

Suivi des rejets d'une ligne de soutirage de bouteilles : Etude et réduction de ces pertes pour améliorer la rentabilité financière de la ligne

Auteur : Assent, Clément

Promoteur(s) : Bruls, Olivier

Faculté : Faculté des Sciences appliquées

Diplôme : Master en ingénieur civil mécanicien, à finalité approfondie

Année académique : 2015-2016

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/1388>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.



Université de Liège
Faculté des sciences appliquées
Année académique 2015-2016



Suivi des rejets d'une ligne de soutirage de bouteilles : Etude et réduction de ces pertes pour améliorer la rentabilité financière de la ligne

Travail de fin d'études

réalisé en vue de l'obtention du grade de
Master Ingénieur Civil en mécanique

Auteur :

Clément ASSENT

Promoteurs académiques :

O. BRÜLS

P. DUYSINX

Promoteurs de stage :

R. ROORDA

M GOMEZ

Remerciements

Je ne pourrais convier qui que ce soit à la lecture de ce travail sans adresser auparavant mes plus sincères remerciements à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à sa réalisation.

En premier lieu, Messieurs Ronny Roorda et Michel Gomez, mes promoteurs industriels, pour leur disponibilité, leur soutien et leur aide tout au long de cette épreuve.

Messieurs Olivier Brûls et Pierre Duysinx, Professeurs ordinaires à l'Université de Liège et promoteurs académiques, pour le suivi régulier du travail.

Thierry Wera, Stéphane Ferrari, l'équipe du Packaging ainsi que l'équipe de Maintenance. Soyez tous remerciés pour votre support et votre investissement dans la réalisation de ce travail.

Enfin, merci à ma famille et à mes amis pour leur soutien, tant durant la réalisation de ce travail que durant mes études.

Abstract

Titre : *Suivi des rejets d'une ligne de soutirage de bouteilles : Etude et réduction de ces pertes pour améliorer la rentabilité financière de la ligne*

Auteur : *Clément Assent, 2ème Master Ingénieur Civil Mécanicien*

Année académique : *2015-2016*

Ayant mis en évidence un taux de rejet anormalement élevé sur une de ses lignes de production de son site de Jupille, le leader brassicole mondial AB InBev a proposé de mener un stage visant à améliorer l'efficacité de la ligne de conditionnement des bouteilles. Ce travail de fin d'études a pour but de mettre en place une méthode permettant de mesurer la quantité de rejets sur la ligne et de déterminer les points majeurs à modifier afin de diminuer ces pertes.

Le projet a été établi en suivant la méthodologie Lean Six-Sigma, particulièrement appropriée à ce contexte de recherche d'amélioration continue de la qualité. A travers les cinq phases de la méthode, le travail définit le projet, établit une méthodologie précise de mesures du taux de rejets, analyse les causes de défaillance et propose des solutions d'améliorations de la ligne.

La mise en œuvre du projet a permis de mettre en avant les inefficiences de la méthode actuelle de mesure et, par une approche différente, de présenter des résultats beaucoup plus précis permettant de caractériser la quantité de rejets.

Le travail présente ensuite zone par zone l'analyse des causes de défaillance et se focalise sur plusieurs améliorations ayant nécessité un travail d'analyse plus spécifique.

L'ensemble des améliorations apportées permettront une optimisation financière de plusieurs dizaines de milliers d'euros une fois leur mise en place finalisée, tandis que le travail a également permis la formalisation d'une méthode de mesure plus robuste lors de futures études de fiabilisation.

Table des matières

1	Introduction	1
1.1	Contexte	1
1.2	Objectifs	1
1.3	Approche et structure du rapport	2
2	Méthode <i>Lean Six-Sigma</i>	4
2.1	Six-Sigma	5
2.1.1	Contexte	5
2.1.2	Concept	5
2.1.3	Démarche DMAIC	5
2.1.4	Démarche de management et organisation de la compétence	6
2.2	<i>Lean</i> Management	8
2.3	Utilisation du Six-Sigma dans le cadre du projet	10
3	Phase <i>Define</i>	11
3.1	Présentation du groupe <i>Anheuser-Busch InBev</i>	12
3.1.1	Histoire	12
3.1.2	AB InBev dans le monde	12
3.1.3	AB InBev en Belgique	13
3.2	Ligne d'embouteillage JB2.2	14
3.2.1	Généralités	15
3.2.2	Vue d'ensemble de la ligne	15

3.3	Présentation du projet	24
3.3.1	Outil QQQQCP	24
3.4	Limitations du projet	26
3.4.1	Project Charter	27
4	Phase <i>Measure</i>	28
4.1	Système de mesures antérieur au démarrage du projet	28
4.1.1	Présentation	28
4.1.2	Limitations	29
4.2	Nouveau système de mesures	30
4.2.1	Contraintes	30
4.2.2	Capteurs utilisés	30
4.2.3	Obtention des données	32
4.2.4	Traitement des données	33
4.2.5	Optimisation du système	34
4.2.6	Défaillances du système	34
4.2.7	Comparaison des deux systèmes	35
5	Phase <i>Analyze</i>	37
5.1	Analyse des pertes de bouteilles sur la ligne	38
5.1.1	Arbre des causes	39
5.1.2	Zone rinceuse-soutireuse	39
5.1.3	Zone étiqueteuse	41
5.1.4	Zone bouchonneuse-museleuse	42
5.1.5	Zone 4 : "sortie bouchonneuse - entrée étiqueteuse"	43
5.1.6	Zone 6 : Encartonneuse et Zone sèche	44
5.1.7	Zone 1 : "Déballeuse - Entrée soutireuse"	45
5.2	Problème de sous-remplissage	45
5.2.1	Causes de sous-remplissage	45
5.2.2	Système de contrôle du remplissage	46

5.2.3	Problèmes mécaniques	47
5.2.4	Problèmes liés au moussage	48
5.2.5	Solutions pour réduire le sous-remplissage	54
5.3	Désynchronisation de la bouchonneuse-museleuse	59
5.3.1	Etude du renvoi d'angle	59
5.3.2	Problème du frettage	61
5.4	Etude de l'aligneur étiqueteuse	62
5.4.1	Chute des bouteilles au redémarrage	62
5.4.2	Mauvais alignement des bouteilles	63
6	Phase <i>Improve</i> & <i>Control</i>	67
6.1	Amélioration du remplissage de la soutireuse	68
6.1.1	Test des canules à spirales	68
6.1.2	Sur-remplissage des bouteilles	69
6.1.3	Conclusion	69
6.2	Resynchronisation de la bouchonneuse-museleuse	70
6.2.1	Amélioration	70
6.2.2	Contrôle	70
6.2.3	Conclusion	70
6.3	Mise en place d'un bras de rabattement à l'aligneur	72
6.3.1	Amélioration	72
6.3.2	Contrôle	72
6.3.3	Conclusion	72
6.4	Liste des modifications sur la ligne	73
7	Phase <i>Conclusion</i>	75
7.1	Conclusion	75
7.2	Perspectives futures	76

Table des figures

2.1	Démarche DMAIC	4
2.2	4 niveaux de pilotage	8
2.3	Courbe compromis qualité-coût [Cohen, 2010]	9
3.1	Phase Define	11
3.2	Historique du groupe	13
3.3	Classification des produits	14
3.4	Sortes de bières JB2.2	15
3.5	Vue d'ensemble de JB2.2	16
3.6	Schéma de la rinceuse-soutireuse [Krones,2004]	17
3.7	Phase de remplissage	18
3.8	Schéma de la bouchonneuse-museleuse [Union,2007]	19
3.9	Bouchon et muselet	20
3.10	Tunnel de pasteurisation	20
3.11	Schéma de l'étiqueteuse [ZBS,2011]	21
3.12	Schéma de l'encartonneuse	22
3.13	Problématique de la freinte bouteilles	25
3.14	Project Charter	27
4.1	Phase Measure	28
4.2	Positions des compteurs	31
4.3	Fonctionnement d'une cellule Reflex [Vanderbemden,2015]	32
4.4	Schéma de sortie de l'étiqueteuse	35

4.5	Comparaison des deux systèmes de mesure	36
5.1	Phase Analyze	37
5.2	Diagramme Pareto des pertes bouteilles sur JB2.2	38
5.3	Arbre des causes - Pertes de bouteilles sur JB2.2	40
5.4	Contrôle des défauts à l'étiqueteuse	42
5.5	Système de contrôle à la soutireuse	47
5.6	Obtention des rejets par robinet de soutirage	48
5.7	Molécules tensio-actives dans la bière	49
5.8	Température de la bière dans le dôme de la soutireuse (5 Avril 2016)	51
5.9	Diagramme Pareto des taux de pertes de bouteille à la soutireuse en fonction du type de bière	52
5.10	Comparaison du taux de rejet avec la contenance moyenne	53
5.11	Loi normale avec $\mu = 750$ et $\sigma = 4$	54
5.12	Sur-remplissage des bouteilles en réduisant la taille des canules	56
5.13	Taux de rejet pondéré par la production annuelle de chaque produit	56
5.14	Comparaison entre les canules à spirales et les ordinaires	58
5.15	Synchronisation de la bouchonneuse et de la museleuse	59
5.16	Renvoi d'angle	60
5.17	Schéma du renvoi d'angle	60
5.18	Schéma d'un aligneur	62
5.19	Représentation 3D de l'aligneur avec le bras courbé	64
5.20	Représentation 3D du mécanisme	65
5.21	Représentation 3D de l'aligneur avec le bras de rabattement	66
6.1	Phase Improve & Control	67

Chapitre 1

Introduction

1.1 Contexte

Chaque année, 105 millions de bouteilles sortent des lignes de l'usine AB InBev de Jupille, supportée par la mise en œuvre d'investissements permanents qui lui assurent d'être à la pointe de l'industrie agro-alimentaire. A l'échelle de la productivité humaine, chaque ouvrier présent voit défiler sur une année 25 millions de bouteilles sous ses yeux à la suite d'un processus de packaging extrêmement rodé.

En pourtant, malgré une telle automatisation, l'effectivité des lignes de packaging de l'usine présente un rendement inférieur à 60 %. Dans ce contexte, la fiabilisation des processus représente un enjeu majeur pour le maintien et le développement de l'activité au niveau local. Au delà du respect basique des normes de qualité qui garantissent la réputation du produit, le travail d'optimisation qu'effectuent les ingénieurs sur les lignes afin d'améliorer cette productivité permet de garantir le niveau de compétitivité de l'usine et assurer la rentabilité économique des installations, garante du maintien de l'activité.

C'est dans ce contexte que le présent travail a été mené. Celui-ci consiste à étudier les différentes manières de fiabiliser une des lignes de production de l'usine, spécialisée dans la production *One Way* des bouteilles 75cl et qui représente 15% de la production annuelle de l'usine de Jupille.

1.2 Objectifs

Le projet proposé par le département Packaging¹ consiste à travailler sur la ligne de production de bouteilles nommée JB2.2.

1. Département de la société qui s'occupe des lignes de conditionnement des produits

Les performances d'une ligne de conditionnement sont jugées à partir de KPI's (*Key Performance Indicator*). Les principaux KPI's sont :

- Productivité (*Gross line yield*)
- Qualité du produit
- Sécurité sur la ligne
- Pertes de produits défectueux

Dans le cadre de ce projet, **le travail portera sur la perte de produits sur la ligne**. La difficulté majeure, en travaillant sur un des KPI's, est d'obtenir une amélioration sans pour autant altérer les autres indicateurs de performance.

Ce travail a été proposé en raison, d'une part, d'un mauvais rapport financier annuel par rapport aux bouteilles perdues sur la ligne et d'autre part, d'une absence de suivi des pertes de bouteilles. En effet, si les principaux acteurs sont bien conscients du problème, il est difficile de pouvoir le traiter sans avoir un feedback détaillé de ce qu'il se passe sur la ligne.

L'objectif de ce travail est d'apporter une amélioration continue de la ligne de conditionnement. La première étape consiste à mettre en place un suivi de JB2.2. Ce système aura pour but de donner de manière hebdomadaire un compte-rendu complet des problèmes actuels de la ligne.

Ensuite, à partir de ces données, la suite du travail résidera en une analyse poussée des problèmes détectés, de manière à trouver une solution technique pour les résoudre.

Ce projet s'inscrit sur une période déterminée d'un stage en entreprise. Cependant, le but est également de mettre en place une amélioration à long terme. Si les problèmes traités dans ce travail sont résolus, il est évident que d'autres problèmes surviendront encore par la suite. Ainsi, il est nécessaire d'implémenter un système de suivi efficace, qui pourra être réutilisé dans le futur pour d'autres équipes de projet qui se concentreront sur le même sujet.

1.3 Approche et structure du rapport

La philosophie du projet implique l'utilisation d'outils analytiques rigoureux permettant d'apporter une certaine méthodologie dans l'élaboration des solutions ayant pour but d'atteindre les objectifs confiés. A cet effet, la méthodologie *Lean Six-Sigma* a permis de structurer l'analyse.

Ce rapport a donc été établi en fonction de cette méthode de management qui a été appliquée au travers du processus d'analyse du fonctionnement de la ligne. Le document s'organise comme suit :

- Le second chapitre présente la méthodologie sous un aspect théorique et introduit la mise en œuvre dans le cadre du projet.

- Le troisième chapitre décrit la phase de définition du projet, qui présente en détail le contexte et la mise en œuvre du travail confié.
- Le chapitre suivant détaille le processus de mesure qui a été établi afin d'assurer la disposition de données quantitatives correctes des niveaux de productivité de la ligne. Cette section insiste sur l'importante modification du système de mesure qu'il a été nécessaire de mettre en place.
- Le cinquième chapitre, plus conséquent, résumera l'ensemble des analyses qui ont été menées à partir des résultats obtenus en vue de mettre en œuvre les processus d'amélioration souhaités. En particulier, trois améliorations ayant été identifiées au cours du processus et ayant nécessité des recherches plus approfondies y sont détaillées.
- Le chapitre suivant traitera des améliorations mises en place à l'issue de l'analyse et des moyens de contrôle établis pour garantir le succès du projet. Il établit l'ensemble des modifications et les gains attendus.
- Enfin, le dernier chapitre dressera les conclusions du projet.

Chapitre 2

Méthode *Lean Six-Sigma*

Ce chapitre a pour objectif de présenter la méthode Lean Six-Sigma qui sera utilisée au cours de ce rapport pour mener à bien le projet qui a été confié. Il s'agit ici, dans un premier temps, de l'aspect théorique de la méthode, expliquant sa mise en place dans une entreprise, ainsi que les outils utilisés pour l'appliquer. La seconde partie de ce chapitre présentera la mise en œuvre de la méthode Lean Six-Sigma dans le cadre du projet concerné par ce rapport.

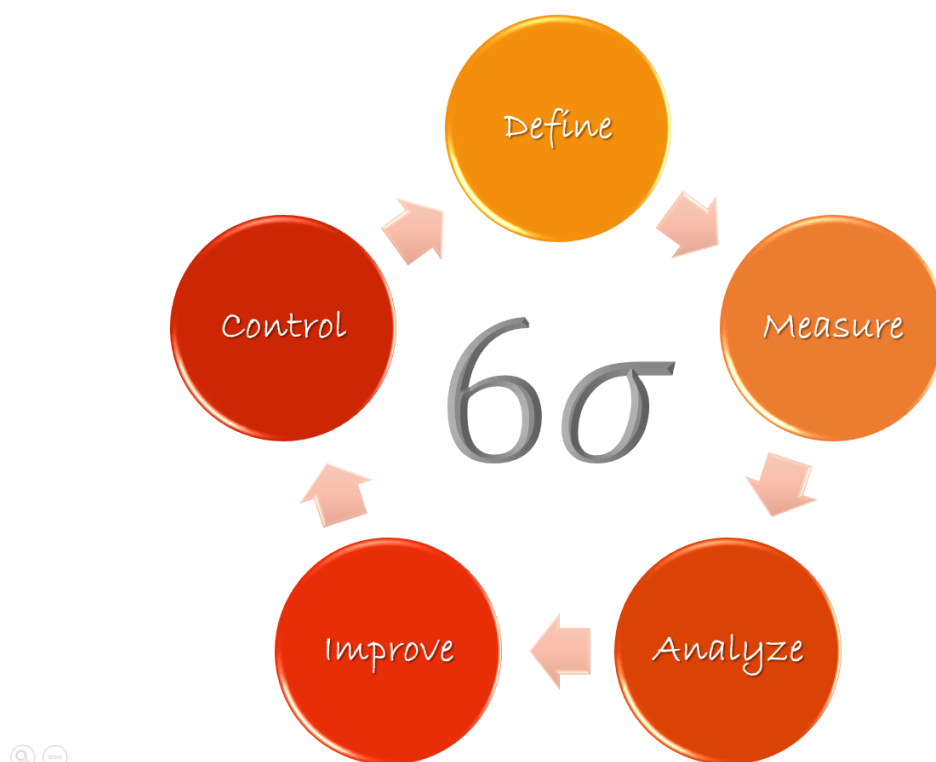


FIGURE 2.1 – Démarche DMAIC

La méthode de travail *Lean Six-Sigma* consiste en une combinaison de deux méthodes d'amélioration en continu destinées à accroître la performance de l'entreprise :

- Méthode Six-Sigma
- *Lean Management*

La méthode Six-Sigma va dans un premier temps être expliquée, pour ensuite comprendre l'apport supplémentaire du *Lean Management*.

2.1 Six-Sigma

2.1.1 Contexte

Le concept Six-Sigma a été initié en 1986 aux Etats-Unis par *Motorola* et est devenu célèbre dans les années 1990 lorsque *General Electric* a décidé de l'appliquer et de l'améliorer [Munro, 2007]. Malgré un essor important en outre-Atlantique, la méthode a fait son apparition en Europe il y a quelques années seulement. Son succès est notamment dû à la complexité croissante des organisations et de l'internalisation des processus qui imposent une vision globale des problèmes. Chez *AB InBev*, cette méthode fait partie intégrante de la politique de gestion de projets et de résolution de problèmes au sein de l'entreprise.

2.1.2 Concept

Un processus industriel comprend un certain nombre de tâches répétitives. En prenant l'exemple d'un produit fabriqué en grande série, on considérera une pièce conforme si elle respecte un certain nombre de critères. Cependant, ces produits ne sauraient pas être strictement identiques.

L'esprit Six-Sigma fait appel à des techniques d'amélioration des processus, permettant d'améliorer la qualité de la production en éliminant les défauts et en diminuant la dispersion autour de la valeur cible du paramètre mesuré. En diminuant la variabilité des paramètres mesurables, le Six-sigma permet de s'améliorer fortement et, en continu, de réduire les coûts ainsi que de garantir une qualité plus fiable, plus stable et plus régulière afin de rencontrer au mieux les exigences du client. C'est un changement de culture positif et profond avec, à la clef, des résultats financiers réels.

2.1.3 Démarche DMAIC

La démarche de résolution de problèmes employée peut se résumer en cinq phases : D, M, A, I, C. Elle est représentée schématiquement à la figure 2.1.

Phase D : Define. La phase D concerne la rédaction de la charte du projet, comprenant la description du travail, la problématique principale et les objectifs. Il s'agit également de se fixer des limites et de définir sur quels éléments on peut agir. Cette phase permet aussi de définir la liste des personnes avec qui travailler, leur apport et responsabilité.

Phase M : Measure. La phase M consiste dans un premier temps à analyser le processus actuel. Ensuite, il faut mettre en place un système de mesure de données afin de les interpréter tout en s'assurant de leur fiabilité. Il convient de caractériser le plan de collecte des données, la collecte elle-même et la première analyse statistique. La mesure se fait via l'analyse de la capacité et de la performance, le plan de collecte des données (quantitatives, qualitatives, gains attendus, coûts associés), la validation de ces données et l'utilisation de logiciels statistiques.

Phase A : Analyze. Cette phase est essentielle. Elle a pour objectif d'augmenter la connaissance du processus afin de découvrir les causes « racines » de la variabilité ainsi que de la performance insuffisante. La recherche de solutions est souvent accompagnée par des Brainstorming réalisés avec des personnes compétentes, ou encore l'utilisation de l'AM-DEC (Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur Criticité). À la fin de cette étape, il faut avoir une idée très précise des sources d'insatisfaction et des paramètres qui devront être modifiés pour atteindre la performance attendue. C'est le moment d'approfondir les résultats statistiques obtenus dans la phase précédente afin d'analyser les causes influant sur la précision. Le diagnostic peut être réalisé à l'aide d'outils comme le diagramme d'Ishikawa ou de travaux statistiques.

Phase I : Improve. Le diagnostic ayant été établi, il faut maintenant réfléchir à des solutions pertinentes, sélectionner les pistes de progrès les plus prometteuses. Il peut être utile, voire même recommandé, de réaliser un modèle intermédiaire pour valider les pistes de propositions. Les solutions choisies incluent le détail des livrables, le choix de la voie du projet, l'agenda priorisé, une fiche simplifiée par piste, les gains attendus et un logigramme globalisé.

Phase C : Control. La phase C consiste au déploiement, au suivi du déploiement, à l'analyse des points bloquants, en la surveillance du processus et à l'évaluation des résultats. En fonction des résultats, la charte peut (ou doit) être actualisée. Elle se termine par la clôture effective des travaux.

2.1.4 Démarche de management et organisation de la compétence

L'approche Six-Sigma des différents projets dans une entreprise est réalisée avec une équipe constituée de personnes ayant des compétences et des responsabilités bien définies. *General Electric* a associé des dénominations telles que White Belt, Green Belt, Black Belt, Master Black Belt et Champion.

Champion : Le Champion (également appelé Sponsor dans certaines organisations) est le dirigeant ou un haut manager qui suit l'exécution des projets d'amélioration. C'est un des rôles les plus critiques de l'organisation *Lean Six-Sigma*. Le Champion sélectionne les projets d'amélioration, détermine les équipes de Black Belts/Green Belts qui seront chargées du projet, suit l'avancée des projets, contrôle que les objectifs seront atteints, et joue le rôle de mentor auprès des Black Belt/Green Belts.

Master Black Belt : Le Master Black Belt fait office d'expert à la fois dans l'utilisation des outils et de la méthode ainsi que dans la connaissance des fondamentaux de Six-Sigma. Il assiste tant le Champion dans la sélection des projets que les Black Belts dans la conduite de leurs projets. Une personne ne peut devenir Master Black Belt qu'après la conduite avec succès de plusieurs dizaines de projets.

Black Belt : Le Black Belt est la maîtrise des méthodes d'expérimentation et la conception des plans d'expérience factoriels complets et fractionnaires : cette compétence ultime lui permet de maîtriser l'analyse des données du processus et d'atteindre l'objectif fixé dans le mandat de projet. Il est également capable de superviser les Green Belts dans leur travail de collecte des données et dans leur analyse.

Green Belt : Le Green Belt a pour vocation de mettre en œuvre la méthodologie et seconde les Black Belts dans la réalisation des projets d'amélioration de processus. Il se forge une expérience qui lui vaut d'intégrer les concepts et la philosophie de Six-Sigma avec, à terme, la possibilité d'évoluer vers la formation de Black Belt.

White Belt : le White Belt accompagne les projets d'amélioration de processus. Il comprend la méthodologie et est capable de suivre les projets d'amélioration.

Par ailleurs, il existe 4 niveaux de pilotage pour mener à bien une démarche Six-Sigma (fig. 2.2) :

Stratégique : La mise en place d'une méthodologie Six Sigma vise les coûts, les performances internes, la satisfaction du client et la perception interne, ainsi que le positionnement vis-à-vis de la concurrence. Pour ce faire, il faut avoir une vision claire dès le début dans la façon de procéder et impliquer le Champion. Ce dernier a pour mission de déployer et de sélectionner les projets sur les lesquels doit être appliquée une démarche Six-Sigma.

Tactique : Ce pilotage consiste en la traduction du pilotage stratégique au niveau opérationnel. Le but est de faire le choix des chantiers Six Sigma qui doivent être développés et donner les moyens pour qu'ils se fassent. Le Champion est aussi impliqué dans cette phase avec l'aide du Black Belt pour le choix des projets. Le Black Belt est la personne qui a des connaissances de haut niveau en statistiques et doit avoir un bon relationnel afin de pouvoir mener à bien les projets.

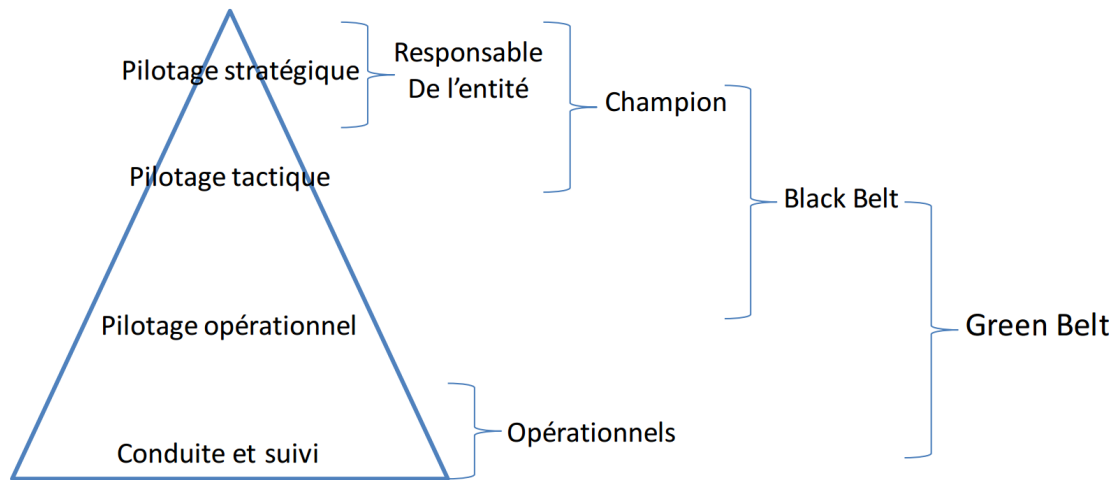


FIGURE 2.2 – 4 niveaux de pilotage

Opérationnel : Le pilotage opérationnel a pour but la conduite des projets Six Sigma à travers la méthodologie DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control), à ce niveau le Black Belt est le leader assisté par le Green Belt.

Conduite et suivi : Pour cette étape le but est d'appliquer les décisions résultantes de la démarche DMAIC, elle implique tous les opérationnels du processus, le Green Belt devient à son tour un opérationnel.

Il convient de noter que si chaque organisation suit cette philosophie de répartition des tâches et de pilotage, ce type d'organisation est amené à s'adapter selon la taille et la spécificité du domaine ou de l'activité de l'entreprise.

2.2 *Lean* Management

La combinaison du *Lean* et du Six-Sigma prend de plus en plus le pas sur le « pur » Six-Sigma. Le Six-Sigma a pour objectif de mesurer les taux d'erreurs et leur réduction, mais poussé à l'extrême il peut engendrer des coûts pour une amélioration non significative.

Le *Lean* quant à lui a pour objectif d'améliorer la performance industrielle tout en dépensant moins. Une analogie pertinente est le sportif qui cherche à obtenir une performance maximale en réduisant le plus possible l'énergie consommée. Pour atteindre ce niveau dans une entreprise, le *Lean* s'appuie sur un certain nombre de points clés :

- Suppression de tous les gaspillages
- Production en flux tendus

- Gestion de la qualité favorisant l'amélioration continue et l'amélioration par percée
- Réduction des cycles de développement des produits
- Attitude prospective vis-à-vis de ses clients.

