est la perte de matière première. Actuellement, l'opérateur est tenu de noter le poids affiché par le CW et le poids affiché sur la balance statique chaque 30 minutes. Cette opération sert à la fois à vérifier le bon fonctionnement du CW mais aussi comme moyen de suivi pour le poids des sacs.

Cependant, il est utile de suivre non seulement le poids individuel des sacs, mais aussi l'évolution d'autres indicateurs pouvant exprimer la performance du processus: la moyenne et l'écart type de la production affichés par le CW, la valeur minimale et la valeur maximale

avoisinant le sac pesé, ainsi que toute remarque ou anomalie constatée par l'opérateur pendant la demi-heure et ayant un rapport avec la problématique.

En plus de ça, il faut remplir régulièrement les fiches de pertes de matière première. Celles-ci ont pour but de quantifier les pertes dues à chaque cause durant la journée. Cette fiche existe actuellement, mais nous avons remarqué un manque de rigueur de la part du personnel. Il faudrait alors sensibiliser ce dernier pour qu'il prenne conscience de la problématique de pertes de matière première.

Enfin, pour que cette information remonte à la direction et soit exploitable, nous proposons la mise en place d'un tableau de bord dédié spécialement aux indicateurs de pertes de matière première. Ce dernier doit afficher les différentes sources ainsi que leurs pertes associées, le pourcentage de variance (écart entre MP et PF), en plus d'afficher le cumul des pertes tout au long de l'année. Il serait intéressant aussi d'inclure l'écart-type et le CP du processus car ce dernier donne une bonne indication de la performance du processus.

Conclusion

Ce dernier chapitre regroupe les différentes solutions, d'ordre technique ou organisationnel, permettant de résoudre la problématique. A travers la 4^{ème} phase – Innover/Améliorer, nous avons exploré les différentes solutions disponibles, pouvant répondre au problème posé. Nous avons explicité les avantages et les inconvénients de chacune d'entre elles et nous avons aboutis à un plan d'action. La 5^{ème} phase – Contrôler contient des propositions d'amélioration d'ordre organisationnel, visant à donner au management une meilleure visibilité sur les pertes de matière première de manière générale et sur le processus de conditionnement de manière particulière.

Conclusion générale

Notre mission tout au long de ce projet de fin d'études consistait à répondre à la problématique de perte de matière première au sein de l'usine Nestlé industrie Algérie. Pour réaliser ce travail nous avons commencé par faire une étude de l'existant centrée sur l'unité Dairy qui représente l'activité principale de l'usine. Durant cette étape nous avons identifié les différents problèmes organisationnels et techniques de cette unité, puis nous nous sommes focalisés sur la problématique posée en identifiant les différentes sources de perte de matière première et en évaluant la contribution de chacune.

Nous avons ensuite fait une étude du domaine couvrant les concepts de la méthodologie Six Sigma et les différents outils et méthodes que nous avons utilisées pour mener à bien notre travail.

Nous avons par la suite déroulé la méthodologie Six Sigma qui est structurée selon les 5 phases du DMAIC : Définir, Mesurer, Analyser, Innover/Améliorer et Contrôler. Dans la phase « Définir » nous avons défini le projet en identifiant les clients et leurs besoins et en détaillant le processus concerné par le projet. Dans la phase « Mesurer » nous avons évalué la performance globale du processus, ainsi que l'impact de la variation sur la perte de matière première. Dans la phase « Analyser » nous avons exploré les différentes causes à l'origine de la variation pour pouvoir cadrer notre champs d'intervention. A travers la 4ème phase –« Innover/Améliorer » nous avons exploré les différentes solutions disponibles, pouvant répondre au problème posé. Nous avons explicité les avantages et les inconvénients de chacune d'entre elles et nous avons abouti à un plan d'action. Enfin lors de la 5ème phase « Contrôler » nous avons proposé des améliorations d'ordre organisationnel, visant à donner au management une meilleure visibilité sur les pertes de matière première de manière générale et sur le processus de conditionnement de manière particulière.