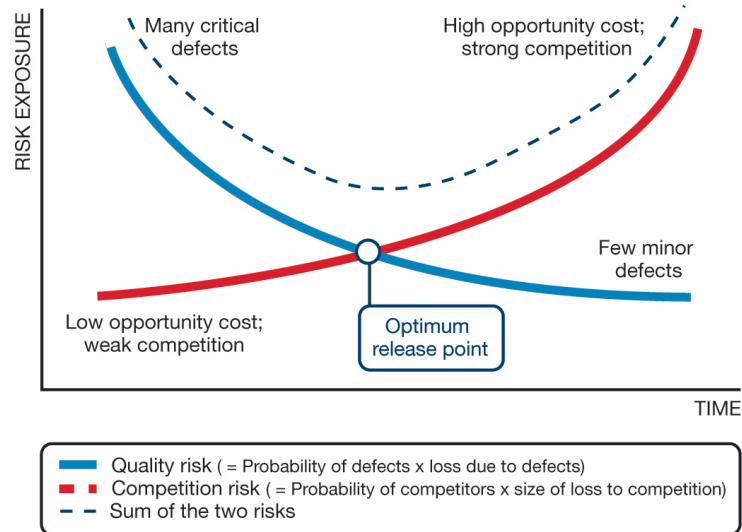


FIGURE 2.3 – Courbe compromis qualité-coût [Cohen, 2010]

La comparaison du Six-Sigma au *Lean* révèle que les deux approches sont différentes. Alors que le Six Sigma est théorique et basé sur les statistiques pour la résolution des problèmes, le *Lean* est basé sur des bonnes pratiques. Mais comme toute méthode, le *Lean* a ses limites lorsque les problèmes deviennent complexes alors que le Six Sigma peut les résoudre de par le niveau de détail avec lequel il analyse les causes des problèmes.

En résumé, chaque méthode apporte une contribution, pour obtenir une démarche finale qui se fait selon trois axes :

1. Amélioration continue des processus
2. Une démarche basée sur la résolution de problèmes (DMAIC)
3. Une vision plus pratique de la démarche (*Lean*)

2.3 Utilisation du Six-Sigma dans le cadre du projet

Bien que fortement utilisée au sein de AB InBev, le projet initial n'a pas été proposé selon une structure Six Sigma, l'application de cette méthode étant à priori réservée à des cadres et ingénieurs internes formés et ne correspondant pas avec la philosophie d'un stage.

Cela étant, la conduite du projet a rapidement mis en avant l'intérêt de prendre en compte l'utilisation de cette méthodologie et du panel d'outils associés afin de structurer l'analyse et appuyer les résultats obtenus. Par ailleurs, même si la méthode Lean Six-Sigma a formellement été adoptée en cours de projet, celui-ci avait implicitement été conduit selon les étapes du processus Six-Sigma et son application à posteriori n'a en aucun cas remis en cause le travail initié.

En la considérant à posteriori, l'équipe impliquée dans le projet peut être définie selon le schéma suivant¹ :

Champion : le responsable du département Packaging du site de Jupille peut être considéré comme le Champion (ou sponsor) du projet. Il est la personne qui a permis au projet de se lancer, il suit le projet et donne les permissions pour réaliser certaines actions. Son statut haut placé dans l'entreprise lui permet d'assurer un tel poste.

Black Belt : le Process Engineer en charge du Packaging est considéré ici comme le Black Belt. Il supervise le travail du Green Belt, contrôle l'état d'avancement du projet de manière régulière et apporte ses connaissances pour trouver des solutions envisageables.

Le **Green Belt :** correspond dans le cas présent au stagiaire associé à la conduite de ce projet. Son rôle consiste à mener opérationnellement le projet et rechercher les solutions les plus prometteuses pour atteindre l'objectif fixé.

Equipe Projet : l'équipe ayant contribué activement au support dans le cadre de ce type de projet comprend un membre de l'Informatique Industrielle et un membre de la Maintenance. Leur rôle est de contribuer à l'analyse des défaillances et d'assister à la mise en place des actions d'amélioration.

1. Dans un souci de neutralité et de diffusion du rapport, les noms des personnes impliquées n'ont pas été repris mais uniquement leur fonction au sein de l'entreprise.

Chapitre 3

Phase *Define*

La première phase de la méthode Six-Sigma consiste définir le projet en général.

L'environnement de travail du projet sera décrit dans le présent chapitre. Un bref descriptif du groupe AB Inbev, de la position de la ligne d'embouteillage JB2.2 au sein de la société et une explication détaillée de cette ligne permettront de mieux cerner l'objectif du travail.

Ensuite, des outils appropriés tels que le Project Charter ou encore le QQQQCP sont utilisés pour cadrer au mieux le projet et sa problématique.

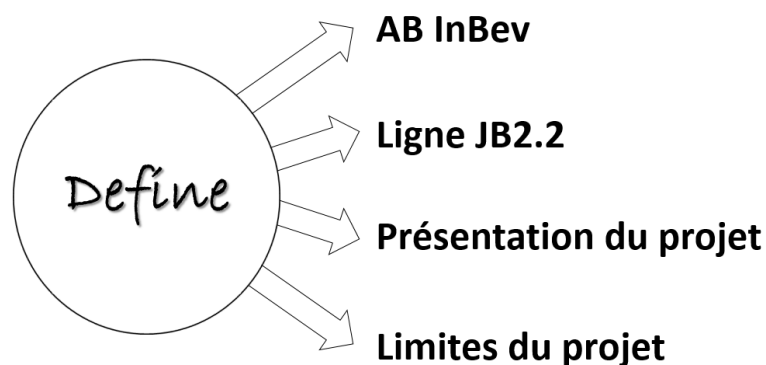


FIGURE 3.1 – Phase Define

3.1 Présentation du groupe *Anheuser-Busch InBev*

3.1.1 Histoire

Les origines du groupe remontent à 1366 lors de l'ouverture de la brasserie *Den Hoorn* à Louvain en Belgique. En 1717, le maître-brasseur, Sébastien Artois, reprend *Den Hoorn* qui devient la **brasserie Artois**.

Par ailleurs, l'histoire de la brasserie située à Jupille débute lorsque Jean-Théodore Piedboeuf la fonde en 1853. Ce n'est qu'en 1966 que la *Jupiler* voit le jour par la **brasserie Piedboeuf**. Celle-ci était à l'origine appelée *Jupiler5*, pour rappeler son taux d'alcool et son nombre d'ingrédients.

En 1987, la fusion des deux grands brasseurs belges, *Piedboeuf* à Jupille et *Artois* à Louvain, donne naissance à la société **Interbrew**. Sous l'appellation *Interbrew*, le groupe rachète en 1995 *Labatt* au Canada. En 2000, deux événements majeurs ont lieu : la société est introduite en bourse et elle reprend les groupes britannique *Bass and Whitbread* et allemand *Diebels and Beck's*.

En 2004, *Interbrew* fusionne avec le brasseur brésilien *Companhia de Bebidas das Americas (AmBev)*, cinquième mondial, pour former **InBev**. Fort de cette nouvelle fusion, le groupe *InBev* devient le leader mondial en terme de litres de bière brassée.

En 2008, alors que *InBev* avait déjà effectué diverses acquisitions en 2006-2007 (*Fujian Sedrin Brewery* en Chine et *Lakeport* au Canada), il signe le plus gros rachat jamais réalisé dans le domaine brassicole : la fusion entre *InBev* et le leader américain *Anheuser-Busch*, nommée **AB InBev**, qui devient le leader mondial et une des cinq plus grandes entreprises de produits de consommation.

Depuis Octobre 2015, *AB InBev* est en négociation pour acquérir *SABMiller*, deuxième groupe brassicole mondial.

La figure 3.2 montre l'évolution du Groupe au cours du temps.

3.1.2 AB InBev dans le monde

Les nombreuses acquisitions réalisées au fil des années a permis au groupe d'étendre un large éventail de produits à travers le monde. Ainsi, à l'heure actuelle, plus de 200 marques de bières sont produites par *ABI*¹. Le groupe brassicole a mis en place une stratégie de vente où les produits ne sont pas intégrés aux mêmes marchés (fig. 3.3).

Si trois marques sont présentes sur l'ensemble du globe et permettent au Groupe d'asseoir sa domination à échelle mondiale, il subsiste en parallèle une stratégie de vente plus locale qui

1. ABI : AB InBev



FIGURE 3.2 – Historique du groupe

pousse les consommateurs à acheter des produits régionaux.

Au delà d'un grand nombre de variétés de bières, *ABI*, possède des activités de production dans **25 pays** et vend ses produits dans plus de **100 pays**, avec **150.000 employés** dans le monde et un chiffre d'affaire de **43,6 milliards d'Euros** en 2015 [Ab Inbev, 2016].

3.1.3 AB InBev en Belgique

A l'instar de son positionnement sur le plan mondial, le Groupe est leader du marché avec 56% de part de marché en Belgique. Il existe quatre brasseries (Louvain, Jupille, Hoegaarden, Leeuw-Saint-Pierre) qui produisent **4,9 millions d'hectolitres** annuellement et emploient 2500 personnes dans le pays.

Si le groupe conserve la mainmise sur la marché brassicole du pays, le tableau ci-dessous fait toutefois état d'une diminution progressive au niveau de la consommation alors que la population augmente. Cette diminution est principalement imputée aux changements de mentalité en matière de boisson des nouvelles générations et au durcissement des lois notamment au niveau sécurité routière.



FIGURE 3.3 – Classification des produits

Tendances	2000	2005	2013
Consommation per capita	98.4l	90.7l	73.8l
Population	10.2 millions	10.5 millions	10.81 millions

TABLE 3.1 – Marché de consommation et tendances de population en Belgique [AB InBev2, 2013]

3.2 Ligne d'embouteillage JB2.2

Le projet porte sur la ligne d'embouteillage JB2.2 située dans l'enceinte de conditionnement du site de Jupille. Cette enceinte contient également quatre autres lignes de production :

- JB1 : Ligne mono-format qui s'occupe exclusivement du conditionnement des bouteilles Jupiler 25cl.
- JB2.1 : Ligne peu utilisée qui réalise le conditionnement des bouteilles à bouchon vissé de 75cl.
- JB3 : Ligne multi-format qui permet le conditionnement de différentes bières de 25, 30 et 33cl.
- JB4 : Nouvelle ligne, active depuis mai 2016, qui s'occupe du conditionnement de bouteilles 25cl destinées à l'exportation (format peu connu).

3.2.1 Généralités

La ligne JB2.2 a été imaginée et créée en 2006 pour permettre le conditionnement d'un nouveau format de bouteilles 75cl de type Champagne avec bouchon et muselet. Lors de sa conception, la ligne a été réalisée de manière à être la plus modulable possible. En plus du format Champagne 75cl initialement prévu, JB2.2 permet le soutirage de bouteilles de différents formats (37.5cl, 50cl, 75cl). Néanmoins, seuls deux formats de **bouteilles 75cl** sont produits actuellement : format Champagne et format Icon.

Seize bières différentes sont soutirées sur la ligne, réparties en trois marques de bière distinctes (fig 3.4). Le format Icon est exclusivement réservé à la Hoegaarden blanche, qui est également la seule à être capsulée et non pas bouchonnée.

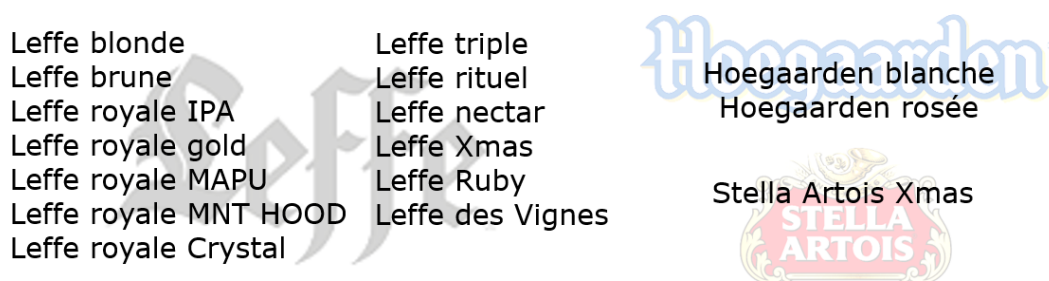


FIGURE 3.4 – Sortes de bières JB2.2

Par ailleurs, il est important de noter quelques autres spécificités de la ligne :

- JB2.2 est une **ligne One-Way**. Cela signifie que toutes les bouteilles à l'entrée de la ligne sont neuves. Les autres lignes du site² sont des lignes dites Return (vidanges lavées puis directement réutilisées).
- **La vitesse de la ligne est de 17 000 bouteilles/h.** Cette vitesse est limitée par la soutireuse qui est la machine la moins rapide de la ligne. Initialement, l'objectif était de tourner à 20 000 b/h.

3.2.2 Vue d'ensemble de la ligne

La figure 3.5 schématise l'ensemble de la ligne JB2.2. Dans cette section, une description des différents éléments de la ligne est réalisée afin de permettre au lecteur une meilleure compréhension des machines sur la ligne et des problèmes potentiels.

La ligne se sépare en deux zones : la zone humide et la zone sèche. La première représente la partie de la ligne où les convoyeurs, qui transportent les bouteilles, ont besoin d'être lubrifiés

2. A l'exception de la nouvelle ligne spécifique JB4 qui est également une ligne One-Way.

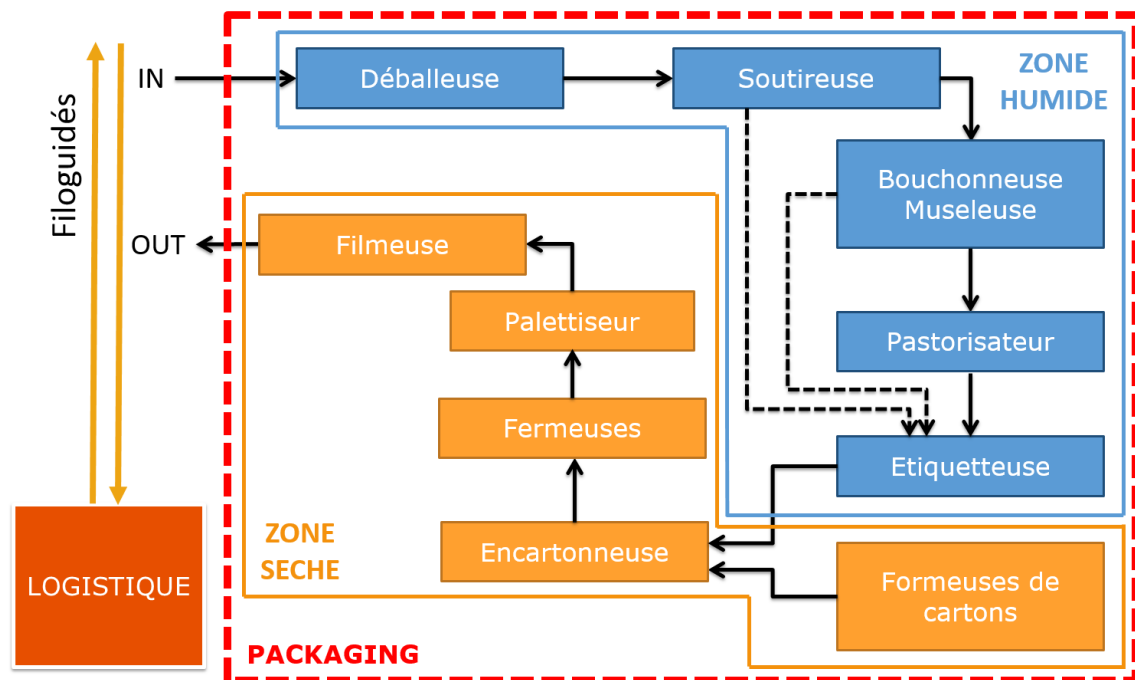


FIGURE 3.5 – Vue d'ensemble de JB2.2

afin d'assurer un glissement suffisant. La zone sèche quant à elle, est la zone située en aval de l'encartonneuse. Les convoyeurs transportent alors des cartons et la lubrification n'est plus nécessaire.

Comme observé précédemment sur la figure 3.4, la ligne peut produire de nombreux produits différents. Si la majorité d'entre eux ont le même processus de fabrication sur la ligne, deux produits ne suivent pas le même chemin. La Leffe Triple et la Hoegaarden Blanche fermentent après leur mise en bouteille. Dès lors, les bouteilles contournent le tunnel de pasteurisation pour permettre cette fermentation. Enfin, la Hoegaarden Blanche n'est pas bouchonnée mais directement capsulée à la sortie de la soutireuse.

Le fonctionnement de la ligne est décrit en suivant le chemin classique de production depuis la bouteille vide à l'entrée jusqu'au produit fini à la sortie.

Interface Logistique / Packaging

Le département Logistique s'occupe d'amener les bouteilles vides sur la ligne et de récupérer les produits finis. Les nouvelles bouteilles arrivent sur des palettes et sont déchargées à la déballeuse sur des quais de déchargement prévus à cet effet. Ces opérations sont réalisées à l'aide de chariots filoguidés³.

3. Le filoguidage est un système de guidage permettant aux chariots de se guider avec des impulsions électromagnétiques portées par un fil électrique enterré dans le sol.

Déballeuse

Les palettes de bouteilles neuves sont organisées sur six niveaux et emballées par un film plastique. Dans un premier temps, une action humaine enlève l'emballage. Ensuite, la machine introduit sur la ligne les bouteilles étage par étage. Les intercalaires entre chaque étage sont récupérés et stockés ensemble tandis que les palettes vides sont évacuées à l'aide des chariots filoguidés.

Rinceuse - Soutireuse

Les bouteilles arrivent une par une dans la machine (fig. 3.6). Une vis sans fin située à l'entrée, dans laquelle les bouteilles viennent se loger, permet de synchroniser l'arrivée des bouteilles avec le pas de la machine.

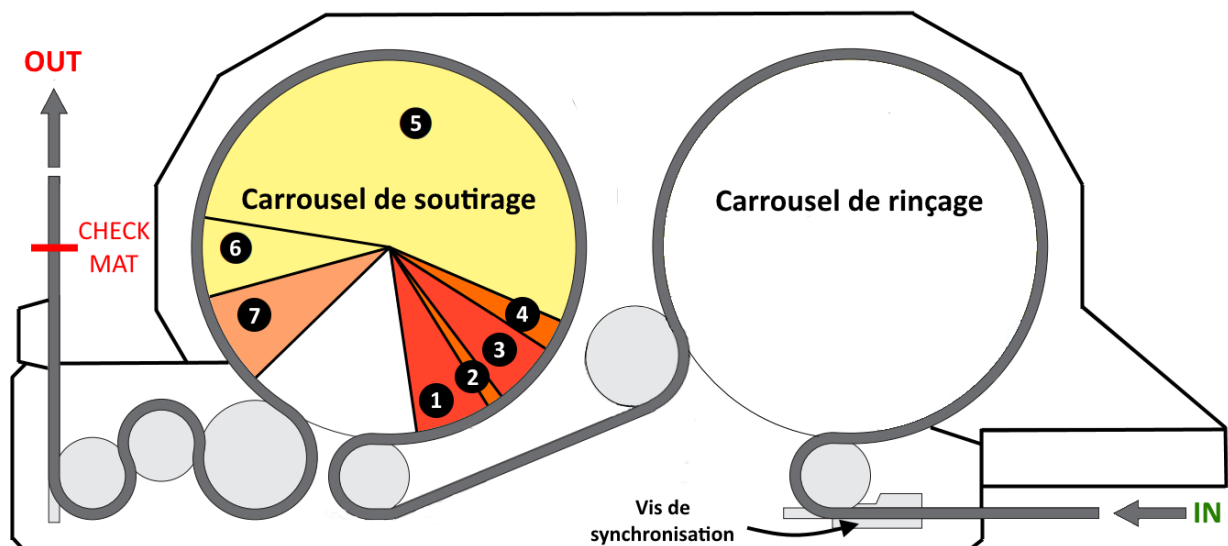


FIGURE 3.6 – Schéma de la rinceuse-soutireuse [Krones,2004]

Dans un premier temps, toutes les bouteilles passent dans le carrousel de rinçage où elles sont positionnées à la verticale, goulot vers le bas, pour être rincées à l'eau.

Une fois rincées, les bouteilles sont introduites dans un deuxième carrousel pour le soutirage. Le processus se déroule en 7 étapes :

1. *Première phase de vide* : La soupape de vide s'ouvre et permet de soumettre la bouteille à une atmosphère de vide et de réduire sa teneur en air à environ 10%.
2. *Balayage* : Un ressort de pression ouvre l'aiguille de gaz. Ainsi, du CO_2 presque pur remplit la bouteille et produit une pression quasi atmosphérique au sein de celle-ci.
3. *Deuxième phase de vide* : La soupape de vide s'ouvre à nouveau pour créer une deuxième situation de vide dans la bouteille. Ce vide réduit la teneur en air à environ 1%.

4. *Mise en pression* : Une nouvelle fois, le ressort de pression ouvre l'aiguille de gaz. la bouteille est remplie de CO_2 et mise à pression du dôme. Le dôme est la partie centrale du carrousel de soutirage et contient la bière à verser dans la bouteille. Cette pression est paramétrée pour être en adéquation avec la pression de saturation propre à la bière soutirée.
5. *Remplissage* : A pression identique, la soupape de liquide à ressorts s'ouvre et le processus de soutirage commence. Le produit s'écoule par l'extérieur du tube de retour d'air (ou "canule") et est projeté le long des parois de la bouteille à l'aide d'un déflecteur (ou joint "parapluie"). Pendant le processus de soutirage, le gaz de mise sous pression est refoulé dans le réservoir par l'intérieur du tube de retour d'air. Dès que le liquide atteint le bord inférieur de la canule, le flux de retour de gaz est interrompu et la phase de soutirage est ainsi terminée automatiquement. Cette phase est représentée à la figure 3.7.

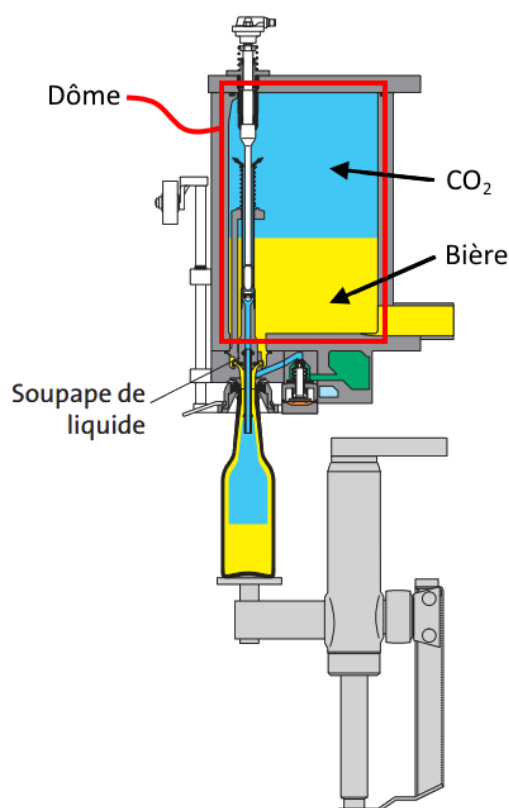


FIGURE 3.7 – Phase de remplissage

6. *Stabilisation* : Le produit rempli a le temps de se stabiliser. Les soupapes sont fermées de façon mécanique.
7. *Décompression* : La pression dans la bouteille est diminuée progressivement jusqu'à la

pression atmosphérique pour éviter que le produit ne déborde lorsque le joint d'étanchéité est enlevé. Ceci est réalisé à l'aide d'une soupape de décompression.

A la fin du carrousel de soutirage, il y a une capsuleuse, utilisée uniquement pour la Hoegaarden blanche. Les autres produits sont dirigés vers la bouchonneuse.

Enfin, à la sortie de la soutireuse, toutes les bouteilles passent devant un contrôleur, nommé Checkmat, qui vérifie le niveau de remplissage des bouteilles et éjecte les sous-remplies et sur-remplies. L'éjection pour sur-remplissage est uniquement utilisé pour la Hoegaarden Blanche et la Leffe Triple. Celles-ci ayant une refermentation en bouteille, elles ne peuvent pas être trop remplies.

Bouchonneuse - Museleuse

Ces deux machines sont habituellement présentées ensemble car intimement liées. En effet, d'une part, elles sont synchronisées par un moteur qui les met en mouvement simultanément. D'autre part, le contrôle des bouteilles se fait après le passage des deux machines et donc les comptes-rendus de la ligne parlent systématiquement de l'ensemble bouchonneuse-museleuse (fig. 3.8).

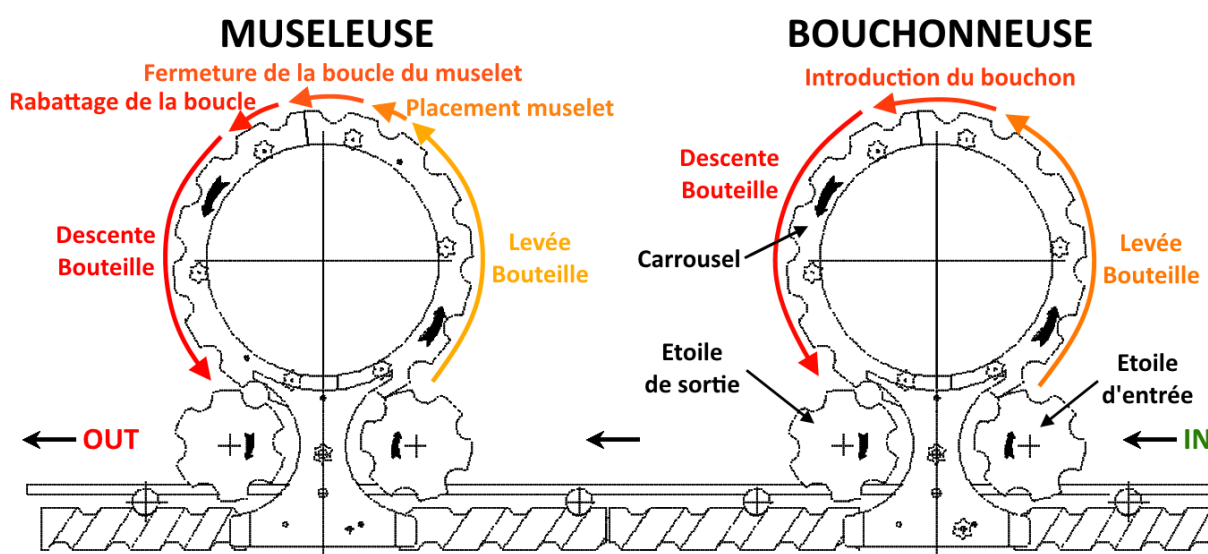


FIGURE 3.8 – Schéma de la bouchonneuse-museleuse [Union,2007]

Comme pour la rinceuse-soutireuse, une vis sans fin à l'entrée permet de mettre les bouteilles au pas des machines. Les deux machines sont constituées d'une étoile d'entrée, d'un carrousel et d'une étoile de sortie.

La **bouchonneuse**, comme son nom l'indique, consiste à introduire un bouchon dans le goulot de chaque bouteille. Lors du tour de carrousel, la bouteille est d'abord levée à l'aide d'un

vérin de manière à placer le goulot dans une tête où un bouchon est ensuite poussé à l'intérieur de manière pneumatique. La bouteille redescend alors jusqu'à l'étoile de sortie.

La bouteille entre ensuite dans la **museleuse**. A l'instar de la bouchonneuse, la bouteille est d'abord levée. Le goulot bouchonné est alors introduit dans un fourreau où le muselet est posé. Après cela, la boucle est torsadée de manière à fermer le muselet. Cette boucle est enfin rabattue et la bouteille redescendue vers la sortie.

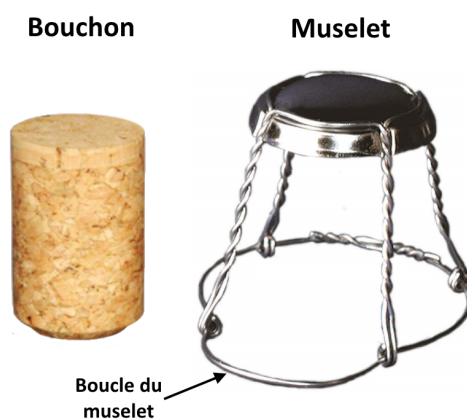


FIGURE 3.9 – Bouchon et muselet

Tunnel de pasteurisation

La pasteurisation des bières s'effectue dans un tunnel de pasteurisation (fig. 3.10).



FIGURE 3.10 – Tunnel de pasteurisation

La pasteurisation a pour but d'éliminer le plus complètement possible les micro-organismes qui pourraient se développer ultérieurement et nuire à la bonne conservation du produit et à ses qualités organoleptiques.

Le produit est pasteurisé par traitement thermique avec son conditionnement étanche : bouteille et bouchon sont ainsi pasteurisés simultanément.

Le traitement consiste donc en une montée progressive en température, en un maintien à la température de pasteurisation pendant le temps de pasteurisation et en un refroidissement. Les évolutions de la température du produit sont réalisées par des échanges thermiques avec de l'eau s'écoulant en film sur les bouteilles.

Le temps de parcours à l'intérieur du tunnel est d'environ 1h30.

Étiqueteuse

Comme pour les machines précédentes, les opérations à effectuer par l'étiqueteuse (fig. 3.11) se déroulent sur un tour de carrousel. Les bouteilles, alignées au préalable et ensuite mises au pas de la machine par une vis sans fin, pénètrent par l'étoile d'entrée, passent par deux postes d'étiquetage et sortent par l'étoile de sortie.

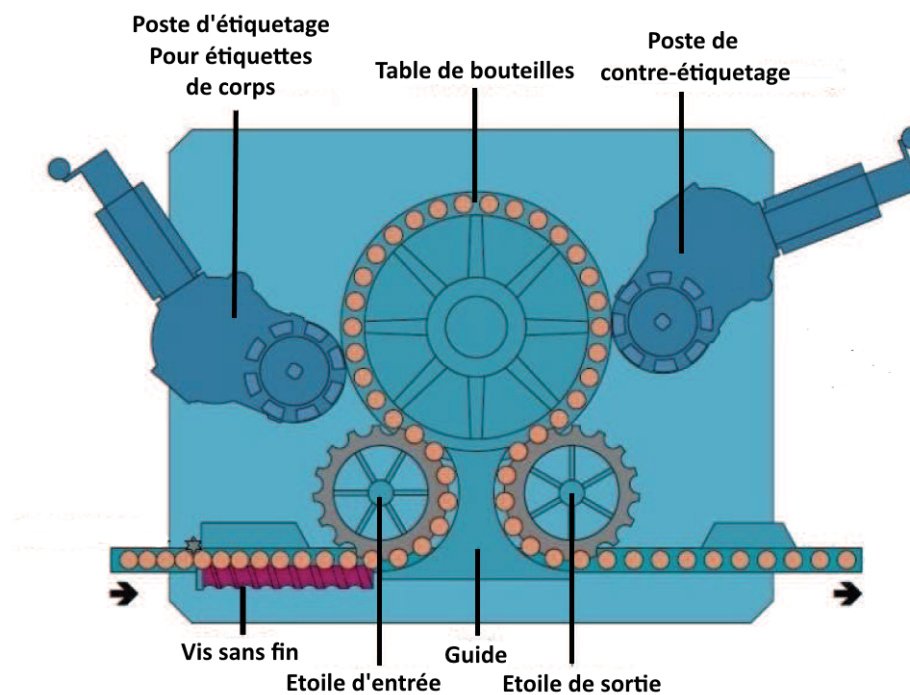


FIGURE 3.11 – Schéma de l'étiqueteuse [ZBS,2011]

Encartonneuse

Cette machine sert de transition entre la zone humide et la zone sèche. C'est à cet endroit que les bouteilles, qui arrivent de l'étiqueteuse, sont mises dans les cartons. La figure 3.12 représente le schéma de fonctionnement de la machine. Il lui est possible de remplir 12 cartons de 6 bouteilles simultanément, soit 72 bouteilles. Des ventouses, positionnées sur un support mobile qui se déplace linéairement en allers-retours, viennent chercher les bouteilles et les placent dans les cartons. Les bouteilles sont au préalable placées automatiquement dans des couloirs pour faciliter leur préhension.

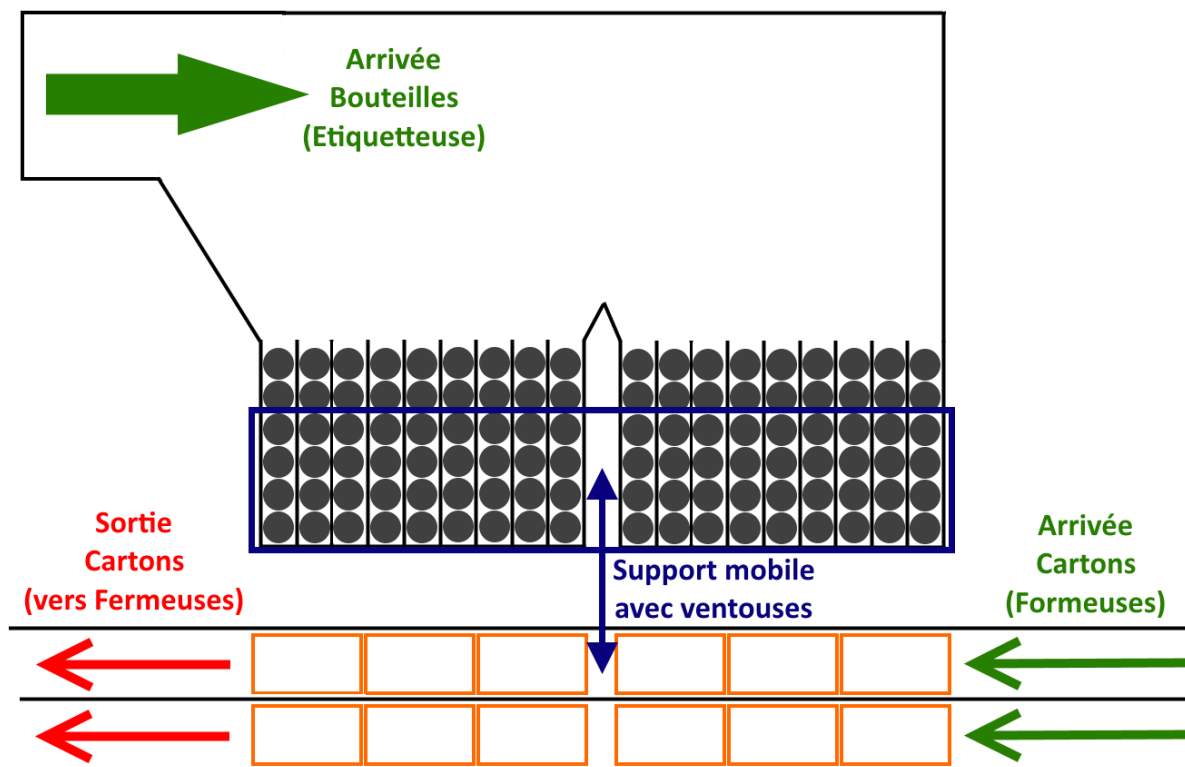


FIGURE 3.12 – Schéma de l'encartonneuse

Formeuses de cartons

Les cartons qui arrivent à l'encaisseuse proviennent de deux machines situées en amont qui sont les formeuses de cartons. Ceux-ci sont introduits sur la ligne par palettes de 1200 et aplatissés. Les formeuses vont se charger de les mettre à forme avec un système de ventouses, de bras automatisés et de colle.

Fermeuses

A la sortie de l'encaisseuse, les cartons sont pesés pour vérifier qu'aucune bouteille ne manque. Ensuite, ils sont envoyés vers les fermeuses qui vont fermer les cartons. Les opérations sont assez similaires à celles des formeuses de cartons.

Palettiseur et filmeuse

Enfin, les cartons remplis de bouteilles sont envoyés au palettiseur qui se charge de faire des couches compactes de cartons. Quatre couches de 22 cartons par couche vont être superposées. Pour terminer, la filmeuse place un film plastique et envoie la palette de produits finis sur le quai de chargement où les chariots filoguidés les réceptionnent pour les amener en Logistique.

Equipe de travail sur JB2.2

L'ensemble de la ligne est gérée par un FLM (*First Line Manager*, un multi-opérateur et cinq opérateurs.

Les opérateurs sont responsables du fonctionnement des machines sur la ligne. Ils sont répartis de la manière suivante :

- Un à la déballeuse ;
- Un responsable de la rinceuse-soutireuse et de la bouchonneuse-museleuse ;
- Un à l'étiqueteuse ;
- Deux pour gérer la zone sèche.

Le multi-opérateur est polyvalent sur la ligne. Il a une connaissance suffisante du fonctionnement de toutes les machines de la ligne. Il a le rôle de support pour les différents opérateurs sur la ligne et rend des comptes au FLM.

Le FLM est le responsable de la ligne et de l'équipe. Il prend les décisions en fonction de ce que lui rapporte le multi-opérateur.

Pour que la ligne puisse tourner pendant 24h, trois équipes se relaient par pause de 8h.

3.3 Présentation du projet

Afin de conserver l'esprit de la démarche Six-Sigma qui est suivie, les outils appropriés à la définition du problème ont été appliqués.

3.3.1 Outil QQQQCP

Cet outil permet de délimiter le problème dans le temps et dans l'espace et de le formuler en terme de faiblesse et d'insatisfaction.

Qui est concerné ?

Il s'agit du **département Packaging** qui s'occupe du bon fonctionnement des différentes lignes de conditionnement dans l'entreprise. Plus particulièrement, les personnes impliquées seront celles qui travaillent sur cette ligne en particulier et qui ont reçu comme *target* par l'entreprise d'améliorer la ligne.

De Quoi s'agit-il ?

Si l'objectif général de ce projet est d'améliorer la ligne de production JB2.2, il est demandé spécifiquement de diminuer les **pertes financières dues aux pertes de bouteilles sur la ligne**. Cet objectif ne permet toutefois pas toutes les libertés. En effet, réduire la freinte (pertes) bouteilles tout en réduisant la productivité de la ligne ou encore la qualité des produits n'est pas une solution envisageable. Il convient donc au cours de l'analyse de considérer simultanément tous ces aspects.

Cette problématique est propre à JB2.2. Comme indiqué dans la description de la ligne, contrairement aux autres lignes d'embouteillage, les bouteilles sont "One-Way" et 75cl. Cela signifie que la perte de telles bouteilles a un coût financier non négligeable car ces bouteilles sont neuves et plus coûteuses que sur les autres lignes.

Où se situe le problème ?

Il s'agit donc de **la ligne d'embouteillage JB2.2** introduite au cours de ce chapitre.

Quand cela arrive-t-il ?

La perte financière due à la freinte bouteilles est réellement visualisée lors des rapports financiers mensuels de l'entreprise. Cependant, la freinte a réellement lieu **lors de la production sur la ligne**.

Comment cela se passe-t-il ?

Les pertes de bouteilles peuvent avoir lieu sur l'intégralité de la ligne de production. La suite du travail consiste à savoir en détail quelles sont les causes principales de ces pertes. Néanmoins, ces pertes peuvent être classées en deux catégories différentes :

- **Rejets lors des contrôles** : il s'agit des pertes bouteilles dues à la défectuosité du produit. Il peut s'agir d'une bouteille mal bouchonnée éjectée à la sortie de la bouchonneuse-museleuse ou encore d'une bouteille mal étiquetée.
- **Pertes de produits non défectueux** : c'est notamment le cas des bouteilles qui tombent sur les convoyeurs ou qui s'alignent mal avant une machine.

Pourquoi résoudre ce problème ?

L'objectif est d'avoir maximum 1% de perte sur l'ensemble de la ligne. On doit donc avoir :

$$\text{Pourcentage de pertes sur la ligne} = \frac{\text{Nombre de bouteilles à la sortie}}{\text{Nombre de bouteilles à l'entrée}} < 1\%$$

Or, l'année dernière, en considérant 1% de perte budgétisée, la société a eu un déficit supplémentaire de 120 000€ à cause de cette freinte bouteilles.

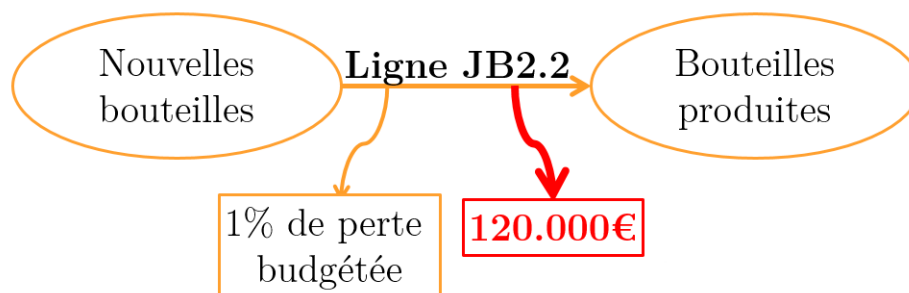


FIGURE 3.13 – Problématique de la freinte bouteilles

3.4 Limitations du projet

Réduire les pertes financières d'une ligne en réduisant la freinte bouteilles est un problème assez vague. Pour diminuer l'étendue du projet, quelques limitations sont à prendre en compte :

- Les résultats financiers de l'entreprise sont calculés à l'aide d'un logiciel interne ERP. Certaines incohérences ont été remarquées entre les bilans financiers obtenus et la production réalisée sur la ligne. Ces erreurs sont gérées par le département informatique de la société et la résolution de ces problèmes ne rentrera pas dans le cadre de ce travail.

Ce projet se limite donc uniquement aux pertes physiques des bouteilles sur la ligne de conditionnement JB2.2.

- Le travail consistant en la réduction du nombre de bouteilles perdues sur la ligne, la zone sèche ne sera que très peu abordée. En effet, la perte des bouteilles se situe principalement sur la zone humide. Ceci permet d'expliquer une présentation plus détaillée de la zone humide par rapport à la zone sèche dans la section 3.2.2.

De plus, plusieurs contraintes sont à prendre en compte lors du développement d'un tel projet :

- Comme déjà abordé dans l'introduction, il est important de respecter les KPI's établis. En effet, une amélioration des pertes de bouteilles ne peut pas être implémentée au péril de la qualité de la bière ou encore de la sécurité de la ligne.
- Dans le cadre d'un stage, les solutions techniques envisagées ne doivent pas demander un gros investissement. Par exemple, il n'est pas imaginable de changer l'entièreté d'une machine.
- Le travail réalisé ne doit pas perturber outre mesure le fonctionnement de la ligne de production. Si des tests sont effectués, ils doivent être calibrés de manière à minimiser toute baisse de productivité.

3.4.1 Project Charter

Le Project Charter associé au projet se résume selon la figure 3.14.

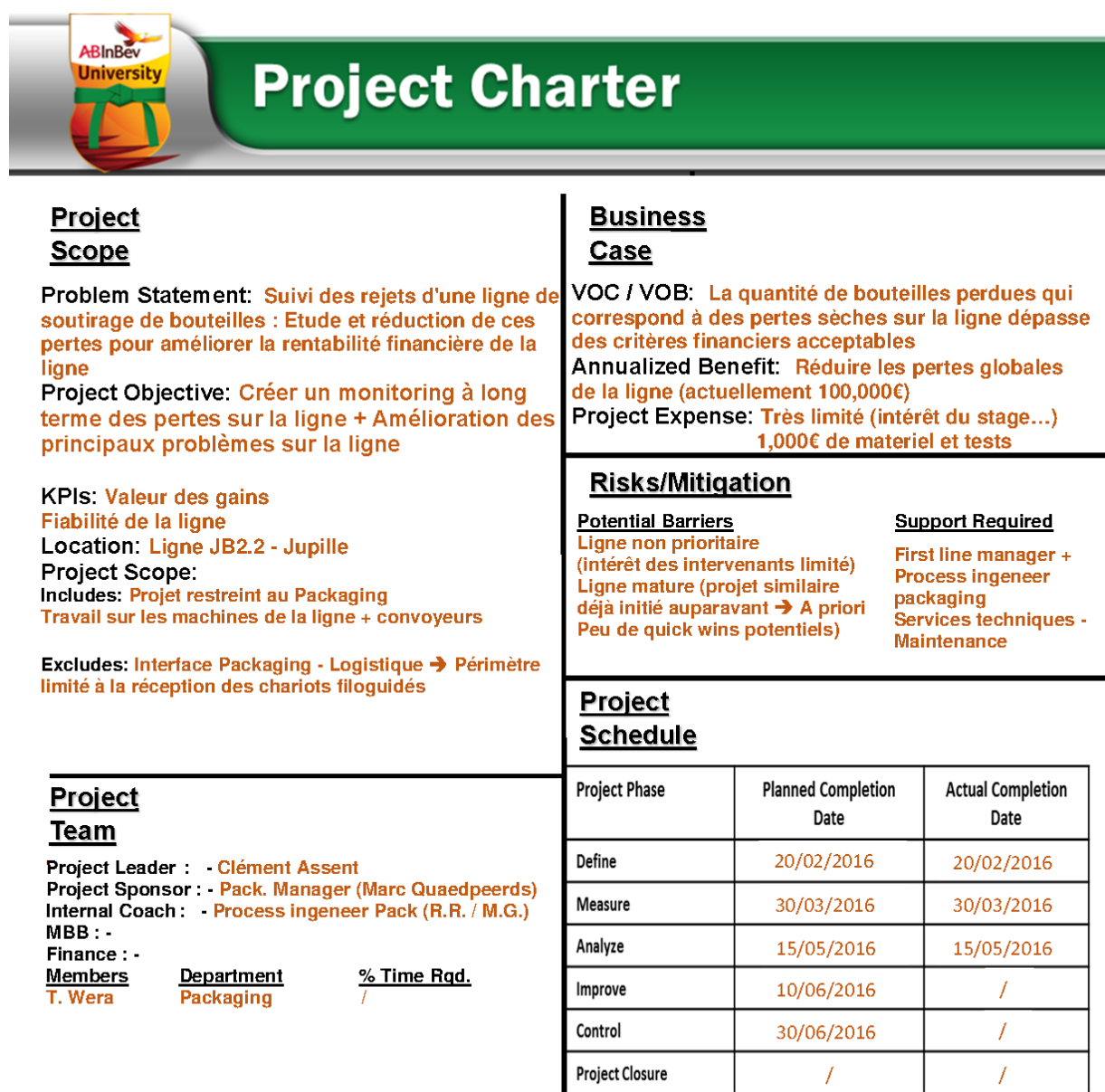


FIGURE 3.14 – Project Charter

Chapitre 4

Phase *Measure*

La deuxième phase de la méthode Six-Sigma consiste réaliser les mesures nécessaires à l'identification des problèmes.

Dans un premier temps, le système de mesure utilisé auparavant et ses limitations vont être expliqués. Le nouveau système mis en place et les potentielles améliorations à effectuer seront ensuite présentés.

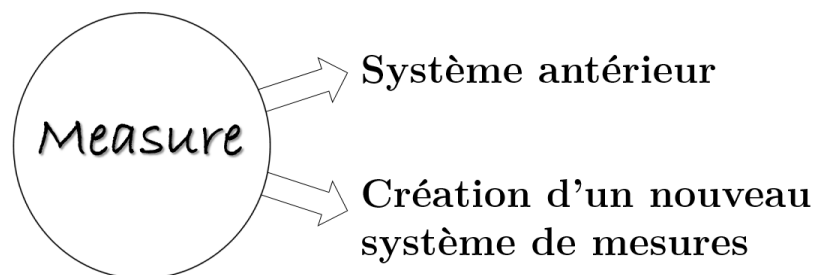


FIGURE 4.1 – Phase Measure

4.1 Système de mesures antérieur au démarrage du projet

4.1.1 Présentation

La principale difficulté mise en avant au démarrage de ce projet est l'absence de mesures valables sur la ligne. En effet, avant de pouvoir travailler sur des solutions techniques permettant de réduire la freinte bouteilles de JB2.2, il est nécessaire d'avoir des analyses complètes de la ligne afin de cibler les opérations principales à effectuer.

Or, toutes les analyses sur les pertes de bouteilles étaient réalisées à partir de quelques données peu recevables :

- Nombre de palettes à l'entrée et à la sortie de la ligne : ces données sont fournies par le département Logistique qui comptabilise le nombre de palettes que les chariots filoguidés ont amené et sont venus chercher.
- Contrôle des rejets : Pour les trois machines "principales" de la ligne, qui sont la rinceuse-soutireuse, la bouchonneuse-museleuse et l'étiqueteuse, il y a un système de contrôle des bouteilles à la sortie pour éjecter les mauvais produits. Ces contrôles sont directement reliés à un écran qui permet une visualisation des résultats et du taux de rejet des machines.

4.1.2 Limitations

Données issues du département Logistique

Les méthodologies de comptages n'étant pas identiques entre les départements, les départements Packaging et Logistique ne sont pas unanimes quant aux nombres de palettes qui sont amenées et retirées de la ligne : certains cas exceptionnels ne sont pas pris en compte de la même manière. L'utilisation de ces données ne constituait donc pas une solution pertinente afin d'établir le dénominateur.

Contrôle des rejets

L'utilisation des écrans de contrôle pour collecter des informations sur les pertes de bouteilles présente plusieurs inconvénients :

1. Ces compteurs peuvent être remis à zéro par des utilisateurs externes.
En effet, lorsqu'un problème sur la machine survient (caractérisé par un haut taux de rejet), le département Maintenance intervient pour résoudre le souci technique. Une fois corrigé, les compteurs sont généralement réinitialisés pour vérifier que la modification est effective. Cette remise à zéro a donc tendance à diminuer le taux de rejet qui sera faussé.
2. L'encodage des données dans des tableaux Excel¹ est effectué manuellement après lecture des écrans par l'opérateur. De nombreuses erreurs d'encodage y figurent.

Absence d'informations

Avec les données citées précédemment, il est donc possible de connaître la freinte totale de la ligne et les rejets des 3 machines principales.

1. Voir annexe

Cependant, il a été expliqué dans la présentation du projet que les pertes de bouteilles provenaient également des convoyeurs, aligneurs et autres endroits sur la ligne. Cette freinte inconnue ne peut pas être mesurée précisément avec ce système de mesure.

4.2 Nouveau système de mesures

Les limites du système en place, expliquées ci-dessus, ont mis en évidence le besoin de revoir entièrement la méthode de mesures. Le nouveau système a pour objectif de fournir une vision détaillée des pertes sur la ligne. Pour que ce système soit efficace, il est nécessaire de faciliter l'obtention de résultats. Un tel système a pour but de donner des informations hebdomadaires de l'état de la ligne. Il faut donc que la mise à jour des données par semaine soit rapide sous peine de voir ce système inutilisé à long terme.

4.2.1 Contraintes

Afin de prendre en compte l'ensemble de rejets et de permettre une finesse d'analyse suffisante, la solution optimale consiste à placer plusieurs capteurs aux endroits stratégiques de la ligne de manière à compter l'ensemble des produits qui passent devant (et ne sont par conséquent pas rejetés). Plus il y a de compteurs sur la ligne, plus il sera possible de cibler précisément les problèmes majeurs de la ligne.

Cependant, plusieurs contraintes sont à envisager :

- Éviter d'utiliser des capteurs à des endroits où des actions humaines peuvent entraver le comptage.
- Rechercher les endroits où il est possible de compter les produits qui passent. Par exemple, lorsque les bouteilles sont situées sur des convoyeurs larges, elles arrivent en mêlée et il n'est pas envisageable de les compter efficacement. Il n'est donc possible de placer des compteurs qu'aux emplacements où les bouteilles sont alignées.

4.2.2 Capteurs utilisés

Dans le nouveau système de mesure mis en place, sept compteurs ont été considérés et placés sur la ligne. L'emplacement de ceux-ci est représenté sur la figure 4.2.

Compteur C_1 : Compteur situé à l'entrée de la déballeuse. Un système de variable a été installé dans le programme de l'automate de la machine : lorsque l'opérateur appuie sur le bouton-poussoir permettant de faire entrer une palette dans la machine, la variable est incrémentée de 1. Chaque palette étant composée de 1056 bouteilles, le comptage à l'entrée est caractérisé avec précision.

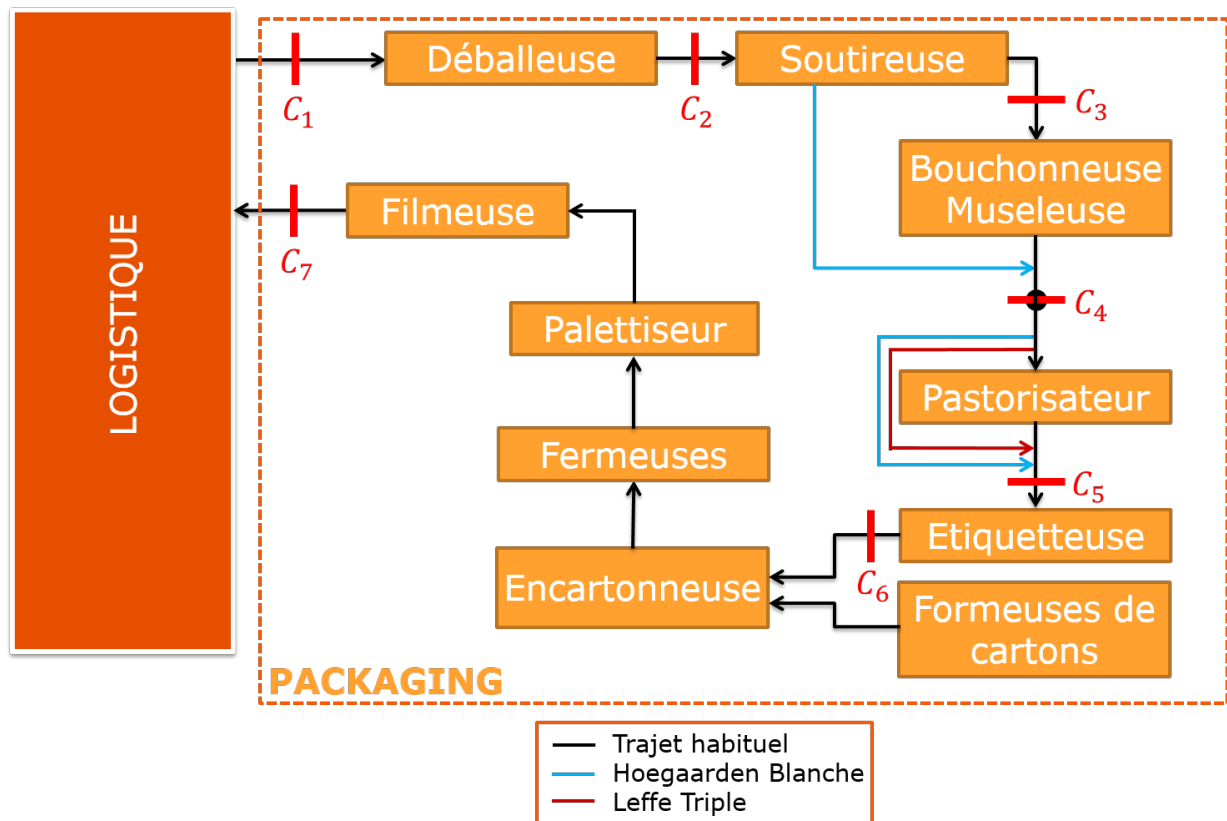


FIGURE 4.2 – Positions des compteurs

Compteurs C_2 à C_6 : Il s'agit de capteurs placés à des endroits stratégiques sur les manutentions. Les capteurs sont situés à tous les emplacements où les bouteilles sont alignées pour pouvoir être comptées par des cellules reflex photoélectriques (fig. 4.3). Elles sont composées d'un émetteur-récepteur et d'un réflecteur (catadioptré). L'émetteur envoie le faisceau qui revient vers le récepteur après s'être réfléchi sur le catadioptré. Les bouteilles qui passent coupent le faisceau et sont comptées.