Notre projet de fin d'études a été extrêmement enrichissant à plusieurs niveaux. Il nous a permis de nous améliorer en matière de gestion de projet, en processus industriels et en gestion de la production. Nous avons pu durant cette année gagner en expérience professionnelle et monté en compétences pour ainsi conclure notre formation d'ingénieur d'état en Génie Industriel.

Bibliographie

- Bass, I., 2007. *Six Sigma Statistics with Excel and Minitab*. New York: McGraw-Hill.
- Brue, G., 2005. *Six Sigma for Managers*. New York: McGraw-Hill.
- Brue, G., 2006. *Six sigma for small business*. New York: EP Entrepreneur Press.
- Brussee, W., 2004. *Statistic for Six Sigma Made Easy*. s.l.:McGaw-Hill.
- Bureau International des Poids et Mesures, 2012. *Vocabulaire international de métrologie*. 3ème ed. s.l.:s.n.
- Chrysler Group LLC; Ford Motor Company; General Motors Corporation, n.d. *Measurement System Analysis Reference Manual (4th edition)*. s.l.:s.n.
- Clark, W., 1923. *The gantt charter a working tool of management*. New yourk: the ronald press company .
- Cogard, P., 2006. Machine d'emballage - Produit secs et petits objet. *techniques de l'ingénieur*, 10 04, Issue ag 6601, p. 3.
- Eckes, G., 2001. *The Six Sigma Revolution*. New York: John Wiley & sons, Inc.
- Eckes, G., 2003. *Six Sigma for Everyone*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Fléchet, C., 2005. *Mettre en oeuvre le Six Sigma*. paris: Editiond'organisation.
- Gantt.com, 2012. *Création d'un diagramme de Gantt*. [Online]
Available at: <http://www.gantt.com/fr/creation.htm>
- Goldsby, T. & Martichenko, R., 2005. *Lean Six Sigma logistics: Strategic development to operational success*. s.l.:J. Ross Publishing.
- GoLeanSixSigma, 2015. *Lean Six Sigma Certification & Training*. [Online]
Available at: <https://goleansixsigma.com/>
- Gratacap, A. & Médan, P., 2009. *Management de la production*. 3e ed. paris: Dunod.
- Homann, C., 2009. *Technique de productivité*. Paris: Eyrolles.

- iSixSigma, 2015. *Six Sigma Ressources For Six Sigma Quality*. [Online] Available at: <http://www.isixsigma.com/>
- Khashayer, S. & Guigon, P., 2009. Caractérisation et analyse des poudres - Propriétés comportementales des solides divisés - Coulabilité des poudres. *technique de l'ingénieur*.
- McCarty, T., Bremer, M., Daniels, L. & Gupta, P., 2004. *The Six Sigma black belt handbook*. s.l.:s.n.
- Montgomery, D. C., 2009. *Introduction to Statistical Quality Control Sixth Edition*. s.l.:John Wiley & Sons, Inc.
- Nestlé, 2015. *Rapport annuel 2014*, s.l.: Nestlé.
- Pande, P. S., Neuman, R. P. & Cavanagh, R. R., 2000. *The Six Sigma Way*. s.l.:McGraw-Hill.
- Pillet, M., 2004. *Six Sigma comment l'appliquer*. Paris: Edition d'Organisation .
- Pillet, M., 2005. *Appliquer la maîtrise statistique des processus*. s.l.:Editions d'organisation.
- Pillet, M. & Duret, D., 2005. *Qualité en production : De l'ISO 9000 à Six Sigma*. s.l.:Editions d'organisation.
- Project Management Institute, 2008. *Project Management Book of Knowledge*. 4th ed. s.l.:s.n.
- Pyzdek, T., 2003. *The Six Sigma Handbook*. s.l.:McGraw-Hill.
- Robertson, G., 1993. *Quality Through Statistical Thinking*. s.l.:s.n.
- Saudmont, C., 2002. Manutention mécanique continue de produits en vrac. *Techniques de l'ingénieur Palettiseurs et manutention continue*, 10 07.Issue ref. article : ag7511.
- Stamatis, D. H., 2003. *Six Sigma Fundamentals: A Complete Guide to the System, Methods, and Tools*. New York: Productivity Press.
- Volck, N., 2009. *Déployer et éprouver Lean Six Sigma*. Paris: Eyrolles.
- Wilson, J. M., 2003. Gantt charts: A centenary appreciation. *European Journal of Operational Research*, Issue 149, pp. 430-437.