- C_2 : Entrée rinceuse-soutireuse
- C_3 : Entrée bouchonneuse-museleuse
- C_4 : Sortie bouchonneuse-museleuse
- C_5 : Entrée étiqueteuse
- C_6 : Sortie étiqueteuse

Compteur C_7 : Pour compter les bouteilles à la sortie de la ligne, un dispositif qui scanne les codes-barres placés sur les palettes de produits finis est utilisé. Les palettes à la sortie étant composées de 88 cartons de 6 bouteilles, chaque palette comptée correspond donc à 528 bouteilles. Ce système était déjà en place initialement mais n'était pas utilisé à des fins de comptage dans le cadre de la fiabilisation de la ligne ; les sections suivantes indiquent comment l'exploitation de ces données a été rendue possible.

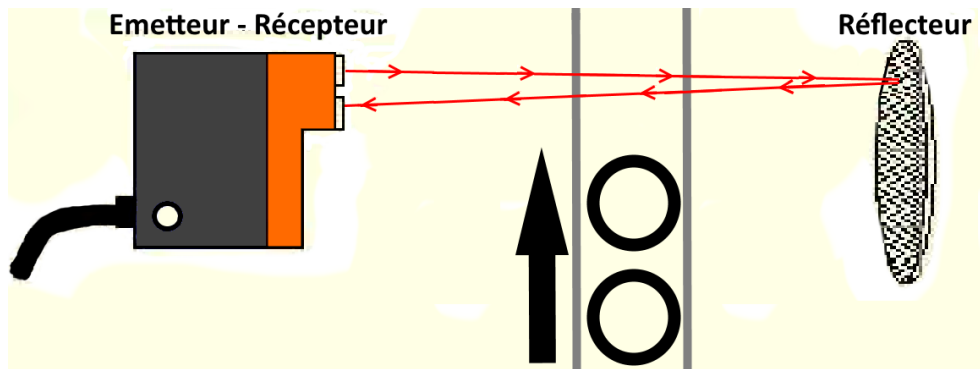


FIGURE 4.3 – Fonctionnement d’une cellule Reflex [Vanderbemden,2015]

4.2.3 Obtention des données

iHistorian

Les données des six premiers compteurs de la ligne sont obtenues à partir d’*iHistorian*.

iHistorian est une base de données qui archive l’entièreté des paramètres mesurés par les capteurs situés partout dans l’entreprise. Il s’agit aussi bien de capteurs de température, de pression que des capteurs qui détectent des bouteilles. Ces capteurs sont raccordés à un PLC² qui envoie les données à *iHistorian* à intervalles réguliers (quelques secondes).

La fonction principale d’*iHistorian* est la représentation graphique d’une grandeur mesurée en fonction du temps. En fournissant une date de début et de fin, il est aisé de calculer l’évolution de la grandeur pendant cette période. L’exploitation de cette base de données a donc permis de traiter les données nécessaires aux mesures de la ligne, en réalisant une extraction des données utiles sous format Excel.

Logiciel SABIN

SABIN est un logiciel de manufacturing qui gère l’ensemble des événements de production des lignes de conditionnement dans l’entreprise. D’une part, le logiciel permet d’obtenir des données directement relatives à la productivité des lignes. Par exemple, toutes les informations relatives aux arrêts sur la ligne sont repris dans des bases de données. D’autre part, il permet de connaître tous les mouvements de produits entre la *Logistique* et le *Packaging*.

Les données de C_7 sont obtenues à partir d’un fichier Excel créé par *SABIN* qui indique le nombre de cartons d’un type de produit à la fin de chaque production.

2. Programmable Logic Controller

4.2.4 Traitement des données

Les capteurs utilisés comptent de manière brute le nombre de bouteilles qui passent. Les informations nécessitent toutefois un certain traitement afin de rendre les données exploitables.

Le but est de connaître la quantité de bouteilles perdues pour les différentes régions de la ligne et ainsi pouvoir formuler ces résultats en terme de pourcentages. En considérant l'emplacement des sept compteurs (fig. 4.2), il est possible d'obtenir des données pour six zones différentes de la ligne. Pour connaître la perte de bouteilles dans une zone, il faut réaliser la soustraction entre la valeur du compteur à l'entrée de cette zone et la valeur à la sortie.

- $C_1 - C_2$: **Zone 1** - Pertes de bouteilles sur la manutention entre la déballeuse et l'entrée de la soutireuse. La distance parcourue par les bouteilles sur cette zone est d'environ 40m.
- $C_2 - C_3$: **Zone 2** - Bouteilles perdues au niveau de la rinceuse-soutireuse.
- $C_3 - C_4$: **Zone 3** - Bouteilles perdues au niveau de la bouchonneuse-museleuse.
- $C_4 - C_5$: **Zone 4** - Pertes de bouteilles sur la manutention entre la sortie de la bouchonneuse et l'entrée de l'étiqueteuse ainsi que dans le tunnel de pasteurisation.
- $C_5 - C_6$: **Zone 5** - Bouteilles perdues au niveau de l'étiqueteuse.
- $C_6 - C_7$: **Zone 6** - Pertes de bouteilles sur la manutention des bouteilles jusqu'à l'encaisseuse et pour la zone sèche.

Cependant, plusieurs complications subsistent :

- Sachant qu'il faut attendre un certain temps avant qu'une bouteille qui passe devant un compteur arrive au suivant, il est très difficile de compter les pertes de manière instantanée. Néanmoins, il est possible d'obtenir les pertes hebdomadaires assez facilement ; en réinitialisant les compteurs tous les dimanches soirs et en actant que la ligne tourne du lundi au vendredi, les prises de mesures des compteurs le samedi permettent d'assurer que toutes les bouteilles auront réalisé le tour de la ligne.
- Comme remarqué sur la figure 4.2, certains produits ne suivent pas le même trajet. Ceci est problématique pour la Hoegaarden Blanche. En effet, celle-ci étant capsulée à la sortie de la soutireuse, elle ne passe pas par la bouchonneuse-museleuse. Dès lors, pour ce produit, il n'y a pas de rejet pour la bouchonneuse et le rejet de la soutireuse est donné par $C_2 - C_4$.

En tenant compte de ces spécificités, un fichier Excel global permettant d'obtenir un compte-rendu hebdomadaire des pertes de bouteilles sur la ligne a été mis en place. Ce fichier est mis à jour en utilisant une macro (série d'instructions) écrite en langage VBA. En moins d'une minute, la macro est parcourue et met à jour le fichier.

Ce tableau reprend le nombre de bouteilles comptées par semaine pour chaque compteur, les pertes de bouteilles pour chaque zone et le pourcentage de pertes pour ces différentes zones. Enfin, une dernière ligne permet de connaître le pourcentage de pertes global de la ligne.

4.2.5 Optimisation du système

Le système de mesure et l'obtention des résultats étant un succès, une macro supplémentaire plus élaborée³ permettant d'obtenir les résultats pour chaque format de bouteilles a été développé. Il existe 3 formats différents pour JB2.2 :

- Format "ICON" pour la Hoegaarden Blanche.
- Format "Champagne" pour tous les autres produits de la ligne.
- Format spécifique pour les bouteilles de Hoegaarden Rosée. Elles correspondent à un format Champagne mais sont reçues avec un "sleeve" (étiquette qui recouvre l'intégralité de la bouteille).

4.2.6 Défaillances du système

En théorie, le système est parfaitement fonctionnel. Cependant, en pratique, il y a certains défauts de mesure à prendre en compte :

- Le compteur de la déballeuse est défectueux. Celui-ci compte par excès le nombre de palettes envoyées dans la machine. Toutefois, sachant que la zone 1 (déballeuse - entrée soutireuse) connaît très peu de pertes selon les observations, il est possible d'ajuster manuellement le nombre de bouteilles à l'entrée de la ligne. Il suffit de tenir compte du deuxième compteur à l'entrée de la rinceuse-soutireuse et d'indiquer le nombre de palettes qui permet d'avoir des pertes supérieures à zéro dans la zone. Etant donné que le compteur comptabilise des palettes, le nombre de bouteilles est obligatoirement un multiple de 1056 (nombre de bouteilles sur une palette), ce qui facilite l'approximation. En général, la perte dans la zone varie entre 80 et 300 bouteilles par semaine.
- L'autre défaillance du système provient du compteur à la sortie de l'étiqueteuse. Afin de mieux comprendre le problème, un schéma de la sortie de l'étiqueteuse a été réalisé à la figure 4.4. Ce sujet sera rediscuté par la suite dans le chapitre lié à la phase Analyse, mais un des problèmes majeurs de l'étiqueteuse réside dans la calibration de l'organe de contrôle à la sortie de la machine. Celui-ci, s'il est mal réglé, peut rejeter de nombreuses bouteilles valables par erreur. Dès lors, l'opérateur de la zone étiqueteuse a pour mission de contrôler lui-même les rejets et remettre sur la ligne les bouteilles qui n'ont pas de défauts. Cette manœuvre crée donc un contournement du compteur de la sortie étiqueteuse, qui a pour conséquence de compromettre les résultats des zones 5 et 6.

Globalement, la mesure de la quantité de rejets à l'étiqueteuse sera plus grande qu'en réalité et une perte de bouteilles entre l'étiqueteuse et la sortie de la ligne (zone sèche) plus faible.

Afin d'estimer le véritable taux de rejet pour ces deux zones, l'ancien système de mesure sera conservé afin de vérifier le taux de rejet à l'écran de contrôle de l'étiqueteuse. Ainsi, il

3. Code repris en annexe

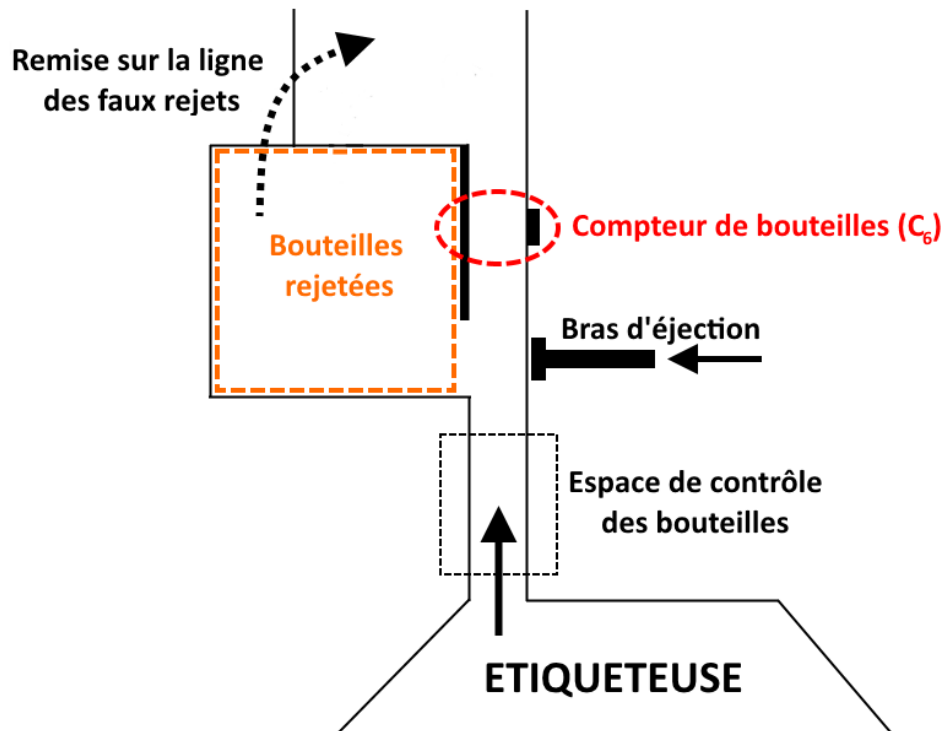


FIGURE 4.4 – Schéma de sortie de l'étiqueteuse

sera également possible d'évaluer les pertes sur la zone sèche. Cette alternative ne représente pas une solution pleinement efficace compte tenu limitations de l'ancien système, mais constitue un compromis permettant de réaliser une distinction entre les deux zones concernées.

4.2.7 Comparaison des deux systèmes

La figure 4.5 illustre la comparaison entre l'ancien système de mesure et le nouveau. Le taux de rejets pour les trois machines principales est doublé avec le nouveau système ; ceci illustre bien les limitations de l'ancien système et met en évidence l'intérêt de la mise en place d'un processus de mesure beaucoup plus précis afin de cerner plus efficacement les problèmes que rencontre la ligne de production.

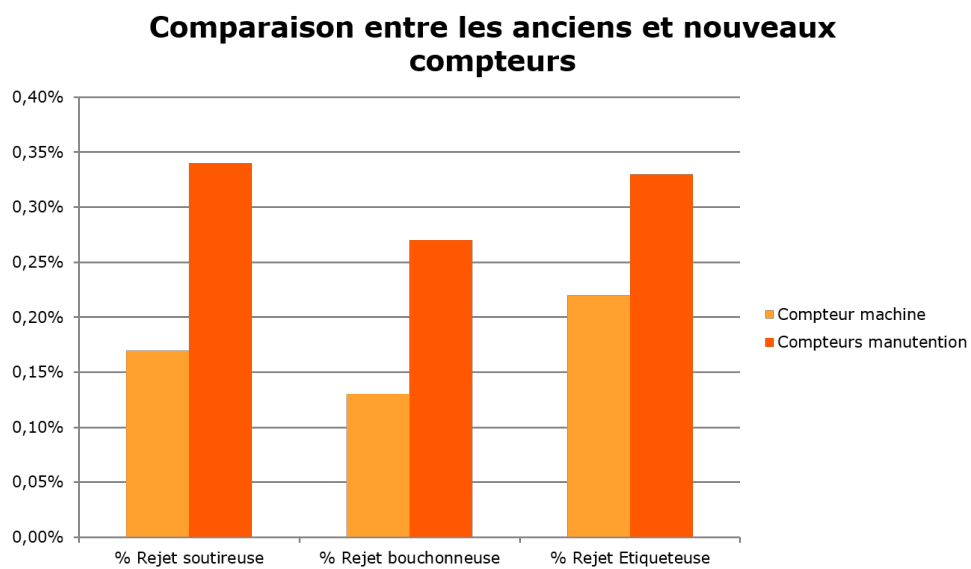


FIGURE 4.5 – Comparaison des deux systèmes de mesure

Chapitre 5

Phase *Analyze*

La troisième phase de la méthode Six-Sigma consiste à analyser les mesures effectuées précédemment de manière à trouver les éléments à améliorer.

Dans un premier temps, une analyse globale de la ligne va être effectuée, de manière à localiser les principales pertes sur la ligne.

Ensuite, en fonction des résultats obtenus, un intérêt particulier sera porté aux causes de pertes les plus importantes, en essayant de comprendre au mieux les problèmes afin d'y remédier de la façon la plus efficace possible.

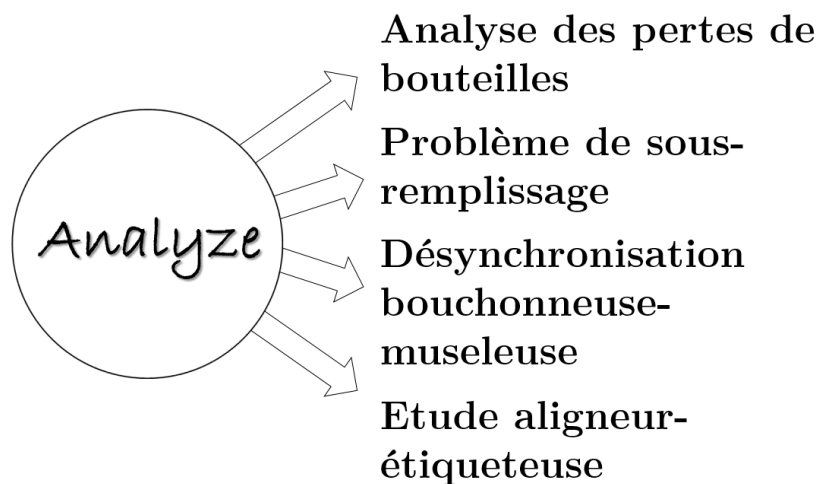


FIGURE 5.1 – Phase Analyze

5.1 Analyse des pertes de bouteilles sur la ligne

L'analyse de la ligne est réalisée à partir du système de mesures expliqué au chapitre précédent. La première étape est de réaliser un diagramme Pareto permettant de situer les problèmes majeurs de la ligne.

Le diagramme Pareto est un outil très utilisé dans la démarche Six-Sigma afin de localiser les défauts dans un processus de production. Il permet d'effectuer une priorisation des défauts à traiter. La figure 5.2 représente le diagramme Pareto de la ligne.

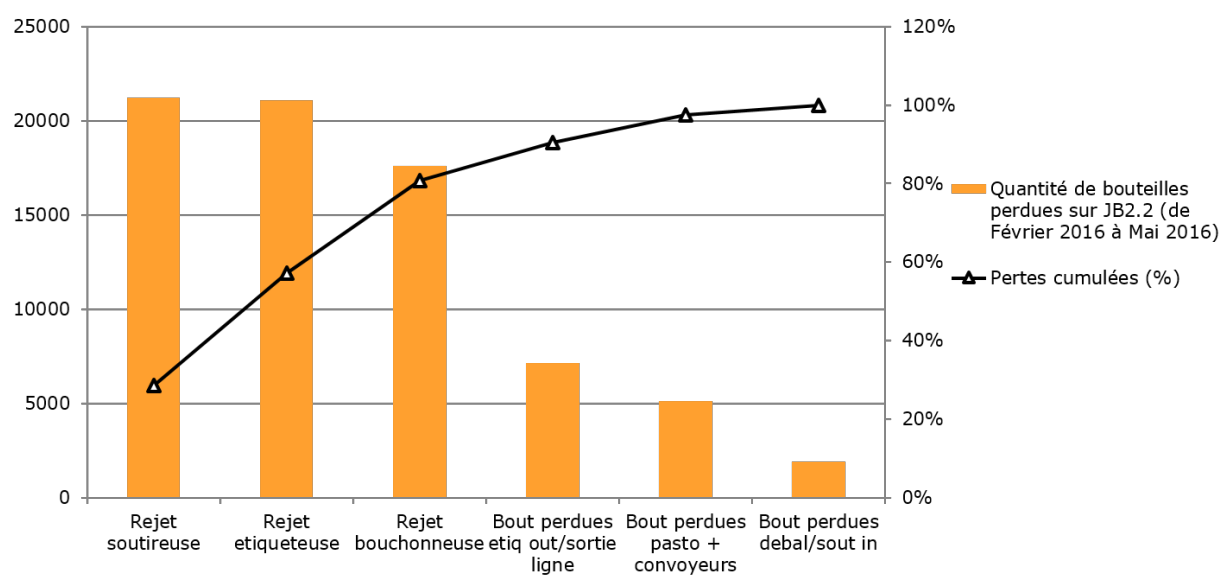


FIGURE 5.2 – Diagramme Pareto des pertes bouteilles sur JB2.2

Cette analyse a été réalisée à partir de données obtenues depuis la mise en place du système de mesures (effective à partir de février 2016). Cela implique qu'il a fallu attendre quelques semaines pour obtenir des résultats fiables. De plus, durant cette période, certains produits n'ont pas du tout été produits (Stella Artois) ou très peu (Leffe Royale Mapuche). Les données sur lesquelles l'analyse a été menée ne sont donc pas totalement représentatives de la ligne de production. Néanmoins, à l'issue d'une augmentation progressive de échantillon de mesure, il a été observé que les résultats hebdomadaires étaient assez similaires.

Lorsqu'un résultat ne concorde pas avec la moyenne habituelle de perte de bouteilles de la zone, cela est généralement dû à un problème technique majeur qui n'a pas pu être réglé immédiatement. Ce type de problème ponctuel est pris en charge par le département *Maintenance* et n'entre pas dans le cadre de ce travail. L'objectif est bien de s'attaquer aux problèmes continus de la ligne afin de réaliser une réduction des pertes de bouteilles à long terme.

À l'issue de cette première analyse, plusieurs observations ont été effectuées :

- Les causes majeures de pertes sont les trois machines principales de la ligne. En effet, celles-

ci représentent 80% des pertes globales de JB2.2.

- Les rejets pour ces machines sont assez équilibrées. Il n’y a pas vraiment de priorisation qui en ressort.
- Les trois zones à plus faible taux de pertes sont les zones qui correspondent aux convoyeurs et à certaines machines qui ne devraient pas être responsables de la perte de bouteilles. Néanmoins, il a été mis en évidence que cela représente 20% des pertes de la ligne, ce qui n’est pas négligeable.

Une analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité (AMDEC) a été réalisée¹. L’interprétation de celui-ci rejoint assez bien le Pareto obtenu.

Une analyse détaillée des différentes causes de rejets pour chaque zone a été réalisée, en commençant par la zone rinceuse-soutireuse, et en suivant l’ordre de priorité obtenu par le Pareto de la ligne. Ce travail a impliqué la nécessité de passer un certain temps d’observation sur la ligne afin de mieux comprendre les causes des pertes de bouteilles.

5.1.1 Arbre des causes

Une classification des problèmes a été établie à partir d’un arbre des causes. Il s’agit d’un outil régulièrement utilisé dans une optique d’amélioration continue de la qualité sur une ligne de production. Il représente l’ensemble des causes qui peuvent conduire à la perte de bouteilles sur la ligne.

Cet outil permet de répartir les problèmes en cinq catégories, à savoir :

- Chute de bouteilles
- Problème de process dans la canetterie² (département Brewing)
- Packaging défectueux
- Faux rejets
- Mauvais fonctionnement machine

L’analyse des causes a été établie pour chaque zone de la ligne de production. Une visualisation réelle de la ligne avec les différentes zones est fournie en annexe.

5.1.2 Zone rinceuse-soutireuse

Au delà du fait que la rinceuse-soutireuse a la plus grosse quantité de bouteilles perdues sur la ligne, ce qui fait d’elle une priorité, il existe d’autres raisons qui justifient le fait d’étudier en premier lieu cette installation :

- Contrairement aux deux autres machines principales, toutes les sortes de produits qui passent

1. Voir annexes

2. Partie de l’usine où les bières sont stockées dans les cuves et sont envoyées sur les lignes de conditionnement

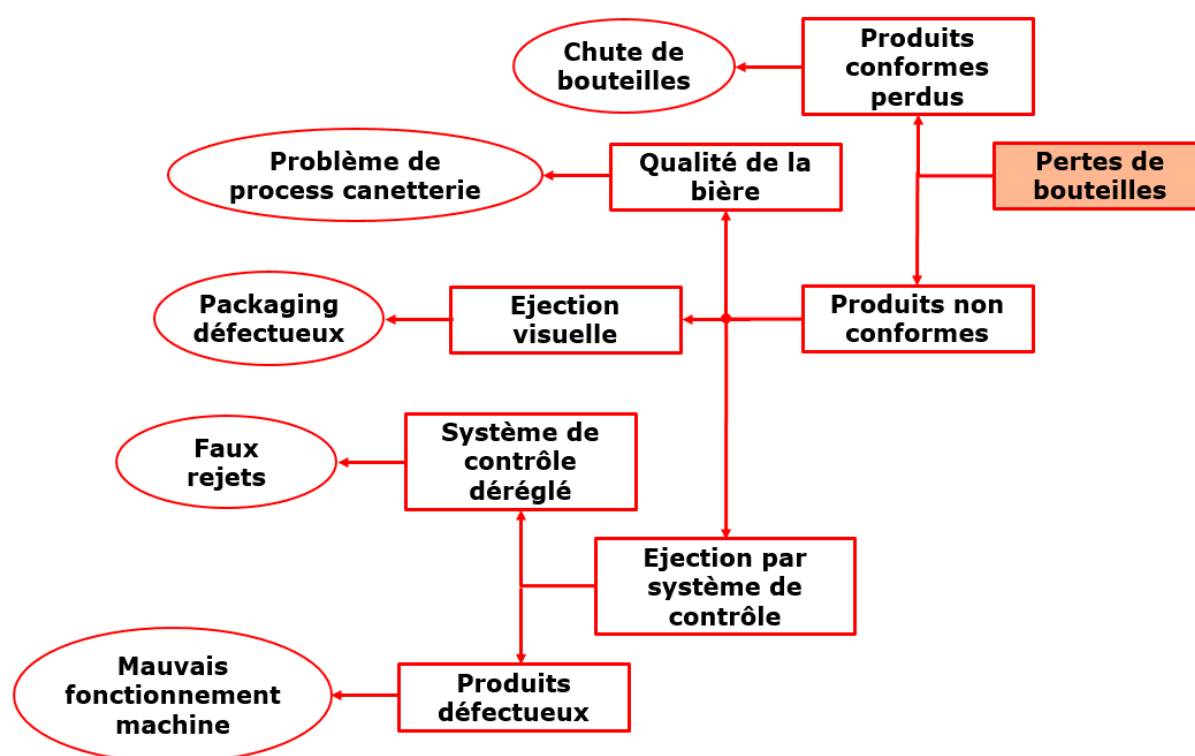


FIGURE 5.3 – Arbre des causes - Pertes de bouteilles sur JB2.2

sur la ligne entrent dans cette machine. En effet, le soutirage est indispensable, contrairement au bouchonnage qui peut être remplacé par une opération de capsulage (Hoegaarden Blanche) ou encore à l'étiquetage qui n'est pas toujours utilisé. En effet, c'est le cas pour la Hoegaarden Rosée qui arrive sur la ligne déjà étiquetée ("sleeve"), ou encore pour les Leffes Royales qui sont étiquetées par une société externe.

- Cette machine est très peu étudiée actuellement par le service technique de la société. La bouchonneuse et l'étiqueteuse ont, quant à elles, de nombreuses actions en cours réalisées par le service Maintenance.

Trois causes de pertes pour la soutireuse ont été identifiées.

La principale cause est liée à l'éjection de bouteilles pour sous-remplissage [**Faux rejets ou mauvais fonctionnement machine**]. Au-delà du fait que ce problème était connu de longue date par les utilisateurs de la ligne sans être résolu, les mesures ont par ailleurs montré que le problème avait une tendance à s'intensifier au fil du temps.

La principale analyse de ce travail a été réalisée au niveau de cette source de pertes et est explicitée plus en détails à la section 5.2.

Une seconde cause identifiée est liée à l'éjection des bouteilles à cause de la qualité de la bière.

Le département *Qualité* effectue des contrôles réguliers et peut déclasser une certaine quantité de bière au niveau de la soutireuse si le résultat est négatif. Les principaux cas sont un trop haut taux d'oxygène ou une mauvaise densité de la bière (trop d'eau dans la bière) [**Problème de process canetterie**]. Même si la machine n'est pas responsable d'un tel problème, les produits ayant des soucis de qualité sont rejetés à cet endroit de la ligne.

Cette source de non-qualité est imputée au département Brewing et ne fait donc pas partie du cadre de ce projet. Toutefois, il convient de préciser qu'un travail complémentaire d'analyse a été effectué avec les personnes concernées. La cause identifiée est la suivante : entre le soutirage de deux sortes de bières différentes, toutes les conduites depuis les cuves de bière jusqu'à la soutireuse sont lavées. Cependant, lors de la mise en route d'une nouvelle production, les premières bouteilles produites ont des problèmes de densité à cause d'un surplus d'eau dans la bière. Les processus ont été adaptés en fonction afin de diminuer l'occurrence.

Enfin, une troisième cause identifiée est l'explosion de bouteilles dans le carrousel de soutirage (*Bottle burst*). Lorsqu'une bouteille explose, toutes les bouteilles présentes aux alentours sont également rejetées pour éviter les débris de verre. [**Mauvais fonctionnement machine**]

Cette situation est assez rare. Elle arrive lorsque la bouteille a un défaut de conception et ne peut pas supporter la pression de soutirage. Généralement, il s'agit de tout un lot de bouteilles qui est défectueux. Aucune action n'a été mise en oeuvre pour contrer ce type de défaut qui est imputable à la qualité du matériel fourni par des prestataires externes et pour lesquelles les processus de qualité des approvisionnements contribue à le limiter à un faible niveau.

5.1.3 Zone étiqueteuse

Comme pour la rinceuse-soutireuse, l'étiqueteuse fait partie des machines avec la plus grande quantité de rejets.

Toutes les bouteilles perdues dans l'étiqueteuse sont éjectées au niveau de l'organe de contrôle situé à la sortie. Cet organe de contrôle est plus conséquent que pour la soutireuse. En effet, celui-ci effectue de nombreux contrôles :

- Un système de détection permet de vérifier la présence des étiquettes, du staniole³, et de leur positionnement.
- Une caméra vérifie la présence des informations nécessaires à la sécurité alimentaire. Cela représente l'heure de production, la date conseillée de consommation, etc.
- Un système de contrôle du niveau de remplissage et de la présence du bouchon est situé en fin de contrôle. Il permet de s'assurer que les vérifications à la soutireuse et à la bouchonneuse ont bien été effectuées

Ce nombre de contrôle indique plusieurs causes de rejets différents [**Mauvais fonctionnement machine**]. L'écran relié au système de contrôle permet d'obtenir une situation détaillée

3. Fine feuille d'aluminium positionnée sur le goulot de la bouteille

de tous les défauts. Il est ainsi possible d'analyser le taux de rejets en fonction de chacun de ces défauts. La figure 5.4 représente un graphique répertoriant un exemple des différents défauts survenus lors d'une production.

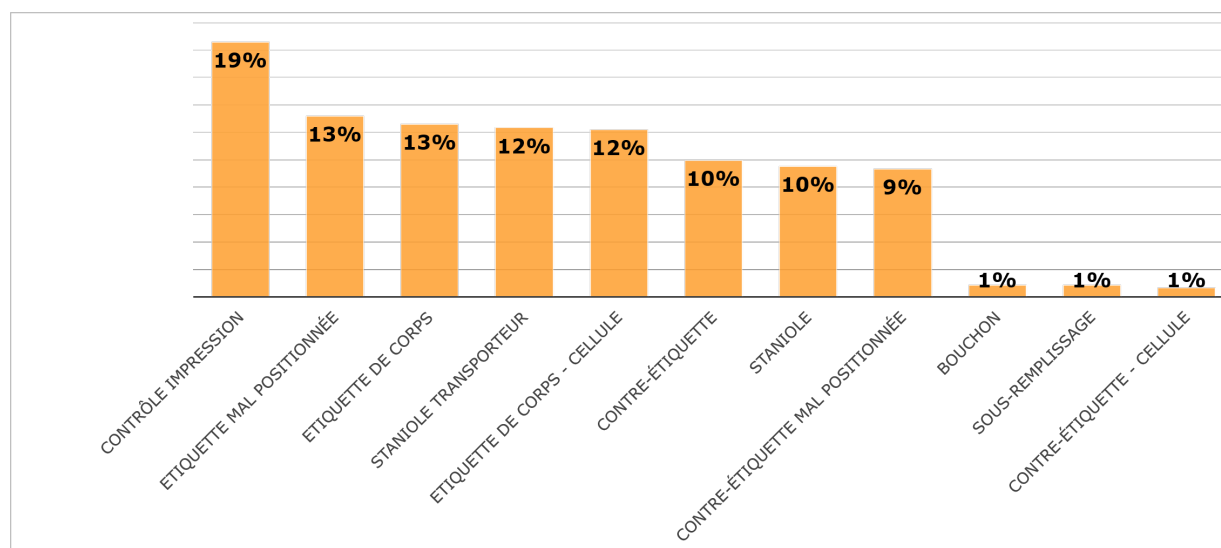


FIGURE 5.4 – Contrôle des défauts à l'étiqueteuse

Une difficulté supplémentaire est de régler la caméra qui vérifie les informations imprimées sur la bouteille pour la sécurité alimentaire. Le système consiste à effectuer une comparaison entre la photo de la bouteille qui passe et une image "étalon" programmée dans le logiciel.

A chaque début de production, un temps de calibration est nécessaire pour que ce système soit efficace. Durant cette période, la production n'est pas totalement arrêtée et une importante quantité de bonnes bouteilles est éjectée [**Faux-rejets**].

De nombreuses études sont en cours pour améliorer l'étiqueteuse. Les points critiques ont bien été ciblés et les opérations en cours sont cohérentes par rapport au problème relevé.

5.1.4 Zone bouchonneuse-museuse

Le nombre de bouteilles perdues à la bouchonneuse-museuse par rapport à la production globale de JB2.2 est inférieur à celui de la soutireuse et de l'étiqueteuse. Cependant, il faut prendre en compte que le nombre de bouteilles qui y passe est réduit. En effet, les bouteilles de Hoegaarden Blanche, qui ne sont pas bouchonnées, représentent seulement 15 % de la production de la ligne. Le taux de perte est donc proportionnellement aussi important.

Comme pour les deux machines précédentes, un système de contrôle se situe à la sortie de la museuse pour éjecter les produits défectueux. La vérification s'effectue au niveau du goulot et observe si le bouchon et le muselet ont bien été mis en place. Ce contrôle représente la

majorité des bouteilles perdues à cet endroit. Néanmoins, les bouteilles peuvent également être perdues par des crashes dans la machine.

Bien qu'il ait été plus complexe d'identifier les raisons des pertes de bouteilles dans cette machine, de nombreuses discussions et observations sur le terrain ont permis de mettre en avant deux causes importantes.

La première est liée à des problèmes mécaniques d'usure des pièces [**Mauvais fonctionnement machine**]. Notamment, il est fréquent qu'une des têtes soit défectueuse, ce qui implique un bouchon ou un muselet qui se place mal et entraîne ainsi directement une éjection de la bouteille. De même, le tortillard qui permet de fermer la boucle du muselet ou le guide qui amène les bouchons sont régulièrement en défaut.

Tous ces problèmes mécaniques sont traités par la maintenance lorsqu'ils surviennent. L'identification de l'importance des pertes liées à cette cause a impliqué la mise en place d'un plan de maintenance préventive par le service Maintenance. Celle-ci permettra d'appréhender ces problèmes mécaniques un peu plus rapidement, de réduire la quantité de bouteilles perdues et ainsi d'augmenter la productivité de la ligne en réduisant les arrêts.

Un second problème récurrent à traiter sur cette zone a été identifié. Il s'agit de la désynchronisation entre les deux machines bouchonneuse/museleuse [**Mauvais fonctionnement machine**]. Celle-ci peut survenir en deux circonstances :

- lors d'un arrêt brutal de la machine ;
- lorsque la ligne est portée à une certaine vitesse qui entraîne une désynchronisation "systématique" de la machine. Il est important de souligner que ce problème est apparu durant la période de mesures et a fortement impacté la ligne. Durant une semaine, la ligne a dû réduire la cadence à 10 000 b/h au lieu des 17 000 b/h habituelles afin d'assurer la continuité de la production.

Non seulement, la désynchronisation provoque la chute et la destruction de bouteilles dans la machine, ce qui implique une freinte bouteilles conséquente, mais elle réduit également énormément la productivité de la ligne, entraînant une perte financière pour la société. Ce problème est analysé en détail à la section 5.3.

5.1.5 Zone 4 : "sortie bouchonneuse - entrée étiqueteuse"

Cette zone est constituée d'une longueur de convoyeurs de 60m de long, du tunnel de pasteurisation de 15m de long et d'un système d'alignement de bouteilles à l'entrée de l'étiqueteuse. Les convoyeurs sont majoritairement larges, ce qui implique le transport de plusieurs bouteilles de front. A l'inverse, le convoyeur à l'entrée de l'étiqueteuse exige un flux de bouteilles en "file indienne", ce qui nécessite un système d'alignement.

De nouveau, il est très difficile de quantifier les pertes de bouteilles à l'intérieur même de la zone. L'expérience sur le terrain des multi-opérateurs et les observations sur la ligne consti-

tuent donc la meilleure source d'analyse.

Etant donné la longueur des convoyeurs, il est possible que certaines bouteilles tombent lors de changement de direction [**Chute des bouteilles**]. Ceci est dû aux pressions que les bouteilles exercent les unes sur les autres ainsi qu'à une mauvaise lubrification des convoyeurs qui implique une mauvaise glissance des bouteilles. Ces chutes sont assez rares et un contrôle de la lubrification sur les lignes de conditionnement est réalisée de manière régulière par la société *Sopura*.

Le tunnel de pasteurisation est également responsable de quelques bouteilles perdues. Les jets d'eau qui aspergent les bouteilles sont assez puissants et peuvent provoquer la chute de quelques bouteilles [**Chute des bouteilles**].

Toutefois, un autre problème majeur dans le tunnel de pasteurisation provoque la perte de bouteilles. Cela se situe uniquement pour le produit "Hoegaarden Rosée". Ces bouteilles arrivent sur la ligne déjà décorées d'un "sleeve". Cependant, avec la chaleur dans le pasteurisateur, le sleeve se déchire et les bouteilles doivent être jetées [**Packaging défectueux**]. Ce problème a pour conséquence la perte 0.5% des bouteilles de Hoegaarden Rosée qui entrent dans le tunnel, soit environ la moitié des pertes sur ce produit. Le AMDEC en annexe confirme bien la criticité du problème pour ce produit.

Le résultat des mesures menées dans le cadre de ce projet a permis de mettre en évidence le défaut et de le traiter en urgence auprès de la société qui crée les sleeves des bouteilles.

Enfin, la troisième source de pertes de bouteilles se situe au niveau de l'aligneur des bouteilles [**Chute des bouteilles**]. Une explication et une analyse de ce problème est traitée spécifiquement à la section 5.4.

5.1.6 Zone 6 : Encartonneuse et Zone sèche

Cette zone, qui est assez large, est composée de la transition entre la zone humide et sèche (encartonneuse) et de la zone sèche en elle-même.

La source principale de pertes de bouteilles est l'encartonneuse. Des problèmes surviennent généralement lorsque des ventouses qui viennent attraper les bouteilles sont défectueuses [**Chute des bouteilles**]. Ce problème est essentiellement lié à des défauts mécaniques non récurrents que le service Maintenance gère lui-même.

Au niveau de la zone sèche, il y a très peu de pertes de bouteilles. Très rarement, il peut y avoir une chute de cartons à la palettiseuse ou à l'emballeuse⁴.

La mesure du nombre de bouteilles perdues en sortie de ligne ne correspond donc pas à des soucis d'ordre technique. Après recherches, il a été mis en évidence que certaines palettes non complètes à la fin d'une production étaient envoyées à des associations. Ces bouteilles étant

4. Ce problème n'a néanmoins connu aucune occurrence durant la phase de mesures

comptées en entrée de la zone mais pas en sortie, cela provoque des incohérences dans les mesures. Dans ce cadre précis, le système de mesures mis en place a permis de mieux réguler les sorties de flux non conventionnelles.

5.1.7 Zone 1 : "Déballeuse - Entrée soutireuse"

Cette zone est composée de convoyeurs de 80m de long et d'un aligneur des bouteilles à l'entrée de la soutireuse.

Les pertes de bouteilles dans cette zone peuvent être expliquées comme pour la zone 3, à l'exception du tunnel de pasteurisation.

Le fait de travailler sur l'aligneur de l'étiqueteuse va donc pouvoir être directement utilisé pour l'aligneur de la soutireuse si les résultats sont concluants.

5.2 Problème de sous-remplissage

A titre de rappel, le fonctionnement de la soutireuse est expliqué à la section 3.2.2.

Lors de la caractérisation d'un défaut de production comme le sous-remplissage de bouteilles de bière, il faut analyser la liste des paramètres qui peuvent influencer le remplissage des bouteilles. L'approche Six-Sigma consiste à réduire la variabilité de ces paramètres de manière à améliorer en continu la qualité de la production et donc de réduire les défauts.

5.2.1 Causes de sous-remplissage

Comme précisé dans le chapitre descriptif de la machine, le remplissage de la bouteille s'arrête de manière mécanique lorsque la bière dans la bouteille atteint le tube de retour d'air (ou canule). Dès lors, il est légitime de s'interroger sur la raison du remplissage non régulier des bouteilles. Les principales raisons sont les suivantes :

- **Problème mécanique** : Comme toutes les machines mécaniques, il est normal que certaines pièces s'usent. Un dysfonctionnement mécanique peut donc créer une variabilité au niveau du remplissage.
- **Vitesse de la machine** : Le fait d'augmenter la vitesse de la machine a deux conséquences. D'une part, le principe de remplissage avec le déflecteur est compromis par la vitesse de la bouteille. L'écoulement sur les parois est moins bien réalisé et la bière a tendance à mousser davantage (voir ci-dessous). D'autre part, la figure 3.6 précise les 7 étapes réalisées sur le carrousel du soutirage. Cependant, en augmentant la vitesse de la machine, la durée d'un tour de carrousel diminue et écourte donc le laps de temps pour effectuer les 7 étapes de soutirage. Sachant que les quatre premières étapes prennent le même temps peu importe

la vitesse de la machine, il est possible qu'à partir d'une certaine vitesse, il n'y ait plus le temps suffisant pour effectuer la phase complète de remplissage.

La machine tourne habituellement à 17 000 b/h. A cette vitesse, il n'y a pas de soucis de sous-remplissage dû à la vitesse du carrousel. L'unique impact de la vitesse sur le sous-remplissage des bouteilles est donc dû à l'augmentation du moussage.

- **Le moussage** : La mousse est la principale difficulté pour mettre de la bière en bouteille. Toutes les dispositions sont prises pour la réduire au maximum. Néanmoins, il subsiste de gros problèmes de "sur-moussage". La mousse est directement responsable du mauvais remplissage. En effet, elle va empêcher le gaz présent dans la bouteille de s'évacuer par la canule. Ceci aura pour conséquence d'arrêter prématurément le remplissage.

La suite de cette analyse consiste à comprendre plus en détails ces problèmes qui provoquent le sous-remplissage.

Dans un premier temps, les possibilités de réduire au maximum les répercussions des problèmes mécaniques vont être investiguées. L'unique solution pour atteindre un tel objectif est de réussir à limiter les problèmes mécaniques au maximum, ou du moins, assurer une réactivité suffisante des opérateurs pour limiter leur impact.

Ensuite, le sujet compliqué du moussage sera étudié. Une revue de tous les paramètres qui influencent d'une manière ou d'une autre la création de la mousse sera établie afin d'ensuite analyser les solutions potentielles qui permettraient de réduire le taux de sous-remplissage.

5.2.2 Système de contrôle du remplissage

Avant de se pencher sur les différents paramètres permettant de comprendre la raison du taux de sous-remplissage important, il est indispensable de bien comprendre comment fonctionne le système de contrôle du remplissage.

Le contrôle est constitué de deux détecteurs : pour le sous-remplissage et pour le sur-remplissage. La détection se fait par rayons X. La bouteille passe entre un émetteur et un récepteur. L'appareil émet un rayonnement qui traverse le produit à contrôler. Celui-ci est mesuré par le récepteur. Il transforme le signal en courant électrique en fonction de l'intensité du rayonnement détecté [Ishida].

L'émetteur et le récepteur sont placés à une certaine hauteur de manière à vérifier la présence de bière à cet endroit. Pour le contrôle du sous-remplissage, le détecteur est placé à la hauteur qui correspond à une contenance de 738 ml. Si le détecteur ne visualise pas la bière, la bouteille est rejetée. Par contre, pour le sur-remplissage, c'est la présence de la bière à une trop grande hauteur qui implique l'éjection.

Le système peut être visualisé à la figure 5.5.

Etant donné que la bière mousse hors de la bouteille à la sortie de la soutireuse, l'encrasse-



FIGURE 5.5 – Système de contrôle à la soutireuse

ment des détecteurs est rapide. Pourtant, il n'existe aucune procédure de nettoyage régulière pour l'organe de contrôle. Pour éviter que le contrôle puisse être altéré, une procédure de nettoyage a été mise en place de manière hebdomadaire.

Dans la suite de cette analyse, une vérification statistique va être réalisée pour vérifier que le système de détection éjecte effectivement les bouteilles défectueuses (sous-remplies).

5.2.3 Problèmes mécaniques

Le carrousel de soutirage est composé de 77 robinets où viennent se placer les bouteilles pour être remplies. Après avoir accueilli des milliers de bouteilles, il est normal que certains problèmes d'usure surviennent. Cependant, lorsque le fonctionnement d'un des robinets est altéré, il n'est pas évident de le repérer. En effet, même si les bouteilles qui sortent de ce robinet ont un taux de rejet deux fois supérieur aux autres, le taux de rejet global restera presque inchangé.

Actuellement, il n'y a aucune procédure mise en place pour gérer ces problèmes mécaniques. Dès lors, deux manières de traiter ce problème sont prises en compte :

- les opérateurs identifient un taux de rejet important sans raison particulière et en déduisent des défauts dans la machine ;
- lors de l'arrêt de la ligne, une campagne de maintenance est réalisée "à l'aveugle" sur l'ensemble de la machine.

Cependant, il existe une solution pour rendre cette révision plus régulière mais plus ciblée. En effet, sur l'écran de contrôle de la machine, il est possible d'obtenir le nombre de rejets pour chaque robinet (figure 5.6). Malheureusement, comme pour l'utilisation de l'écran de contrôle pour mesurer les rejets de la machine, les résultats sont en permanence faussés à cause d'une remise à zéro permanente des données.

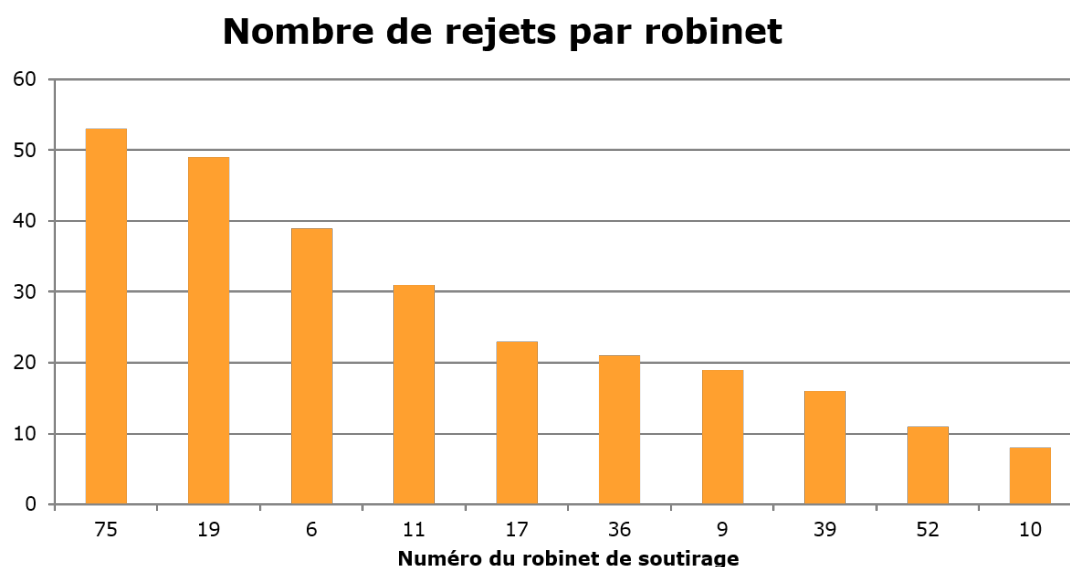


FIGURE 5.6 – Obtention des rejets par robinet de soutirage

En ne réinitialisant ce graphique que toutes les semaines, il est possible de créer une révision hebdomadaire des robinets défectueux.

Cet arrangement est typiquement un "*Quick Win*". Il consiste à réduire la quantité de défauts pour le produit par une simple procédure qui permet d'obtenir rapidement et simplement un gain financier. Il nécessite toutefois la mise en place d'un indicateur de mesures journalier par les opérateurs.

5.2.4 Problèmes liés au moussage

Création de la mousse

Les bulles des bières, champagnes et sodas divers ont toutes la même origine : du dioxyde de carbone dissout dans le liquide, qui repasse à l'état gazeux, donc sous forme de bulles, quand la pression baisse. Celle-ci peut baisser lors de l'apport d'énergie sous forme de secouage.

Le procédé qui permet d'empêcher que les bulles éclatent se trouve dans la composition de la bière. Contrairement aux sodas, il existe une molécule particulière dans la bière qui permet de conserver longtemps les bulles à la surface. Il s'agit de molécules tensio-actives. Ces molécules, présentes également dans les dissolvants, vont permettre de maintenir la paroi de la bulle. Ceci explique également pourquoi une bière moussera davantage s'il reste du savon dans un verre.

Dans la bière, ces molécules ont plusieurs origines. Elles sont issues du malt, du métabolisme de la levure mais surtout du houblon. La lupuline, présente dans le houblon, se dégrade pour

créer de l'humulone, qui se transforme à son tour pour créer de l'enIsohumulone (fig. 5.7). Ces dernières molécules ont une propriété curieuse : certaines de leurs extrémités, les terminaisons en formes d'antennes (qui correspondent à des groupes CH_3) sont hydrophobes, alors que d'autres, les groupes OH, sont plutôt hydrophiles. Cela implique que la molécule est tensio-active : le côté aimant l'eau s'y solubilisera (intérieur de la paroi de la bulle), l'autre restera dans l'air (extérieur de la paroi de la bulle). L'enveloppe de la bulle est par conséquent plus résistante et celle-ci subsiste donc plus longtemps.

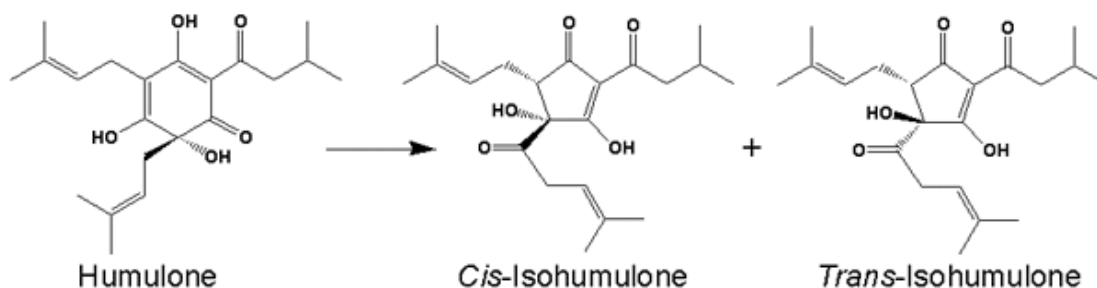


FIGURE 5.7 – Molécules tensio-actives dans la bière

Paramètres influençant le moussage

La création de la mousse est due à une diminution de la pression. La pression peut être modifiée de plusieurs façons :

- La pression de soutirage doit être fixée correctement ;
- La température de soutirage de la bière est importante. Celle-ci doit être la plus constante possible.
- Un écoulement turbulent lors du remplissage crée un apport d'énergie qui implique une diminution de la pression. L'écoulement est donc très important pour éviter le moussage de la bière.
- Enfin, le dernier paramètre à citer est la vitesse de fonctionnement de la machine qui peut perturber l'écoulement. Cependant, même si une réduction de la vitesse permettait une réduction des rejets, cette option n'est pas valable au niveau de la productivité de la ligne.

La section précédente indique que les propriétés physico-chimiques de la bière influencent le moussage. Ainsi, une bière fortement houblonnée aura tendance à mousser davantage qu'une autre.

- Une vérification de l'influence du type de bière soutirée par rapport au taux de sous-remplissage sera réalisée. Cette analyse permettra de cibler les bières qui nécessitent une modification au niveau du remplissage et celles qui se soutirent bien.

Pression de soutirage

La pression de soutirage est déterminée par rapport à la saturation en CO_2 dans la bière. Une pression inférieure engendrerait une libération du dioxyde de carbone dans la bière pour créer les bulles. Malgré le grand nombre de sortes de bières produites sur JB2.2, il est facile de déterminer la bonne pression. En effet, tous les produits, excepté la Leffe Triple et la Hoegaarden Blanche, ont la même pression de saturation.

La pression de saturation fait partie du *programme de soutirage*. Il s'agit d'un ensemble de paramètres qui sont définis sur l'écran de contrôle de la machine par rapport à la bière à soutirer.

Température de la bière à soutirer

Une analyse de la température de la bière à soutirer a été effectuée. Un capteur de température placé dans le dôme permet de connaître à chaque instant la température à l'intérieur. La figure 5.8 représente l'évolution de la température dans le dôme de la soutireuse durant toute une journée de production de Leffe Blonde.

La température dans la cuve est fixée à $4^{\circ}C$ et est considérée comme idéale au soutirage de la bière. Cette température est définie à partir d'un compromis entre le moussage du produit et l'énergie nécessaire pour stocker la bière à la température requise⁵.

Cependant, en regardant l'évolution sur une journée, la température est variable dans le dôme. Ceci est dû au fait que la soutireuse subit régulièrement des arrêts à cause de pannes situées en aval sur la ligne. Une fois arrêté, le dôme n'étant pas réfrigéré, la température dans celui-ci va augmenter par échange thermique avec la température ambiante.

Pour réduire la variabilité de la température dans le dôme, un refroidisseur permettrait de "retirer" de la chaleur de la bière pour la stabiliser à $4^{\circ}C$ en permanence.

Toutefois, en vérifiant les pertes de bouteilles dans la base de données pour la soutireuse au moment où la température est élevée, le taux de rejet n'est pas supérieur aux pertes habituelles. Cette conclusion clôt l'idée d'une potentielle amélioration pour rendre constante la température.

Écoulement lors du remplissage

L'écoulement dépend de la forme de la bouteille et du système de déflecteur qui impose l'écoulement. Le déflecteur est étudié par la société *Krones* qui a fabriqué la soutireuse et qui s'occupe de l'étude de l'écoulement dans les bouteilles. Une modification du système

5. Le fait d'élever la température implique un moussage plus important mais réduit les frais énergétiques de refroidissement du produit.