Zajkowska, L. E., 2012. *Contribution à l'implantation de la méthode Lean Six Sigma dans les Petites et Moyennes Entreprises pour l'amélioration des processus*, Lille: Ecole Centrale De Lille.

Documentation Nestlé

General Instructions 131: Statistical Process Control

General Instructions 51: Net Content Management

Checklist: Net Content Management

Spécifications techniques: Checkweigher Mettler Toledo XS3

Spécifications techniques: Doseur volumétrique à vis SD-80 Servo WOLF

Annexe

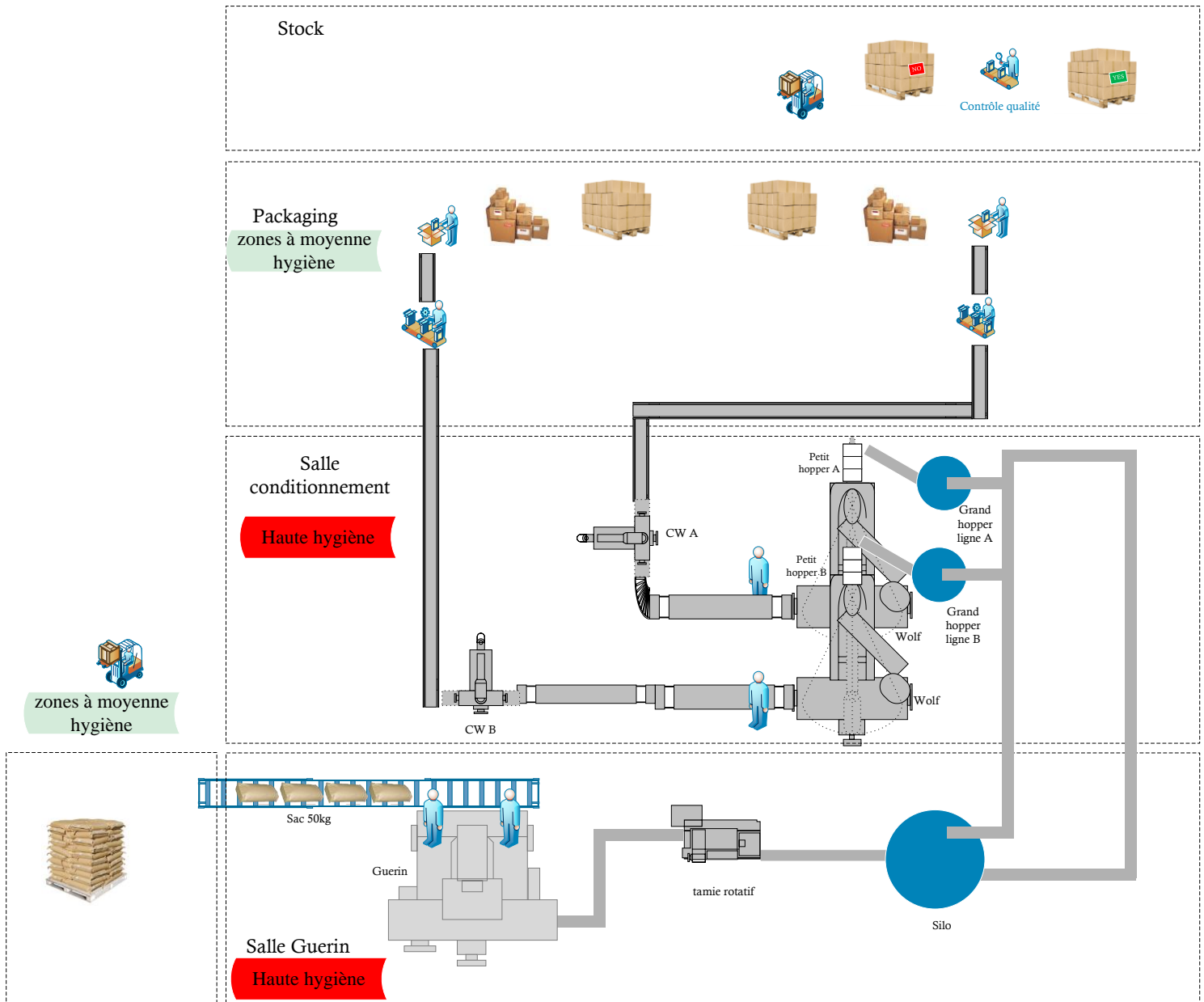
Annexe

Liste des annexes

Chapitre 1 : Présentation de l'entreprise	93
Annexe 1.1 : Schéma de la ligne de conditionnement « Dairy ».....	93
Chapitre 2 : État de l'art	94
Chapitre 3 : Déroulement de « Six Sigma »Teste de justesse.....	94
Annexe 3.1 : Donnée du teste de justesse.....	94
Annexe 3.2 : Données du teste de 25 essais :	95
Annexe 3.3 : Données de la ligne A	96
Annexe 3.4 : Données de la ligne B	97
Annexe 3.5 : Les données de la carte de contrôle	98
Annexe 3.6 : Donnée reliant la cause (quantité dans le Petit Hopper) à l'effet (variation du poids des sacs).....	99
Chapitre 4 : Contribution.....	100
Annexe 4.1 : Algorithme du remplissage du Petit Hopper	100
Annexe 4.2 : Algorithme pour remplir les deux grands Hopper A et B	100

Chapitre 1 : Présentation de l'entreprise

Annexe 1.1 : Schéma de la ligne de conditionnement « Dairy »