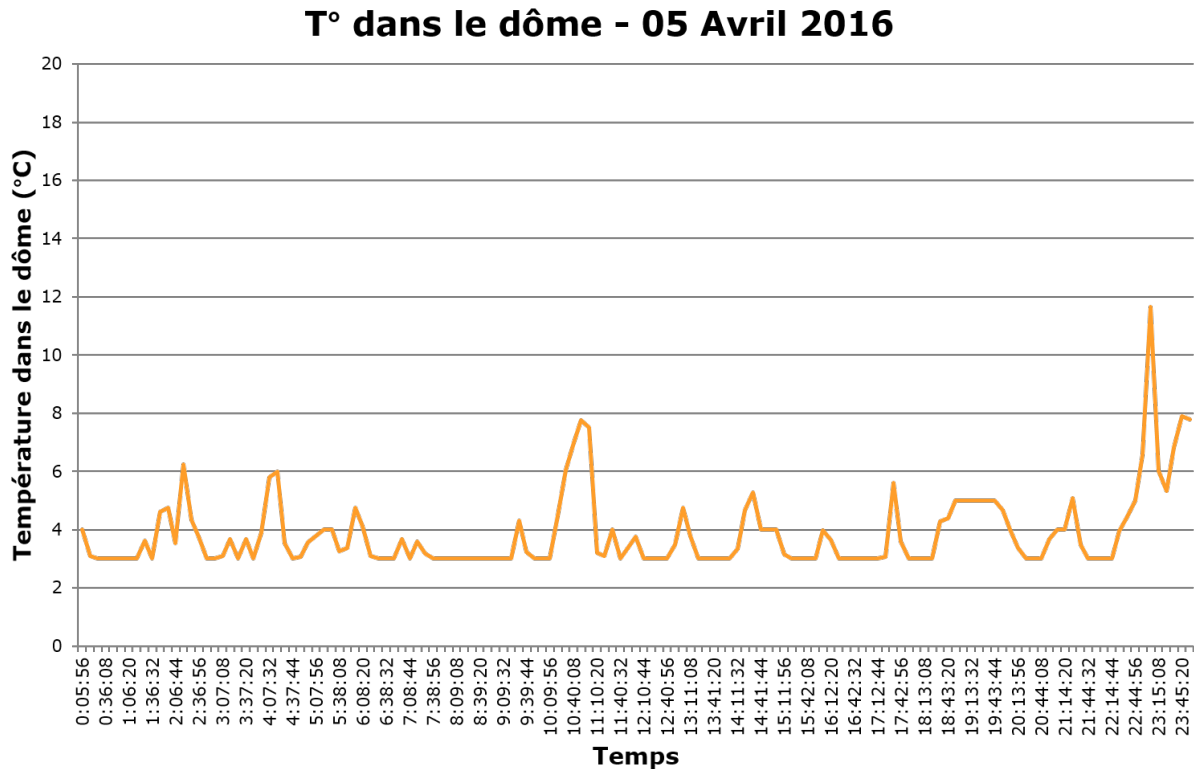


FIGURE 5.8 – Température de la bière dans le dôme de la soutireuse (5 Avril 2016)

d'écoulement est très complexe et, dans le cadre de ce travail, il n'est pas possible d'imaginer modifier ce système.

Influence du type de bière

L'obtention de ces résultats est une opération délicate. Il est nécessaire de réutiliser les données des compteurs utilisés précédemment.

Les données du compteur C_7 obtenu via le logiciel *SABIN* fournissent, en plus de la quantité de produits sortis de la ligne, l'heure de début et de fin de la période où les produits finis sont envoyés vers la *Logistique*. Connaissant approximativement le temps de parcours entre la soutireuse et la sortie de la ligne, il est possible de retrouver la période pendant laquelle un type de bière est soutiré.

Pour avoir un échantillon suffisamment important de données à analyser, l'exercice a été réalisé manuellement sur base hebdomadaire. La figure 5.9, indique le taux de rejet de la soutireuse pour chaque type de bière. Le diagramme a été organisé sous forme de Pareto de manière à visualiser facilement quelles sont les bières qui posent problème.

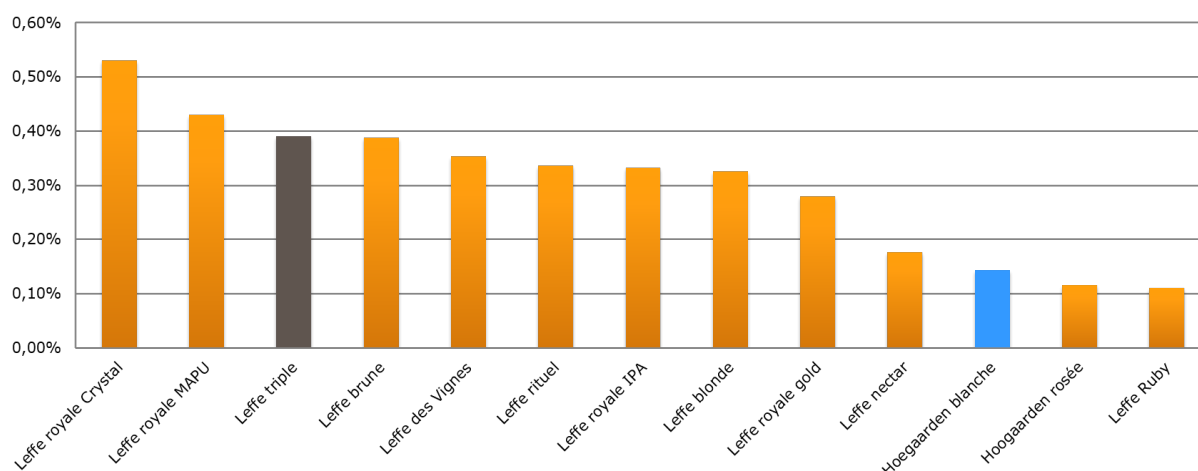


FIGURE 5.9 – Diagramme Pareto des taux de pertes de bouteille à la soutireuse en fonction du type de bière

Le taux de rejet varie fortement d'une bière à l'autre. La Leffe Royale Crystal a un taux de rejet cinq fois plus grand que celui de la Leffe Ruby. Il est à noter que la Hoegaarden Blanche et la Leffe Triple ont été représentées dans une autre couleur du fait du comportement de fermentation fort différent des autres.

Compte tenu des différents paramètres analysés auparavant et du fait que ceux-ci sont fixés de la même façon pour tous les produits étudiés, la différence des rejets est uniquement due à un moussage différent. Les bières au plus faible taux de rejet sont les bières fruitées (Leffe Ruby, Hoegaarden Rosée et Leffe Nectar). Ceci consolide l'idée que le moussage dépend directement des propriétés de la bière. Ces bières ayant moins de houblon, le nombre de molécules tensio-actives sera moins important que pour les autres bières.

Conenance des bouteilles et vérification du système de contrôle

La contenance moyenne pour chaque bière ainsi que l'écart-type de cette contenance a été analysé. A chaque nouvelle production, le laboratoire prélève dix bouteilles pour faire une analyse de la contenance afin de vérifier que le début de production est normal. Ces résultats ont été utilisés pour calculer la contenance moyenne pour chaque bière sur une longue période. Les résultats sont donnés dans le tableau 5.1.

La figure 5.10 permet d'avoir une bonne visualisation du taux de rejet par rapport à la contenance moyenne des bouteilles.

Les résultats obtenus semblent cohérents. Il est normal que le taux de rejet de la machine soit plus grand si la contenance moyenne pour ce type de bière est faible, et inversement. De plus, cette analyse correspond tout à fait aux observations réalisées sur la ligne. Lorsque la Leffe Ruby est soutirée, celle-ci ne mousse pratiquement pas. Si la bière mousse moins, la quantité

Type de bière	Contenance moyenne (ml)	Ecart-type (ml)
Leffe Blonde	750.88	3.78
Leffe Brune	750.31	3.92
Leffe Rituel 9°	750.56	4.45
Leffe Royale Gold	749.54	4.07
Leffe Royale Mapuche	749.64	3.78
Leffe Royale Cascade IPA	750.62	2.95
Leffe Royale Crystal	750.87	4.27
Leffe des Vignes	748.95	3.87
Leffe Nectar	754.65	3.37
Leffe Ruby	756.63	3.53
Hoegaarden Rosée	754.96	3.91

TABLE 5.1 – Contenance moyenne et écart-type pour chaque type de bière

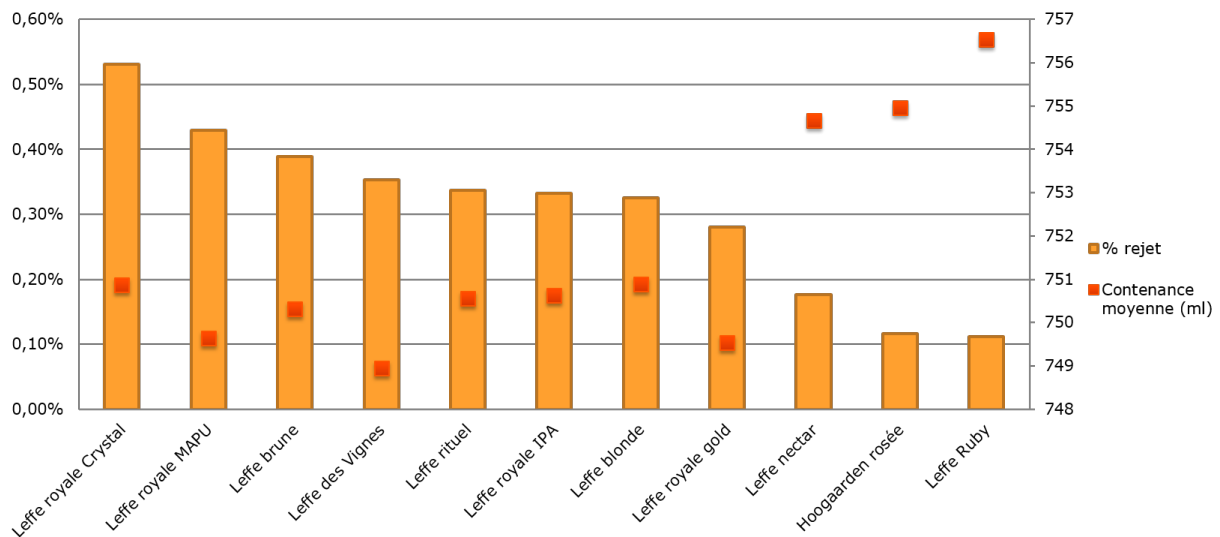


FIGURE 5.10 – Comparaison du taux de rejet avec la contenance moyenne

de liquide injecté pour atteindre l'extrémité du tube de retour d'air sera plus grande et donc la bouteille sera plus remplie que les autres.

L'écart-type, quant à lui ne suit aucune logique particulière. On remarque qu'il varie aux alentours de $\sigma = 4\text{ml}$ peu importe le type de bière.

En considérant une loi normale $\mathcal{N}$ pour la contenance et en utilisant les résultats obtenus ci-dessus, la probabilité d'avoir un sous remplissage pour une bouteille peut être calculé. En posant la moyenne $\mu = 750\text{ml}$ et sachant que la limite de sous remplissage correspond à 738ml , la probabilité d'avoir un rejet de la bouteille à la sortie de la machine se calcule ainsi :

$$\mathcal{N}(\mu, \sigma)$$

$$\mathcal{Z} = \frac{X - \mu}{\sigma}$$

$$p(X < 738) = p\left(\mathcal{Z} < \frac{738 - 750}{4}\right) = p(\mathcal{Z} > -3)$$

$$p \approx 0.002 \Rightarrow p \approx 0.2\%$$

Le taux de rejet calculé par la loi normale correspond relativement bien aux analyses de mesure réalisées auparavant.

Le graphique de la loi normale (fig. 5.11) en considérant les données citées ci-dessus est obtenu à partir de la formule générale :

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(X - \mu)^2}{2\sigma^2}\right)$$

La zone orange correspond à la probabilité que la bouteille ne soit pas rejetée par le contrôleur.

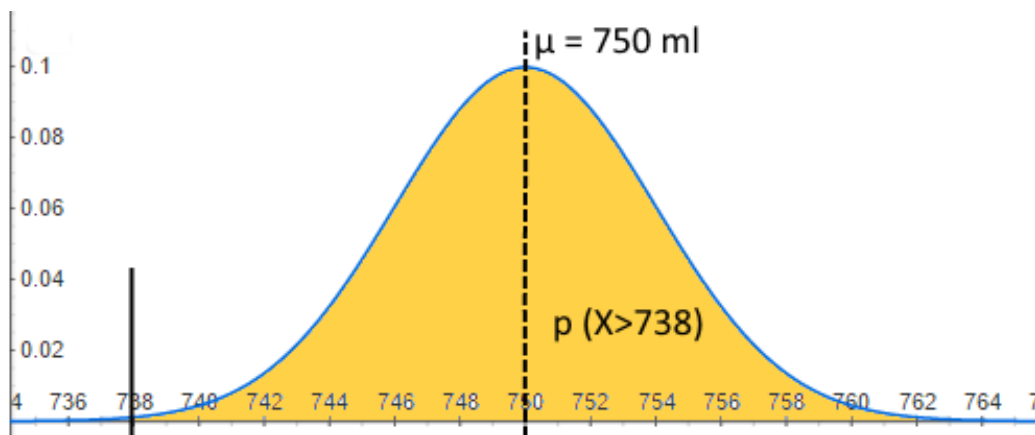


FIGURE 5.11 – Loi normale avec $\mu = 750$ et $\sigma = 4$

De ces constats, une information importante est tirée : **le système de contrôle du remplissage semble rejeter convenablement les bouteilles.**

5.2.5 Solutions pour réduire le sous-remplissage

Après avoir analysé tous les paramètres qui pouvaient influencer le remplissage des bouteilles, deux procédures à mettre en place ont été identifiées :

- Procédure de nettoyage du système de contrôle : pour être certain de la fiabilité du système de contrôle, il est nécessaire que celui-ci soit bien entretenu.
- Procédure d'entretien hebdomadaire de la soutireuse : le fait de contrôler de manière hebdomadaire les robinets défectueux sur la soutireuse permet d'éviter qu'un souci technique occasionne des pertes de bouteilles trop longuement.

L'objectif désormais est de trouver d'autres solutions pour réduire les pertes dues au sous-remplissage. Un résumé de toutes les observations effectuées jusqu'ici a été réalisé pour visualiser quelles options sont à envisager :

- Le système de contrôle du remplissage n'est pas le problème.
- La pression de soutirage est fixée à sa valeur idéale et il n'est pas question de la modifier.
- La variabilité de la température de la bière dans le dôme n'est pas idéale mais n'est pas responsable d'une hausse du taux de rejets.
- L'écoulement de la bière est une cause importante du sur-moussage mais une modification de celle-ci est trop complexe pour être étudiée en interne.

Méthode de sur-remplissage

L'absence de solutions par rapport à la modification de ces paramètres a conduit l'analyse vers une solution annexe : le sur-remplissage des bouteilles. En effet, en regardant la Leffe Ruby, on remarque que le taux de rejet très faible de ce produit peut s'expliquer par sa contenance moyenne élevée (756ml). Dans ce cas, la grande contenance est due au fait que cette bière mousse très peu.

Pour augmenter la contenance des produits problématiques, il faut modifier le système de remplissage. Un sur-remplissage est facilement réalisable en modifiant la taille des tubes de retour d'air. En effet, en réduisant la taille de ces tubes, une quantité supérieure de bière pourra être injectée dans la bouteille avant que le remplissage s'arrête. La figure 5.12 représente le remplissage d'une canule coupée.

Cependant, cette solution peut permettre de réduire la quantité de bouteilles perdues, mais il faut vérifier que financièrement cela soit rentable pour la société. En augmentant la contenance moyenne de toutes les bouteilles, une quantité de bière importante sera perdue. Pour que le résultat soit positif, il faut que la réduction des rejets à la sortie de la machine donne un bénéfice financier plus grand que la perte due à la bière excédentaire placée dans toutes les bouteilles.

L'étude financière pour le sur-remplissage doit être faite pour un produit en particulier (le prix de la bière variant d'un produit à l'autre). Afin de rendre la démarche plus efficace, le choix a été établi sur base d'une priorisation des rejets. Le pareto de la figure 5.13 est pondéré par rapport au taux de rejet et de la production annuelle de chaque bière.

Sur base de cette analyse, la Leffe Blonde constitue la priorité absolue. En effet, faisant partie des produits les moins bien soutirés, elle représente en plus 40% de la production annuelle

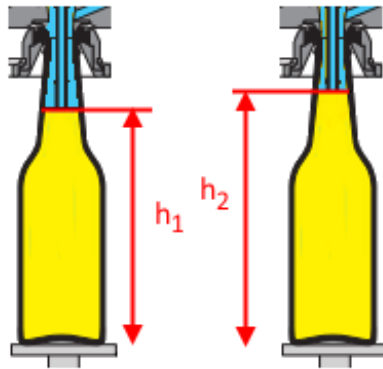


FIGURE 5.12 – Sur-remplissage des bouteilles en réduisant la taille des canules

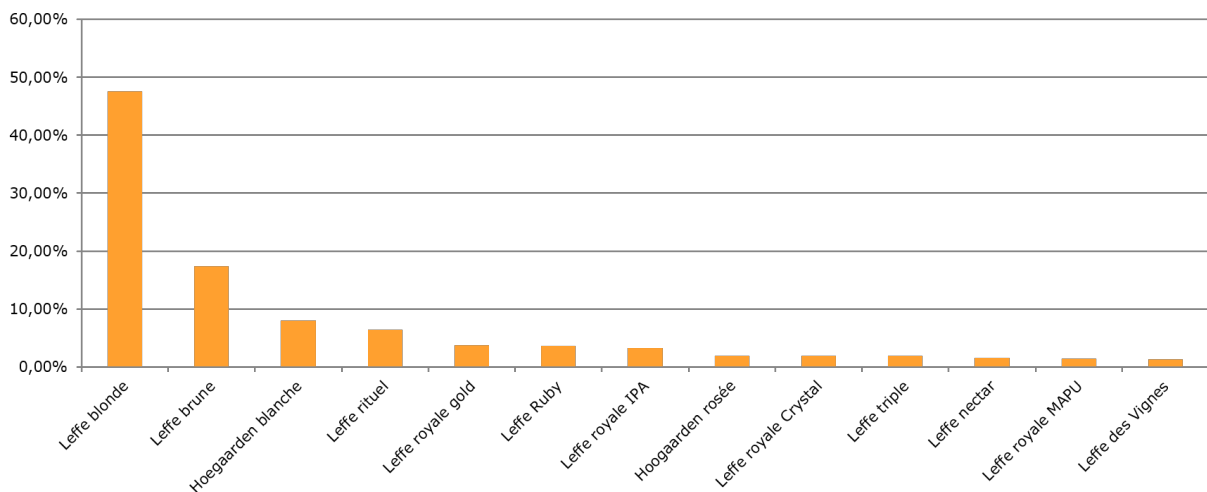


FIGURE 5.13 – Taux de rejet pondéré par la production annuelle de chaque produit

de la ligne. Pour la suite, tous les calculs, analyses et tests seront effectués sur le produit Leffe Blonde.

L'analyse financière du sur-remplissage se base sur la situation actuelle pour calculer le bénéfice.

Soient les hypothèses suivantes :

- Prix bouteille "Champagne" : 0.23 €/u
- Prix Leffe Blonde : 9.25 €/hl
- Taux de rejet actuel (initial) : 0.32%
- Contenance moyenne actuelle (initiale) : 751 ml
- Production de Leffe Blonde : Prod = 10 000 000 bt/an

Initialement, la coût de la perte de bouteille (€) est :

$$C_{bt,i} = \frac{0.32}{100} \cdot \text{Prod} \cdot 0.23$$

et le coût de la bière (€) :

$$C_{b,i} = \frac{0.32}{100} \cdot \text{Prod} \cdot 735 \cdot 9.25 \cdot 10^{-3}$$

En considérant que l'on atteigne par sur-remplissage un taux de rejet R et une contenance moyenne Cont , il est possible de calculer les nouveaux coûts dus aux pertes de bouteilles et de bière (€) :

$$C_{bt} = \frac{R}{100} \cdot \text{Prod} \cdot 0.23$$

$$C_b = \frac{R}{100} \cdot \text{Prod} \cdot 735 \cdot 9.25 \cdot 10^{-5}$$

Il faut également ajouter le coût de surplus de bière dans chaque bouteille (€) :

$$\Delta C = (\text{Cont} - 751) \cdot \text{Prod}$$

Pour connaître le bénéfice financier obtenu en réduisant le taux de rejet de la Leffe blonde à R , en ayant une contenance moyenne Cont :

$$\text{Gain} = C_{bt,i} + C_{b,i} - (C_{bt} + C_b + \Delta C)$$

Un tableau Excel a été créé pour connaître le bénéfice en fonction des nouveaux taux de rejet et contenance moyenne⁶.

Les résultats obtenus sont positifs. En effet, un gain de 5000 € est réalisé sur un an en augmentant le contenance moyenne à 754ml avec un nouveau taux de rejet de 0.11%. Sachant que ces résultats sont obtenus uniquement pour la Leffe Blonde, un gain de 9000 € peut être obtenu au total.

Proposition de nouvelles canules

Avant de raccourcir les canules pour effectuer cette méthode de sur-remplissage, une prise de contact avec la société *Krones* qui s'occupe de la soutireuse a été effectuée pour obtenir leur avis.

6. Tableau fourni en annexe

Après discussion, une autre solution a été proposée; il s'agit de nouvelles canules de leur invention utilisées pour des applications sensibles : ce sont des **canules à spirales** (fig. 5.14). L'écoulement en spirales est déjà régulièrement utilisé en médecine pour rendre l'écoulement laminaire pour la perfusion [Tessier, 2004].

La modification se situe au niveau de l'écoulement. Le système est utilisé pour créer un mouvement en spirales du liquide sur les parois de la bouteille. Cet effet de spirale réduit la vitesse d'écoulement du liquide dans la bouteille. Ceci a pour effet de réduire la turbulence et ainsi réduire le moussage. Le fait de pouvoir diminuer la vitesse d'écoulement sur la paroi permet de remonter le déflecteur. Ainsi, la bière est projetée au niveau du goulot, ce qui réduit la distance de projection et donc la turbulence.

Dès lors, son utilisation pour les produits à fort rejet à cause du moussage pourrait permettre de réduire de manière conséquente la quantité de bouteilles perdues. Ces canules vont être testées dans la phase *Improve & Control*.



FIGURE 5.14 – Comparaison entre les canules à spirales et les ordinaires

5.3 Désynchronisation de la bouchonneuse-museleuse

Depuis le début de ce travail, la bouchonneuse et la museleuse sont toujours considérées comme un ensemble formant une seule machine. En effet, celles-ci se suivent de très près et travaillent en synchronisation. Cette synchronisation est réalisée à l'aide d'un moteur commun aux deux machines qui fait tourner l'axe central de chacune d'elles. La figure 5.15 illustre la synchronisation.

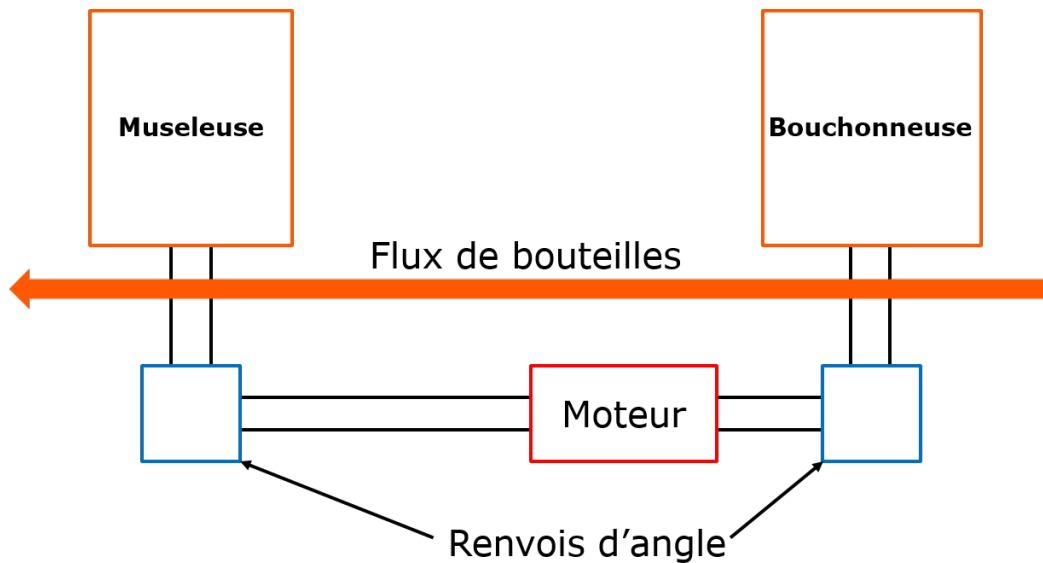


FIGURE 5.15 – Synchronisation de la bouchonneuse et de la museleuse

Le moteur commun se charge de faire tourner un arbre orienté horizontalement. A l'aide de renvois d'angle, cet arbre met en mouvement les axes centraux verticaux des deux entités.

Comme précisé à la section 5.1.4, la machine est sujette à des soucis de désynchronisation. Lorsque la machine subit cet effet, les bouteilles qui défilent ne sont plus en "phase" avec le carrousel, ne peuvent pas se placer aux endroits appropriés et chutent.

Le système de synchronisation étant relativement simple, les sources potentielles du problème sont limitées. Il est en effet pratiquement assuré que le problème se trouve à la transmission du mouvement entre les arbres, soit aux renvois d'angle.

5.3.1 Etude du renvoi d'angle

Un renvoi d'angle (fig. 5.16) est un dispositif mécanique conçu pour des applications industrielles nécessitant la transmission d'un mouvement rotatif de puissance entre 2 arbres perpendiculaires. La transmission est réalisée à l'aide de deux pignons fixés sur les arbres par frettage [Redex].

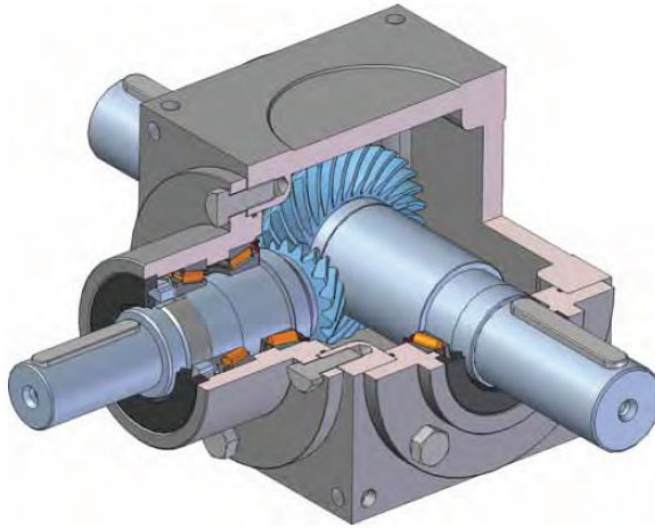


FIGURE 5.16 – Renvoi d'angle

Les renvois d'angle utilisés ici sont de la marque *Redex Andantex*. Le rapport de réduction est $Z = 1$, ce qui signifie que les arbres verticaux tournent à la même vitesse que l'arbre moteur horizontal. A l'intérieur d'un renvoi d'angle, les sources les plus probables d'une désynchronisation sont :

- Pignons usés : Certaines dents du pignon sautent.
- Glissement dû à un mauvais assemblage entre certaines pièces.
- Clavette cassée.

La figure 5.17 représente de manière schématisée un renvoi d'angle pour faciliter la compréhension des potentielles sources du problème.

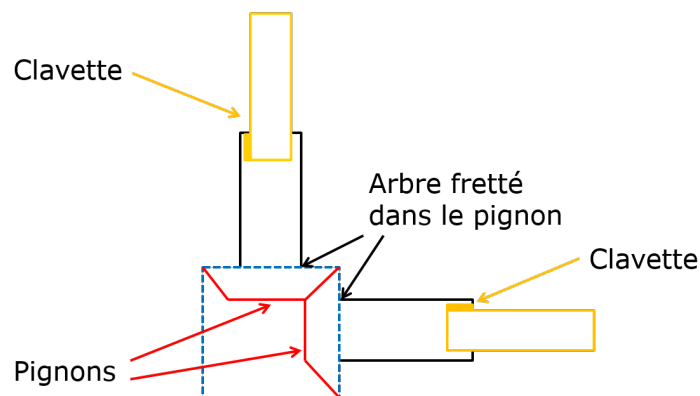


FIGURE 5.17 – Schéma du renvoi d'angle

Après démontage d'un renvoi d'angle défectueux, les différentes sources potentielles ont été

analysées. La clavette et les dents des pignons étant intactes, le problème survient dès lors d'un glissement entre deux pièces. Les seuls assemblages réalisés sont les arbres frettés dans les pignons.

5.3.2 Problème du frettage

Depuis deux ans, le département *Maintenance* a décidé de faire réviser les renvois d'angle en interne. En effet, ceux-ci ont besoin d'une révision tous les six mois et la révision proposée par le fabricant coûte 5000 Euros. Une révision en interne d'un renvoi d'angle coûte environ 1500 Euros.

Lors de la révision des renvois d'angle, ceux-ci sont démontés pour être vérifiés et un nouveau frettage est réalisé en interne. Ainsi, l'arbre à fretter est commandé à une société extérieure sur base des mesures réalisées sur un ancien arbre à l'époque où la révision était réalisée par *Redex Andantex*.

Le frettage est un assemblage de deux pièces grâce à un ajustement serré. L'assemblage est réalisé avec des tolérances d'usinage de manière à empêcher un montage à la main. Pour réaliser un frettage, il faut que la pièce extérieure (dans ce problème, le pignon) ait un diamètre intérieur (D_e) inférieur au diamètre de l'arbre à fretter (D_a). Le serrage entre les deux pièces dépend donc de la différence entre les deux diamètres. Ce serrage est évidemment très important car c'est lui qui indique si l'assemblage pourra supporter un couple transmissible suffisant.

Des mesures ont été réalisées sur un arbre en stock pour vérifier si les arbres commandés à la société extérieure correspondent bien au plan fourni⁷. Ces mesures sont obtenues avec des micromètres (palmer) vu la nécessité de travailler à l'ordre du centième de millimètre.

Valeur mesurée de D_e	60.05 mm
Valeur de D_e sur le plan	60.13 mm
Valeur de D_a	60.04 mm
Serrage actuel	0.01 mm
Serrage voulu	0.09 mm

TABLE 5.2 – Mesure du serrage sur pièces de renvoi d'angle

Comme le montre le tableau 5.2, la valeur de D_e n'est pas exacte. Cette erreur de fabrication de l'arbre induit un serrage de 0.01 mm au lieu de 0.09 mm.

Le couple transmissible est directement proportionnel à la valeur du serrage. Si le serrage est neuf fois moins grand, le couple transmissible sera également réduit de la même façon. Ceci explique que lorsque la vitesse de la machine est trop grande ou lors d'un arrêt brusque, le couple est trop important et l'assemblage glisse.

7. Voir annexe

5.4 Etude de l'aligneur étiqueteuse

Le but d'un aligneur est de passer d'un convoyeur à plusieurs bouteilles pouvant avancer de front à un convoyeur qui présente les bouteilles en file unique. Il s'agit d'un système de convoyeur en forme de triangle qui utilise une variation de vitesse entre des convoyeurs successifs pour permettre aux bouteilles de se rabattre les unes derrières les autres. Les convoyeurs sont légèrement penchés de manière à faciliter le rabattement des bouteilles. La figure 5.18 schématise le principe de l'aligneur. L'alignement se réalise sur une longueur de 5,5m. Pour la suite, les notations C_1 , C_2 et C_3 seront utilisées pour parler des convoyeurs du plus lent au plus rapide.

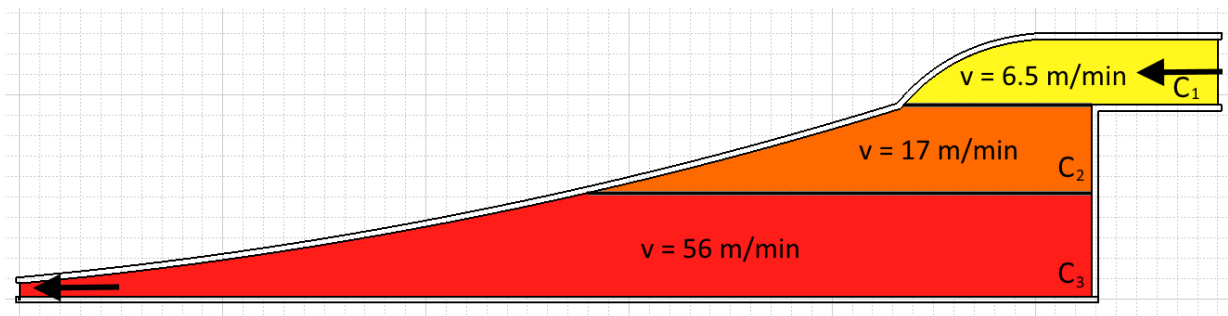


FIGURE 5.18 – Schéma d'un aligneur

L'accès à l'aligneur de l'étiqueteuse est très contraignant car celui-ci est situé entre de nombreux convoyeurs. Dès lors, étant donné que les opérateurs sont très rarement à proximité de l'aligneur, il est difficile d'avoir des comptes-rendus de la perte de bouteilles à cet endroit de la ligne.

Après observations, deux raisons principales de pertes à l'aligneur de bouteilles ont été relevées :

- Lorsque les bouteilles sont à l'arrêt (bourrage de l'étiqueteuse), les bouteilles situées sur C_1 (56m/min) sont susceptibles de tomber lorsque les convoyeurs redémarrent.
- Lorsqu'une bouteille n'arrive pas à s'aligner à temps et qu'elles arrivent donc à deux de front à la fin de l'aligneur, une bouteille est éjectée dans un bac extérieur.

5.4.1 Chute des bouteilles au redémarrage

Quand l'étiqueteuse s'arrête momentanément, un système de capteurs permet d'éviter que les convoyeurs continuent à tourner et que les bouteilles s'amassent à l'entrée de l'étiqueteuse. Le système est réalisé à la base de manière à arrêter C_1 et C_2 de l'aligneur, et de laisser C_3 fonctionner un peu plus longtemps pour dégager les bouteilles présentes.

Le problème actuel réside dans le fait que des bouteilles situées à la base sur le convoyeur qui

tourne à 17m/min sont poussées par les autres bouteilles derrière elles, ce qui les positionne sur le C_3 .

La solution proposée est d'arrêter C_1 et C_2 consécutivement et non pas simultanément. En arrêtant C_1 2 secondes avant C_2 , les bouteilles sur ce dernier vont encore avancer de 50 cm. Ainsi, même si le flux de bouteille en amont a tendance à pousser les bouteilles sur l'aligneur, celles-ci vont être avancées sur C_2 , mais pas jusque C_3 .

5.4.2 Mauvais alignement des bouteilles

L'alignement des bouteilles doit être réalisé par la différence de vitesse entre les différents convoyeurs. Lorsque deux bouteilles arrivent de front, celle située sur la gauche (dans le sens du flux de bouteilles) va pénétrer en premier lieu sur le convoyeur rapide. Dès lors, celle-ci va dépasser la bouteille de droite et se rabattre devant, aidée par l'inclinaison des convoyeurs.

Cependant, il arrive que des bouteilles ne trouvent pas de place pour se rabattre car une bouteille est déjà à cet position. Si ce problème persiste jusqu'au convoyeur "unitaire", la bouteille de gauche va être éjectée dans un bac de chute.

Modifier les vitesses des convoyeurs

La première solution envisagée était de modifier la variation de vitesse des convoyeurs permettant de réduire les situations de mauvais alignement. Une méthode imaginée était de créer une modélisation du flux de bouteilles à l'aligneur et ensuite faire varier à volonté les vitesses des convoyeurs de manière à trouver les vitesses idéales.

Cette solution a finalement été abandonnée car il était fort peu probable d'avoir des résultats convaincants. En effet, une expérimentation de nombreux sets de vitesses au niveau des convoyeurs a déjà été réalisée et permis d'établir que la solution utilisée actuellement est la plus efficace.

Par ailleurs, une modélisation d'un flux de bouteilles est actuellement réalisée dans le cadre d'un autre travail. Si les résultats s'avèrent positifs, il est envisageable par la suite de l'utiliser pour cette application.

Adaptation d'un bras de rabatement

Une opération de *benchmark*⁸ a donné une solution alternative pour éviter de perdre des bouteilles à l'aligneur. Celle-ci consiste à réaliser un bras qui va rabattre les bouteilles mal

8. Technique de marketing ou de gestion de la qualité qui consiste à étudier et analyser les techniques de gestion, les modes d'organisation des autres entreprises afin de s'en inspirer et d'en tirer le meilleur.

positionnées. Ce bras doit être placé de manière à éviter les bouteilles bien alignées tout en repoussant les bouteilles non rabattues.

La difficulté majeure est de conserver la stabilité des bouteilles lorsque celles-ci entrent en contact avec le bras. En effet, la vitesse étant de 56m/min et en considérant un choc élastique avec un bras fixe, la conservation de la quantité de mouvement indique que la bouteille va être repoussée à une vitesse importante vers le flux de bouteilles. Les chocs résultant entre les bouteilles vont provoquer des chutes intempestives.

Dès lors, pour éviter un choc trop violent avec les bouteilles, la solution serait d'imaginer un bras qui peut se fléchir légèrement pour atténuer la collision. Il existe deux solutions différentes :

- Fabriquer un bras dans un matériau flexible. La flexion du bras serait utilisée pour réduire le choc tout en exerçant une force de rabattement sur la bouteille.
- Fabriquer un bras rigide fixé sur une charnière de manière à le rendre mobile. L'utilisation d'un ressort ferait office de force de rappel pour rabattre les bouteilles.

De plus, l'utilisation d'un bras courbé plutôt que droit va permettre un rabattement "en douceur" de la bouteille et réduire davantage le choc.

Sur base de ces idées, utiliser un matériau flexible a été imaginé et est très facile au niveau du dispositif. Un bras réalisé dans un matériau flexible et encastré à son extrémité suffit à réaliser l'opération nécessaire (fig. 5.19).

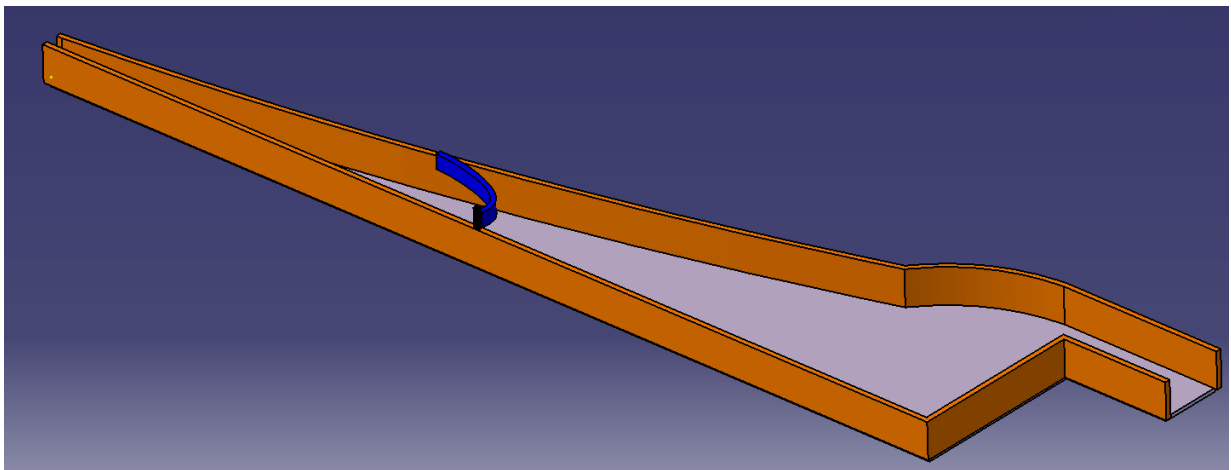


FIGURE 5.19 – Représentation 3D de l'aligneur avec le bras courbé

Cependant, imaginer un bras courbé et flexible qui pourrait convenir à cette application est très compliqué au niveau du dimensionnement. De plus, après avoir effectué quelques tests avec des matériaux de récupération (bras en polyéthylène), il s'est avéré que le bras sous flexion régulière avait tendance à subir une déformation permanente. Si changer le bras n'est pas onéreux, une opération de maintenance supplémentaire sur la ligne n'est pas appréciable.

Finalement, la deuxième solution de mobilité du bras est choisie. Le mécanisme est représenté à la figure 5.20.

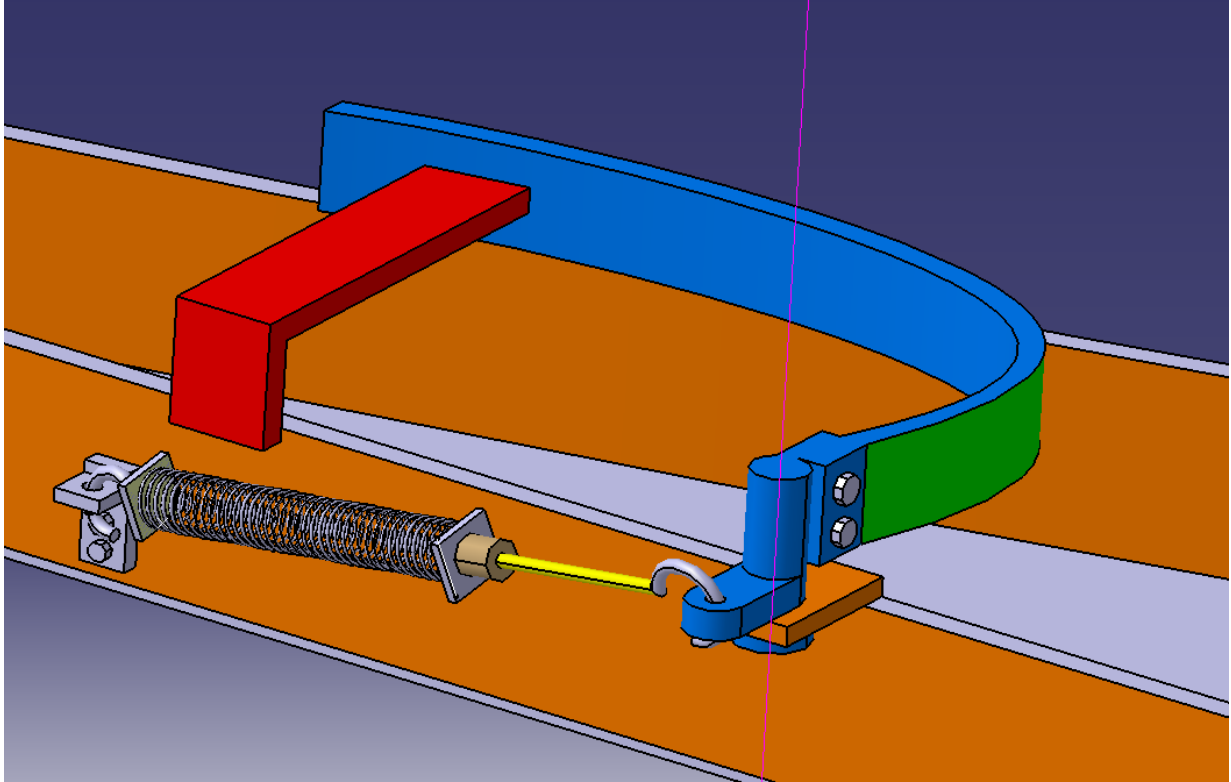


FIGURE 5.20 – Représentation 3D du mécanisme

Ce mécanisme est imaginé sur base d'un dispositif déjà présent dans l'entreprise sur une autre ligne de production pour une application similaire. La partie bleue représente le système rigide et mobile du bras. Elle est en rotation autour de l'axe rose. Lorsqu'une bouteille est mal rabattue, elle vient toucher le bras. Ceci provoque une rotation de l'élément bleu qui va augmenter la longueur du ressort (traction). Ce ressort est précontraint initialement ; cela signifie qu'une force de rappel permanente pousse le bras à se rabattre. Cette force de rappel peut être modifiée grâce à la tige filetée jaune. Ainsi, il est possible de changer la raideur du dispositif pour obtenir la force de rappel optimale dans notre application.

Le ressort étant précontraint, l'élément rouge permet de bloquer le bras à sa position initiale. Enfin, la partie verte représente un matériau assez mou, pour éviter d'abîmer la bouteille en contact avec le bras.

La figure 5.21 représente une vue globale de l'aligneur équipé du bras de rabattement.

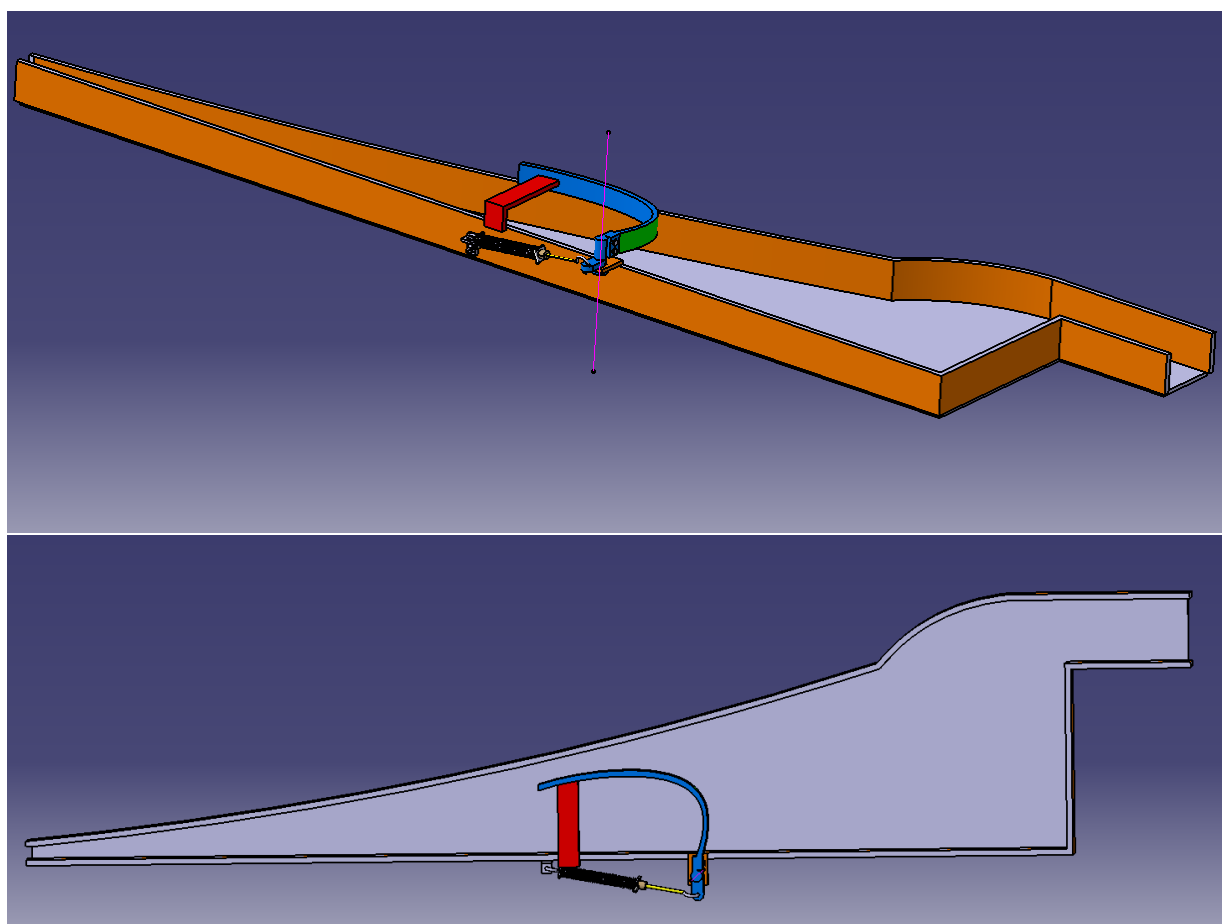


FIGURE 5.21 – Représentation 3D de l'aligneur avec le bras de rabattement

Chapitre 6

Phase *Improve & Control*

La quatrième et cinquième phase de la méthode Six-Sigma consiste à mettre en place des solutions techniques, pour ensuite contrôler les résultats de celles-ci.

Toutes les analyses effectuées à la phase précédente ont été suivies d'actions prises sur la ligne. Si certaines ne sont pas encore complètement implémentées sur la ligne, des plans sont réalisés en vue de les mettre en place.

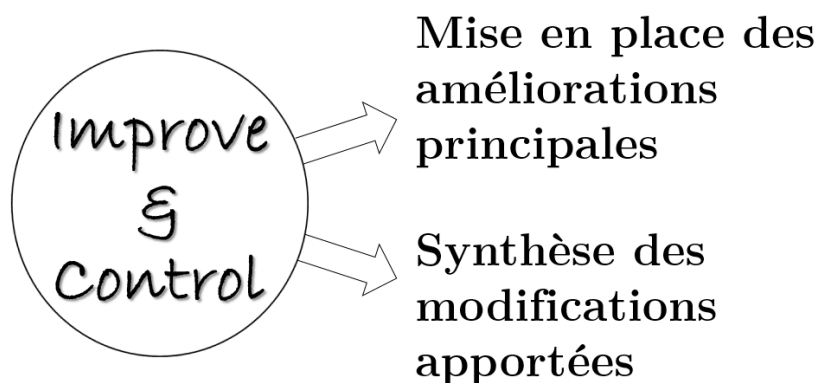


FIGURE 6.1 – Phase Improve & Control

6.1 Amélioration du remplissage de la soutireuse

6.1.1 Test des canules à spirales

Les canules à spirales proposées par *Krones* sont testées pendant la production de Leffe Blonde. En conservant les mêmes paramètres qu’avec les canules habituelles, trois canules à spirales sont placées dans la machine. Il est important de placer plusieurs canules pour réaliser les tests de manière à minimiser l’impact des problèmes mécaniques dans la machine. Dans le même ordre d’idée, les trois robinets sont choisis en évitant les robinets ayant un grand nombre de rejets (visible à l’écran de contrôle - voir section 5.2.3).

L’objectif est de tester la contenance moyenne des bouteilles obtenues en utilisant les nouvelles canules. Le système de contrôle de la machine permet de rejeter systématiquement les bouteilles des robinets sélectionnés. Cette fonction facilite grandement l’expérimentation.

Les tests sont réalisés en prenant dix échantillons et en faisant varier la vitesse de la machine respectivement à 12,000, 15,000, 16,000 et 17,000 bouteilles par heure. Au total, quarante bouteilles ont donc été subtilisées à la ligne pour les essais. La contenance de chaque bouteille est mesurée au laboratoire du Packaging. Une balance, programmée spécialement pour les différents types de bières produites à Jupille, permet de calculer la contenance dans une bouteille. La mesure se fait en deux temps ; pesée de la bouteille remplie et pesée une fois la bouteille vidée et séchée.

Vitesse (b/h)	Contenance moyenne (ml)	Ecart-type (ml)
12 000	749.95	1.19
15 000	748.18	2.43
16 000	747.3	4.65
17 000	698.32	9.38

TABLE 6.1 – Résultats des tests des canules à spirales

Le tableau 6.1 représente les résultats des tests de canules à spirales. Jusqu’à 16 000 b/h, la contenance moyenne est satisfaisante mais malgré tout un peu faible (<750ml). Au niveau de l’écart-type, celui-ci est considéré comme très bon jusqu’à 15 000 b/h. A partir de 16 000 b/h, l’écart-type est supérieur à 4ml, ce qui représente une grosse variabilité.

Cependant, à 17 000 b/h, la vitesse habituelle de la soutireuse, on remarque qu’il y a un gros problème de sous-remplissage. En effet, la contenance moyenne se situe en dessous de 700 ml et l’écart-type est de pratiquement 10ml. Ce sous-remplissage important indique un problème au niveau de l’écoulement à grande vitesse. Il est difficile d’en comprendre la raison. Néanmoins, une hypothèse serait que la bière qui s’écoule ricoche sur l’élément en spirale de la canule. La bière ne pénètre plus efficacement dans la spirale et est éjectée hors de la bouteille.

Ces nouvelles canules ne sont donc pas une solution actuellement. En effet, sachant qu’il n’est

pas possible de considérer une vitesse plus faible que 17 000 b/h, les canules habituelles sont plus efficaces.

Néanmoins, un feedback de l'expérimentation a été envoyé à *Krones* qui va analyser en interne le problème pour améliorer le dispositif et peut-être proposer une nouvelle version de ces canules en spirales prochainement.

6.1.2 Sur-remplissage des bouteilles

L'utilisation des canules en spirales n'étant pas une solution actuellement, le sur-remplissage revient au premier plan.

Un sur-remplissage des bouteilles est obtenu en réduisant la taille des canules. En reprenant la figure 5.12, la longueur coupée correspond à la différence de hauteur de la bière dans la bouteille avant et après la réduction de taille, soit à $h_2 - h_1$.

La contenance moyenne actuelle de la Leffe Blonde est de 751 ml. Pour estimer la longueur de canule à découper, une mesure au laboratoire des hauteurs de liquide respectivement avec une contenance de 751ml et de 755ml a été effectuée. La différence des hauteurs était d'approximativement 2mm. En découpant les canules de 2mm, la contenance moyenne devrait être augmentée de manière efficace pour réduire les rejets.

A la date de clôture de ce rapport, les tests n'ont pas encore été effectués. Néanmoins, il est légitime de penser que les résultats seront positifs.

6.1.3 Conclusion

Au terme de cette étude de la soutireuse, le résultat est mitigé. Si une solution a été trouvée pour réduire la quantité de rejets, celle-ci implique de perdre une quantité de bière importante. Néanmoins, il a été estimé **un gain financier de 9000 € sur un an**.

La solution optimale pour améliorer le remplissage à la soutireuse est d'utiliser une machine avec correction de niveau après remplissage. Ce système est utilisé sur les autres lignes de conditionnement. Il s'agit d'un contrôle du niveau de la bière après la phase de remplissage à l'intérieur de la machine. Si le niveau n'est pas suffisant, un remplissage supplémentaire est effectué. Malheureusement, lors de la création de la ligne JB2.2, il n'a pas été jugé nécessaire d'utiliser une soutireuse avec correction de niveau compte-tenu du coût financier d'un tel dispositif.

6.2 Resynchronisation de la bouchonneuse-museleuse

6.2.1 Amélioration

L'analyse de la désynchronisation entre les deux machines a permis de situer le problème. Il s'agissait d'un mauvais dimensionnement d'un arbre à fretter. Un nouveau plan a été envoyé à la société extérieure qui fabrique cet arbre.

A la réception de celui-ci, le frettage a été effectué dans l'atelier de Maintenance. Le frettage peut être réalisé à chaud, en chauffant la pièce extérieure, ou à froid, en refroidissant l'arbre à fretter.

N'ayant pas d'azote liquide à disposition pour réaliser un frettage à froid, le frettage a été effectué en chauffant le pignon dans lequel l'arbre doit être fretté. Pour la réalisation de cette opération de précision, le chauffage par induction est particulièrement adapté car il permet de localiser précisément la chauffe uniquement à l'endroit souhaité, et de réaliser un serrage précis et instantané dès l'assemblage.

6.2.2 Contrôle

Un mois de contrôle de la bouchonneuse-museleuse a pu être observé entre la remise en marche de la machine avec des renvois d'angle réparés. Jusqu'à présent, la synchronisation reste bonne, à haute vitesse comme lors d'arrêts brusques de la machine. Etant donné les problèmes récurrents de désynchronisation avant l'étude du problème, le problème semble résolu.

6.2.3 Conclusion

La résolution du problème de la désynchronisation était un travail pratique réalisé en collaboration avec la Maintenance. Au niveau financier, la résolution rapide a permis de réduire la perte de bouteille en évitant des accidents réguliers, mais également augmenter la productivité de la ligne.

Il est difficile de quantifier le bénéfice réel obtenu en résolvant ce problème. D'après les observations réalisées sur la ligne et les discussions avec le multi-opérateur, 5% des pertes de bouteilles à la bouchonneuse-museleuse étaient dues à la désynchronisation de la ligne. Si ce problème avait perduré, en sachant par les mesures effectuées que 50 000 bouteilles sont perdues sur un an, le gain sur un an est estimé à 2 000 €.