Chapitre 2 : État de l'art

Chapitre 3 : Déroulement de « Six Sigma » Test de justesse

Annexe 3.1 : Donnée du teste de justesse

Teste de justesse 24/03/2015 ligne A	CW valeurs	BS valeur	différence
	494.0	495.0	1.0
	493.4	494.6	1.2
	494.0	495.1	1.1
	494.0	495.5	1.5
	496.0	497.1	1.1
	495.0	495.9	0.9
	497.0	498.1	1.1
	495.0	495.9	0.9
	494.0	495.5	1.5
	499.4	500.7	1.3
	503.2	504.3	1.1
	503.4	504.5	1.1
	501.2	502.7	1.5
	501.4	502.3	0.9
	503.2	504.9	1.7
	502.2	503.3	1.1
	500.4	501.4	1.0
	501.0	502.2	1.2
	509.6	510.5	0.9
	508.2	509.4	1.2
	508.4	509.2	0.8
	504.8	505.8	1.0
	506.0	507.0	1.0
Moyenne			1.13478261
Ecart type			0.23082598

Annexe 3.2 : Données du teste de 25 essais :

25 essais 20/04/2015	A	Ecart	B	Ecart
Poids réel =	504.6		502.0	
	503.8	0.8	501.0	1.0
	504.0	0.6	501.2	0.8
	504.0	0.6	501.0	1.0
	504.2	0.4	501.4	0.6
	504.2	0.4	501.4	0.6
	503.8	0.8	501.2	0.8
	503.8	0.8	501.0	1.0
	504.0	0.6	501.4	0.6
	504.0	0.6	501.2	0.8
	504.0	0.6	501.4	0.6
	503.8	0.8	501.0	1.0
	503.8	0.8	501.2	0.8
	503.8	0.8	501.2	0.8
	503.8	0.8	501.2	0.8
	504.0	0.6	501.6	0.4
	504.0	0.6	501.6	0.4
	504.4	0.2	501.4	0.6
	504.0	0.6	501.8	0.2
	504.0	0.6	501.6	0.4
	503.8	0.8	501.6	0.4
	504.0	0.6	501.6	0.4
	504.2	0.4	502.0	0.0
	504.2	0.4	501.6	0.4
	503.8	0.8	501.6	0.4
	503.8	0.8	501.4	0.6
Moyenne	503.968	0.632	501.384	0.616
Ecart type	0.17009801		0.2640707	

Annexe 3.3 : Données de la ligne A

jour

17/03/2015	18/03/2015	22/03/2015	23/03/2015	24/03/2015	19/04/2015	20/04/2015	21/04/2015	22/04/2015	26/04/2015
------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------

499.9	503.3	506.5	501.8	499.7	496.9	497.3	500.9	503.3	499.6
502.8	505.2	501.6	502.5	499.1	499.3	503.7	501.9	497.5	504.2
504.3	508.4	500.7	502.8	503.7	495.6	500.9	506.2	503.3	497.2
506.5	501	499.7	504.6	500.6	498.5	500.8	500.5	498.3	501
502.9	504.4	498.2	507.1	494	494.2	499.8	505	500.5	494.8
501.8	499.4	502.2	503.6	495.2	503.3	501.9	501.6	501	496.4
504.6	507.7	505.5	503.9	496.3	502.3	502.4	505.4	503.2	496.6
501.6	505.2	505.9	503.9	502	501.1	504.2	500.8	501.7	499.1
504.8	499.4	503.2	493.3	497	501.5	510.8	503.4	505.8	497.3
503.3	500	498.4	512.6	501	502.2	502.2	505.8	498.3	502.8
506.4	502	501.5	499.5	507.9	494.3	500.1	501.3	501.9	500.8
501.7	501.6	504.8	503.8	509.2	501.5	505.2	502.4	504.4	499.4
503.2	498.1	501.1	504	505.4	501.9	502.1	503.8	507.9	501.1
496.4	498.9	507.8	501.7	498.6	501.3	497.5	497	503.2	496.5
500	503.6	501.7	500.6	497.9	497.8	496.4	496.7	499.1	500.7
501.3	499.6	502.5	500.8	495.5	502.6	502	499.4	506.2	498.4
501.5	503.3	497.8	502.3	502.8	502.6	494.5	495.3	497.5	495.7
501.4	503.8	501.3	500.5	499.8	494.3	498.4	503.2	502.9	499.2
501.3	503.9	503.3	506.3	504.4	497.2	496.6	505.2	507.3	502.5
502	504.2	503	502.7	500.6	499.6	497.6	499	498.9	496.3
497.9	499.4	504.8	502.5	502.4	498.3	493.1	497.5	506.5	502.4
501.3	503.6	504.7	504.2	503.4	499.7	495.4	500.3	505	497.8
502.1	507.4	499.9	504.5	500.5	495.1	502.4	501.5	503.9	496.5
501.8	504.4	506.9	500.3	501.2	499.4	496.2	497.1	501.1	502.3
503.9	502.8	503	500.6	502.5	501.1	498.8	502.9	503.5	497
501.6	502.5	505.4	498.2	503	506	498.4	505.2	510.9	507.4
504.6	505.7	511.6	499.8	503.5	501.9	504.9	499.2	507.2	499.4
501.8	503.2	495.4	501.1	506.2	499.4	502.8	498.1	505.3	498.3
501.7	496.8	493.1	501.6	504.9	497.8	500.1	502	500	496.7
503.1	501.5	498	502.4	501.1	502.3	495.7	501.1	505	500.8

Opérateur	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Moyenne	502.25	502.676667	502.316667	502.45	501.313333	499.633333	500.073333	501.323333	503.02	499.273333
ecart type	2.14214684	2.8791382	3.85719957	3.21824004	3.66970198	3.01345641	3.80071984	2.98012767	3.38306125	2.88610623
étendue	10.1	11.6	18.5	19.3	15.2	11.8	17.7	10.9	13.4	12.6
CP	2.33410703	1.73663077	1.29627724	1.55364421	1.36250846	1.65922427	1.31554027	1.67778047	1.47795137	1.73243796

Annexe 3.4 : Données de la ligne B

Date	17/03/2015	18/03/2015	22/03/2015	23/03/2015	24/03/2015	19/04/2015	20/04/2015	21/04/2015	22/04/2015	26/04/2015
	504.5	503.9	500.5	500.9	502	498.4	506.4	502.1	496	503.2
	504.3	505.7	497.1	501.3	501.1	498.4	491.6	496.2	497.9	502.9
	499.7	501.1	501.2	498.1	506.5	503.6	501.2	506.3	501.2	500.3
	501.7	507.2	500.3	498	495	498.3	503.5	504.9	501.6	508.4
	495.8	505.5	500.5	499.4	497.7	498.7	500.7	502	500.7	503.2
	496.9	513.6	505.7	500.2	503.7	498.2	498.3	509.4	497.7	503.3
	499.9	502.9	501.7	505.1	498.8	500	502	504.7	500.7	500.1
	505	507.3	501	496.8	502.4	499.2	496	496.7	500.8	493.2
	499.9	507.7	507.2	493	497.9	505.4	504.7	503.9	497.3	498.7
	501.7	505.8	501.7	504.8	503.8	502.4	498.2	501	500.2	494.8
	498.8	497.7	505	501.3	505.6	502.4	506.3	499.3	501.6	497.4
	497.8	497.9	508.2	499.6	498.9	503.1	508.4	497.3	496.9	501.4
	499.2	500.5	504	498.3	504.3	499.9	506.8	504.3	504.8	495.7
	499.5	499.1	497.2	504.2	500.1	497.6	504.9	499	502.1	500.4
	495.1	498.8	499.4	498	502	503.9	505.8	500.6	505.4	500
	495.3	500.4	501.4	502.7	498.9	501.4	500.4	504.7	505.2	501.7
	497.8	504.8	497.2	502.2	498.6	498.2	501.6	506.4	499.2	500.9
	500.3	505.1	498.9	507.4	502.8	495.2	503.7	503.7	501.5	500.6
	492.2	501.7	497.9	506.4	499.5	504.8	492.5	493.5	502.6	497.5
	504.9	498.8	503	507.6	495.9	501.2	502.3	499.9	502.4	502.7
	508.1	503.7	494.3	501	505.1	500	502.9	497.1	504.7	498.7
	502	493.2	495.7	507.1	502.6	501.6	500.4	502.5	499.7	501
	505	492.7	496.8	499.2	497.9	501.2	502.4	505.9	494.3	494.1
	500.7	494.4	501.1	501.6	501.5	500.5	504.5	505.4	496.4	497.4
	503.4	505.6	493.2	502.4	503.7	496.7	501	503.9	497.6	498.1
	500.3	497	495.1	501.3	502.2	499.1	508.6	501.9	506.8	505.3
	497	502.2	502.3	499.5	502	500.9	493.1	507.3	504.4	509.9
	500.7	501.3	495.9	500.7	506.1	495.9	505.2	506.4	504.3	498
	501	506.2	501.2	493.5	496	503.5	496.2	500.6	501.9	504.1
	498.3	497.9	497.1	499.6	500	497.2	499	502.3	498.3	503.6
opérateur	2	2	3	3	3	2	2	2	2	2
Moyenne	500.226667	501.99	500.06	501.04	501.086667	500.23	501.62	502.306667	500.806667	500.553333
ecart type	3.51606494	4.74104237	3.74594954	3.63674732	3.10935555	2.64316294	4.49868946	3.75296971	3.18584513	3.84588749
médiane	500.1	501.95	500.5	500.95	501.75	500	502.15	502.4	501	500.5
étendue	15.9	20.9	15	14.6	11.5	10.2	17	15.9	12.5	16.7
Cp	1.42204427	1.0546204	1.33477506	1.37485494	1.60805026	1.89167301	1.11143479	1.33227827	1.56944227	1.30009004

Annexe 3.5 : Les données de la carte de contrôle

Carte des tendances	
26/04/2015	
A	B
499.6	501.3
502.9	502.3
503.7	504.3
505.2	504.6
506.1	505.5
507.0	503.8
506.1	501.8
503.4	499.1
502.4	498.0
501.0	498.2
501.0	500.1
499.2	501.3
500.2	501.3
501.7	501.8
502.5	502.0
503.8	500.5
504.8	497.8
503.6	496.0
501.3	495.2
500.1	496.2
500.3	497.3
501.1	498.4
503.2	499.8
504.0	500.2
505.5	500.7
504.6	501.1
502.6	500.0
501.7	497.4
500.5	495.0
500.7	494.4

Annexe 3.6 : Donnée reliant la cause (quantité dans le Petit Hopper) à l'effet (variation du poids des sacs)

Qté hopper	Poids des sacs	Poids net	Tare
12598.4	525.8	517.7	8.1
12072.6	523.8	515.7	8.1
11548.8	520.5	512.4	8.1
11028.3	518	509.9	8.1
10510.3	516.2	508.1	8.1
9994.1	515.2	507.1	8.1
9478.9	514	505.9	8.1
8964.9	513.9	505.8	8.1
8451	510.5	502.4	8.1
7940.5	506.5	498.4	8.1
7434	505.6	497.5	8.1
6928.4	503.4	495.3	8.1
6425	502.6	494.5	8.1
5922.4	501	492.9	8.1
5421.4	500.7	492.6	8.1
4920.7	499.6	491.5	8.1
4421.1	496.8	488.7	8.1
3924.3	491	482.9	8.1
3433.3	489.5	481.4	8.1
2943.8	482.1	474	8.1
2461.7	469.2	461.1	8.1
1992.5	463.6	455.5	8.1
1528.9	440.2	432.1	8.1
1088.7	411.9	403.8	8.1
676.8	373.7	365.6	8.1
303.1	311.2	303.1	8.1
0	0	0	
Total=		12395.9	

Chapitre 4 : Contribution

Annexe 4.1 : Algorithme du remplissage du Petit Hopper

Tant_Que (wolf allumée) Faire /* l'algorithme marche tant que la wolf est allumée et y a fabrication de sacs pour éviter le pic de démarrage */

Début

Si (S=NULL) (si la sonde indique que c'est vide)

Alors{

Attendre T (T le temps pour que la différence de niveau a un impact sur le poids)

$N=N+n$ (N la vitesse de rotation de la grande vise et "n" est la valeur pour augmenter la vitesse)

}

Sinon (la sonde indique que le niveau est rempli)

{

attendre T' (T'est le temps pour que le volume attend l'ouverture du hopper)

$N=N-n$ (réduire la vitesse de rotation de grande vis)

}

finSi

fin

Annexe 4.2 : Algorithme pour remplir les deux grands Hopper A et B

```
Tant_Que (la wolf produit) Faire (
Début Tant_Que
Si (hopper 12 = vide) (Si la sonde du GH indique d'il est vide)
Alors
{
Ouvrir vanne 12 (commande qui ouvre la vanne)
Fermer vanne 13 (commande qui ferme la vanne)
Attendre T (Attendre le temps T pour que le GH se rempli)
Fermer vanne 12
Si(hopper 13 = vide ) alors
{
Ouvrir vanne 13
Attendre T
Fermer vanne 13
}
FinSi
}
Sinon (Dans le cs ou le GH 12 est remplis)
Si (hopper 13 = vide)
{
Ouvrir vanne 13
```

Fermer vanne 12

Attendre T

Fermer vanne 13

Si(Hopper 12 = vide)

Alors

{

Ouvrir vanne 12

Attendre T

Fermer vanne 12

}

finSi

}

finSI

fin Tand_Que

Avec la vanne 12 est celle qui ferme le grand hopper A, et la 13 est celle du grand hopper B.