De plus, il y a un gros bénéfice effectué au niveau de la productivité sur la ligne. En prenant comme seul exemple la semaine où la ligne a dû tourner à 10 000b/h en raison de la désynchronisation de la machine, deux jours supplémentaires de production ont été nécessaires.

En considérant le coût de 50 €/h/opérateur pour la société, et 5 opérateurs sur la ligne, le bénéfice réalisé avec une bonne synchronisation aurait été de :

$$48(\text{heures}) \cdot 50(\text{€/h/opérateur}) \cdot 5(\text{opérateur}) = 12\,000\text{€}$$

Ceci est très théorique, mais permet de se faire une idée des gros bénéfices facilement réalisables par la résolution des divers problèmes.

6.3 Mise en place d'un bras de rabatement à l'aligneur

6.3.1 Amélioration

Le bras présenté dans la phase d'analyse a été proposé au responsable de la maintenance qui s'occupe de la coordination des travaux sur la ligne. Compte tenu du faible coût financier et des bénéfices potentiels réalisables, le projet a été accepté et sous-traité à la société *Minox* qui devrait le réaliser dans le courant du mois de Juin.

6.3.2 Contrôle

Des tests seront ensuite réalisés avec le bras pour pouvoir calibrer de manière efficace le ressort ou encore modifier la géométrie ou la courbure du dispositif.

Si le résultat obtenu est positif, un dispositif similaire pourra être réalisé pour l'aligneur de la soutireuse. Évidemment, comme il s'agit de bouteilles vides à cet endroit, le dimensionnement du ressort devra être recalculé.

6.3.3 Conclusion

Cette solution technique est intéressante car d'une part, elle permettrait une réduction des pertes de bouteilles sur la ligne et d'autre part, elle pourrait être adaptée à l'ensemble des lignes de conditionnement de l'entreprise. En effet, sur chaque ligne sont utilisés des aligneurs.

Financièrement, en considérant que 300 bouteilles sont perdues hebdomadairement aux aligneurs de JB2.2 (basé sur le système de mesure mis en place et par mesures directes sur le terrain), cela signifie un bénéfice de 3500 €/an.

6.4 Liste des modifications sur la ligne

Cette section a pour objectif de faire un résumé de tout ce qui a été accompli au cours de ce travail et des répercussions sur la ligne, aussi bien au niveau améliorations pratiques que gains financiers.

Cette liste regroupe l'entièreté des valorisations potentielles après avoir effectué le travail d'analyse de la ligne. Il est à noter qu'à la date de rédaction de ce rapport, certaines modifications n'ont pas encore été mise en place.

Il est difficile de pouvoir quantifier un gain financier pour chaque amélioration effectuée. Pour être précis, il est nécessaire de prendre en compte l'impact de cette modification à tous les niveaux. Notamment, le cas de la désynchronisation a pu montrer qu'en plus d'avoir provoqué une perte considérable de bouteilles, elle a coûté très cher en impactant la productivité de la ligne.

Une autre sorte d'intérêt représenté dans ce tableau (*) est la possibilité de réduire la tâche de travail des ouvriers. En effet, la diminution de la complexité des opérations manuelles à effectuer tend à minimiser le risque d'erreurs humaines.

Emplacement	Amélioration	Intérêt et bénéfices financiers
Ligne JB2.2	Système de mesure des rejets	Obtention d'un système de suivi détaillé de la ligne
		Monitoring à long terme
		Capacité de réagir hebdomadairement sur les gros problèmes
		Utilisable pour des analyses futures de la ligne
		Diminution d'encodages statistiques pour le multi-opérateur (*)
Soutireuse	Procédure de nettoyage du checkmat	Eviter les erreurs de rejets à cause d'un détecteur encrassé
	Procédure d'entretien régulier de la maintenance	Prise en charge rapide des problèmes mécaniques
	Remplissage des bouteilles	Réduire le nombre de bouteilles sous-remplies
		Gain financier annuel estimé : 9000€
Bouchonneuse	Plan préventif de Maintenance pour les pièces d'usure	Réduction des problèmes mécaniques de la machine
	Synchronisation des machines	Solution corrective d'un problème récurrent et très fréquent
		Eviter des non-efficacités critiques de la machine (ex. : semaine à 10 000 b/h)
Aligneur bouteilles	Modification du système d'arrêt des bouteilles à l'aligneur	Réduction des chutes au démarrage
	Alignement des bouteilles	Réduction des chutes de bouteilles
		Gain financier annuel estimé : 3500€

Chapitre 7

Phase *Conclusion*

7.1 Conclusion

Ce projet consistait à réduire les pertes de bouteilles sur la ligne de production JB2.2.

Travailler sur un domaine aussi vaste qu'une ligne de conditionnement exige de réaliser des choix à propos des actions à effectuer. Dans l'optique d'une immersion complète, il a été choisi de mettre en place une méthodologie bien connue dans le domaine de l'industrie. La méthodologie Six-Sigma suit une démarche structurée qui permet de donner un fil de conduite et d'organiser le travail.

Dans un premier temps, la définition du projet a été réalisée. Il était nécessaire de bien encadrer un projet aussi étendu pour éviter de se disperser.

La deuxième étape de ce travail a été la mise en place d'un nouveau système de mesures sur la ligne. Le système antérieur comportant de nombreuses lacunes de mesure et n'étant pas assez précis, il était indispensable de mettre au point un système efficace, robuste et permettant de fournir une visualisation détaillée des pertes de bouteilles sur la ligne.

Sur base de ce récent système de mesures mis en œuvre, il a ensuite été possible de cibler les emplacements où les bouteilles étaient principalement perdues. Un travail d'analyse a alors été effectué de manière à caractériser les causes de ces rejets, afin de pouvoir réaliser des améliorations dans le but de fiabiliser la ligne de conditionnement.

Trois causes majeures ont été analysées plus en détail afin de trouver les solutions techniques les plus efficaces pour résoudre les problèmes identifiés. Notamment, une étude assez vaste de la soutireuse a été réalisée dans le but de comprendre la provenance du problème de sous-remplissage des bouteilles. La solution du sur-remplissage qui a été proposée démontre la difficulté de trouver une solution optimale. Néanmoins, l'objectif étant financier, sacrifier une certaine quantité de bière pour finalement avoir un bilan financier positif est une solution appréciable. L'étude de la désynchronisation de la bouchonneuse-museleuse a permis

de réaliser des tests mécaniques pratiques qui ont conduit à déterminer rapidement la cause du problème. Enfin, le problème d'alignement des bouteilles a permis d'imaginer une solution plus innovante basée sur un mécanisme atypique qui laisse présager de bons résultats lors de sa mise en place.

L'ensemble des améliorations suggérées dans ce travail devraient aboutir à des économies de plusieurs milliers d'euros une fois leur mise en place finalisée. Même s'il est malaisé de pouvoir quantifier exactement l'optimisation financière, les modifications proposées devraient rapporter plus de 20 000 euros par an sur la ligne.

La principale difficulté lors de la réalisation de ce projet a été d'ordre organisationnel. Entre le planning de production de la ligne bien défini et les différents arrêts non prévus qui surviennent, des essais ont parfois été amenés à être retardés de plusieurs semaines. De surcroît, les entretiens requis avec les personnes ressources ne sont pas toujours faciles à obtenir et donc à mener. Toutefois, il convient de souligner la disponibilité des travailleurs dans l'entreprise sans laquelle ce projet n'aurait pas pu aboutir.

7.2 Perspectives futures

Fiabiliser une ligne de production est une amélioration continue qui ne s'arrête pas à un travail de fin d'études.

L'objectif de ce travail était non seulement de proposer plusieurs améliorations sur la ligne, mais également de mettre en place des outils qui pourraient être réutilisés pour de futures études de fiabilisation. En effet, la démarche Six-Sigma est un cycle de travail continu dans le temps. A l'aide du nouveau système de mesures réalisé, d'autres projets permettront à leur tour d'effectuer une analyse aboutie de la ligne et trouver des solutions techniques aux inévitables problèmes qui surgiront.

En outre, une optique d'amélioration qui n'a pas été développée dans le cadre de ce travail et qui se rapproche davantage du *Lean* management est la réduction du gaspillage sur la ligne. En effet, il serait possible de considérer non pas la réduction des défauts des machines qui engendrent des produits non conformes, mais plutôt un travail sur ces produits afin de les rendre conformes. Notamment, un système de bouchonnage manuel des bouteilles non bouchonnées a déjà été étudié pour éviter de gaspiller ces produits. Ainsi, il pourrait être intéressant de réaliser un système semblable pour éviter de gaspiller les produits mal étiquetés.

Bibliographie

AB InBev, *Rapport Annuel 2015*, Rapport Financier, 2016

AB InBev2, *Fact Sheet Belgium 2013*, InBev Belgium, 2013

Bonechi L., Carmignani G., Mirandola R., *Design of the Quality Management for the HSE&Q integrated system*, 2011

Chowdury S., *Vous avez dit Six-Sigma!*, Paris, Dunod, 2002

Cohen M. et al., *Quality Management Best Practices*, <http://www.drdobbs.com/>, 2010

Debongnie J-E., *Conception et calcul des éléments de machines*, Université de Liège, 2013

Ishida Europe, *Détection par rayons X dans l'agroalimentaire*, 2013

Krones, *Techniques de soutirage*, Manuel de formation, 2004

Munro R. et al., *The Certified Six Sigma Green Belt Handbook*, ASQ Quality Press, 2007

Palais de la découverte, *La mousse*. n°232, Novembre 2005.

Redex Andantex, *Z series - Renvois d'angle*

Tessier C., *The Surgical Word Book*, 2004

Union des Techniques Champenoises, *Boucheuse rotative 16 postes*. Notice technique, 2007

Vanderbemden P., *Sensors, microsensors and instrumentation*, Université de Liège, 2015

VBA, *Apprendre Virtual Basics for Applications*. Lien internet : <http://www.excel-pratique.com/fr/vba.php>, 2016

Wehenkel L., *Eléments de statistiques, Université de Liège, 2014-2015*

ZBS Packaging EU, *Training Labeller : Cold Glue Labeller*. Document interne de formation de AB InBev, 2011

Annexes

- Ancien encodage pour les mesures sur la ligne
- Tableau récapitulatif du nouveau système de mesure
- Analyse AMDEC de la ligne
- Schéma de JB2.2 et les 6 différentes zones
- Tableau représentant l'impact financier du sur-remplissage de la Leffe Blonde
- Plan de l'arbre à fretter - Renvoi d'angle

Rejet Bouteilles Soutireuse, Bouchonneuse et Etiqueteuse

Jour	Format	Soutireuse			Bouchonneuse - Museleuse			Etiqueteuse		
		Production Total	Rejet	%	Production Total	Rejet	%	Production Total	Rejet	%
Lundi	Format 1			0,10%			0,10%			0,30%
	Format 2			% Total			% Total			% Total
	Format 3			#N/A			#N/A			#N/A
Mardi	Format 1	Production Total	Rejet	%	Production Total	Rejet	%	Production Total	Rejet	%
	Format 2			0,10%			0,10%			0,30%
	Format 3			% Total			% Total			% Total
Mercredi	Format 1			#N/A			#N/A			#N/A
	Format 2	Production Total	Rejet	%	Production Total	Rejet	%	Production Total	Rejet	%
	Format 3			0,10%			0,10%			0,30%
Jeudi	Format 1			% Total			% Total			% Total
	Format 2			#N/A			#N/A			#N/A
	Format 3	Production Total	Rejet	%	Production Total	Rejet	%	Production Total	Rejet	%
Vendredi	Format 1			0,10%			0,10%			0,30%
	Format 2			% Total			% Total			% Total
	Format 3			#N/A			#N/A			#N/A
Samedi	Format 1	Production Total	Rejet	%	Production Total	Rejet	%	Production Total	Rejet	%
	Format 2			0,10%			0,10%			0,30%
	Format 3			% Total			% Total			% Total

Rejet total sur la ligne

Lundi

Mardi

Mercredi

Jeudi

Vendredi

Samedi

% de la semaine

Week	Ref bout	Debal out (pal)	Debal out (bout)	Sout in	Bouch in	Bouch out	Etiq in	Etiq out	Prod Sabin (cartons)	Prod Sabin (bout)
2	50115947	528	557568	557306	556717	555245	554895	553385	91813	550878
2	50116064	192	202752	202713	0	199148	199100	197484	32821	196926
4	50115947	669	706464	702073,5	700451	699323	698974	695909	116105	696630
4	51108723	20	21120	26344,5	26329	26280	26237	26183	4359	26154
5	50115947	406	428736	428579	427962	426560	426271	424852	70725	424350
5	50116064	202	213312	213268	0	213084	213042	212363	35337	212022
7	50115947	448	473088	481315	478744	476097	475900	474882	79266	475596
7	51108723	57	60192	60165	60044	59943	59886	59780	9948	59688
7	50116064	132	139392	139362	0	139068	139037	138495	23060	138360
8	50115947	610	644160	644071	641818	640744	640476	639137	106479	638874
9	50115947	396	418176	418166	415944	414720	414366	412028	68788	412728
9	50116064	283	298848	299823	0	299439	299369	298839	49679	298074
10	50115947	413	436128	434970	433764	432395	432050	430480	71981	431886
10	51108723	64	67584	70676	70582	70439	69845	69783	11522	69132
14	50115947	610	644160	599570	597904	596060	595717	593514	98438	590628
15	50115947	399	421344	382217	381540	380817	380656	375130	63335	380010
15	51108723	59	62304	60142	60045	59922	59360	58102	9831	58986
15	50116064	151	159456	149891	0	149763	149699	149340	24836	149016
TOTAL		5639	5954784	5870652	4851844	5839047	5834880	5809686	968323	5809938

Bout perdues debal/sout in	Rejet sout	Rejet bouch	Bout perdues		Rejet etiq	Bout perdues		Total Bout perdues (freinte inc.)	% freinte inconnue	Rejet % sout	Rejet % bouch
262	589	1472	350	1510	2507	3119	0,56%	0,11%	0,26%		
39	3565	0	48	1616	558	645	0,32%	1,76%	#N/A		
4390,5	1622,5	1128	349	3065	-721	4018,5	0,57%	0,23%	0,16%		
-5224,5	15,5	49	43	54	29	-5152,5	-24,40%	0,06%	0,19%		
157	617	1402	289	1419	502	948	0,22%	0,14%	0,33%		
44	184	0	42	679	341	427	0,20%	0,09%	#N/A		
-8227	2571	2647	197	1018	-714	-8744	-1,85%	0,53%	0,55%		
27	121	101	57	106	92	176	0,29%	0,20%	0,17%		
30	294	0	31	542	135	196	0,14%	0,21%	#N/A		
89	2253	1074	268	1339	263	620	0,10%	0,35%	0,17%		
10	2222	1224	354	2338	-700	-336	-0,08%	0,53%	0,29%		
-975	384	0	70	530	765	-140	-0,05%	0,13%	#N/A		
1158	1206	1369	345	1570	-1406	97	0,02%	0,28%	0,32%		
-3092	94	143	594	62	651	-1847	-2,73%	0,13%	0,20%		
44590	1666	1844	343	2203	2886	47819	7,42%	0,28%	0,31%		
39127	677	723	161	5526	-4880	34408	8,17%	0,18%	0,19%		
2162	97	123	562	1258	-884	1840	2,95%	0,16%	0,20%		
9565	128	0	64	359	324	9953	6,24%	0,09%	#N/A		
84132	18306	13299	4167	25194	-252	88047	1,48%	0,31%	0,27%		

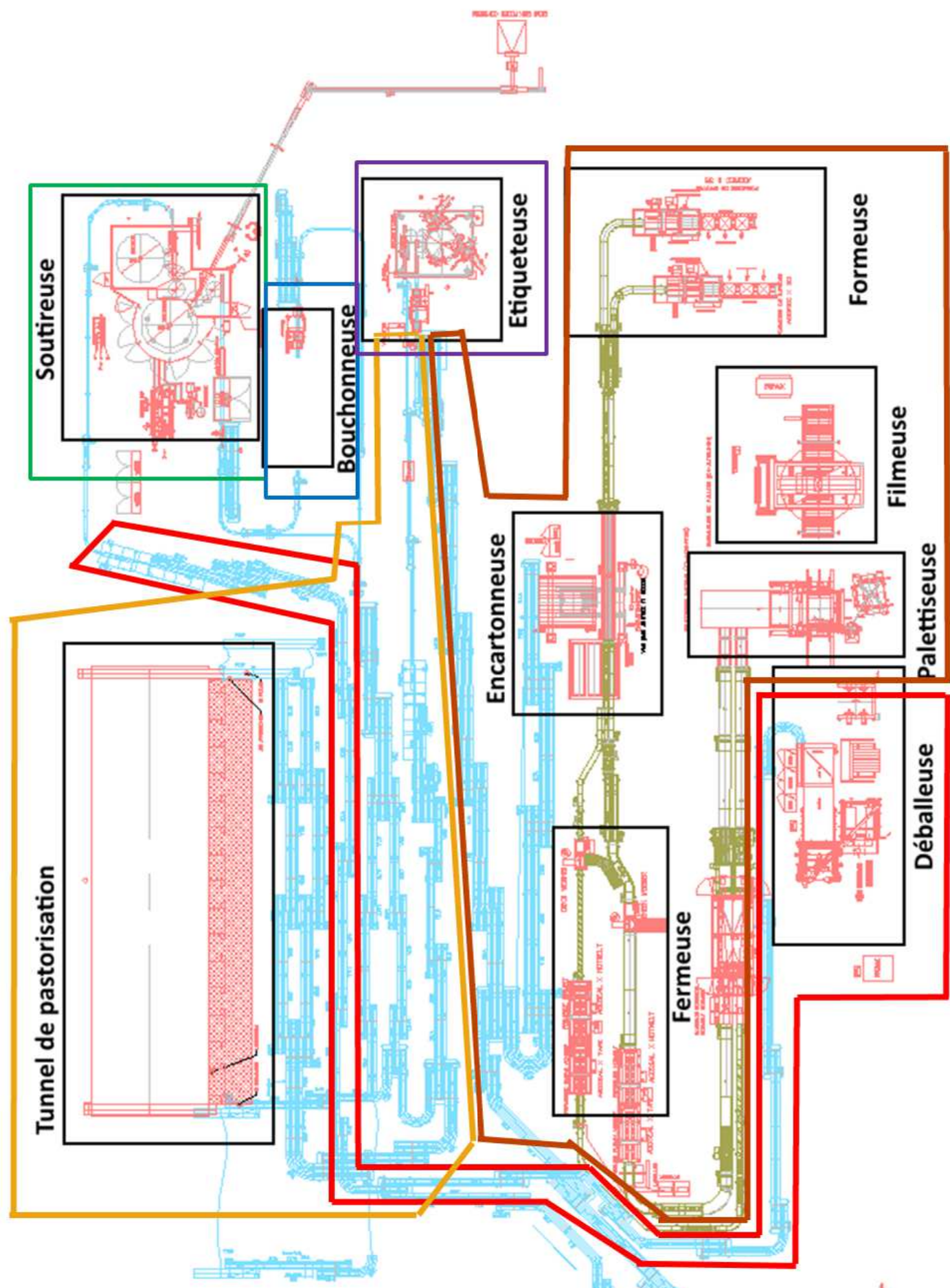
Rejet % etiq	%Pertes ligne
0,27%	1,15%
0,81%	2,85%
0,44%	0,78%
0,21%	0,72%
0,33%	0,99%
0,32%	0,58%
0,21%	1,19%
0,18%	0,79%
0,39%	0,72%
0,21%	0,81%
0,56%	1,30%
0,18%	0,58%
0,36%	0,71%
0,09%	2,18%
0,37%	1,49%
1,45%	0,58%
2,12%	1,92%
0,24%	0,58%
0,43%	1,03%

AMDEC PROCESS : analyse des modes de défaillances et de leur criticité									
Ligne JB2.2									
Machine/Dispositif	Défaut potentiel	Cause de la défaillance	Effet de la défaillance	Détection	Criticité				Action corrective
					F	G	D	C	
Aligneur soutireuse	Mauvais alignement bouteilles	Non rabattement bouteilles	Chutes des bouteilles	Visuel mais mal placé	2	2	8	32	Bras de rabattement
Soutireuse	Explosion bouteille	Bouteilles fragiles	Débris de verre	Visuel et rapide	1	5	5	25	Avertir fournisseurs
	Mousse ➔ Sous-remplissage	Mousse	Ejection	Système de contrôle	9	2	3	54	Sur-remplissage
	Qualité produit	Dép. Brewing	Perte de la prod. jusqu'à détection	Laboratoire Packaging	5	2	6	60	Prévenir Brewing et suivi des opérations
	Pièces d'usure ➔ Sous-remplissage	Usure	Mauvais fonct. machine	Contrôle / Visuel	5	3	3	45	Plan de maintenance préventive
Bouchonneuse	Pièces d'usure	Usure	Mauvais fonct. machine	Contrôle / Visuel	6	2	3	54	Plan de maintenance préventive
	Désynchronisation machine	Arrêts brusques	Prod. Defectueux + crashes	Contrôle / Visuel	4	6	3	72	Contrôle transmission mouvement
Pasteurisateur	Déchirage sleeve Hoegaarden Rosée	Température	Produit non conforme	Visuel (Mauvais)	10	2	8	160*	Voir avec fournisseur résistance du sleeve
Aligneur étiqueteuse	Mauvais alignement bouteilles	Non rabattement bouteilles	Chutes des bouteilles	Visuel mais mal placé	2	2	8	32	Bras de rabattement

(*) Uniquement pour le produit Hoegaarden Rosée

F : Fréquence
G : Gravité
D : Détection
C : Criticité

- Zone 1
- Zone 2
- Zone 3
- Zone 4
- Zone 5
- Zone 6



f(x,y) **100*0.23-y/100*0.23+(0.33/100*735-y/100*735**

Choisir les valeurs des intervalles [x ; x] et [y ; y]

x minimum

751

x maximum

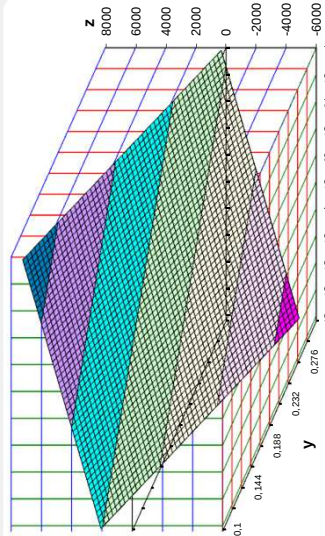
756

y minimum

0.1

y maximum

0.32

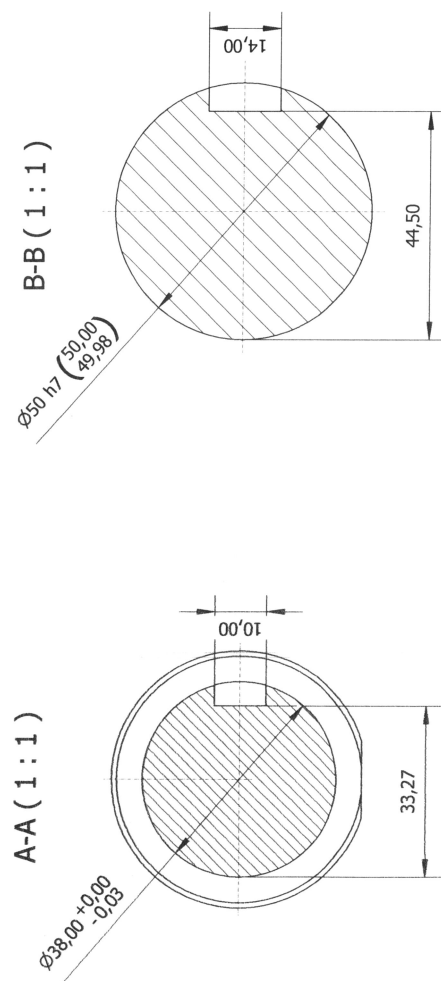


Nouveau % de relet

751	751.1	751.2	751.3	751.4	751.5	751.6	751.7	751.8	751.9	752	752.1	752.2	752.3	752.4	752.5
7229.832	7126.26	7022.688	6919.116	6815.544	6711.972	6608.401	6504.829	6401.257	6297.685	6194.113	6090.541	5986.97	5883.398	5779.826	5676.254
7091.522	6987.95	6884.378	6780.806	6677.234	6573.663	6470.091	6366.519	6262.947	6159.375	6055.803	5952.232	5848.66	5745.088	5641.516	5537.944
6953.212	6849.64	6746.068	6642.496	6538.925	6435.353	6331.781	6228.209	6124.637	6021.065	5917.494	5813.922	5710.35	5606.778	5503.206	5399.634
6814.902	6711.33	6607.758	6504.187	6400.615	6297.043	6193.471	6089.899	5986.327	5882.756	5779.184	5675.612	5572.04	5468.468	5364.897	5261.325
6676.592	6573.02	6469.449	6365.877	6262.305	6158.735	6055.161	5951.589	5848.018	5744.446	5640.874	5537.302	5433.73	5330.159	5226.587	5123.015
6538.282	6434.711	6331.139	6227.567	6123.995	6020.423	5916.852	5813.28	5709.708	5606.136	5502.564	5398.992	5295.421	5191.849	5088.277	4984.705
6399.973	6296.401	6192.829	6089.257	5985.685	5882.114	5778.542	5674.97	5571.398	5467.826	5364.254	5260.683	5157.111	5053.539	4949.967	4846.395
6261.663	6158.091	6054.519	5950.947	5847.376	5743.804	5640.232	5536.66	5433.088	5329.516	5225.945	5122.373	5018.801	4915.229	4811.657	4708.085
6123.353	6019.781	5916.209	5812.638	5709.066	5605.494	5501.922	5398.35	5294.778	5191.207	5087.635	4984.063	4880.491	4776.919	4673.347	4569.776
5985.043	5881.471	5777.9	5674.328	5570.756	5467.184	5363.612	5260.04	5156.469	5052.897	4949.325	4845.753	4742.181	4638.609	4535.038	4431.466
5846.733	5743.162	5639.59	5536.018	5432.446	5328.874	5225.302	5121.731	5018.159	4914.587	4811.015	4707.443	4603.871	4500.3	4396.728	4293.156
5708.424	5604.852	5501.28	5397.708	5294.136	5190.564	5086.993	4983.421	4879.849	4776.277	4672.705	4569.133	4465.562	4361.99	4258.418	4154.846
5570.114	5466.542	5362.97	5259.398	5155.826	5052.255	4948.683	4845.111	4741.539	4637.967	4534.395	4430.824	4327.252	4223.68	4120.108	4016.536
5431.804	5328.232	5224.66	5121.088	5017.517	4913.945	4810.373	4706.801	4603.229	4499.657	4396.086	4292.514	4188.942	4085.37	3981.798	3878.226
5293.494	5189.922	5086.35	4982.779	4879.207	4775.635	4672.063	4568.491	4464.919	4361.348	4257.776	4154.204	4050.632	3947.06	3843.488	3739.917
5155.184	5051.612	4948.041	4844.469	4740.897	4637.325	4533.753	4430.181	4326.61	4223.038	4119.466	4015.894	3912.322	3808.75	3705.179	3601.607
5016.874	4913.303	4809.731	4706.159	4602.587	4499.015	4395.443	4291.872	4188.3	4084.728	3981.156	3877.584	3774.012	3670.441	3566.869	3463.297
4878.565	4774.993	4671.421	4567.849	4464.277	4360.705	4257.134	4153.562	4049.99	3946.418	3842.846	3739.274	3635.703	3532.131	3428.559	3324.987
4740.255	4636.683	4533.111	4429.539	4325.967	4222.396	4118.824	4015.252	3911.68	3808.108	3704.537	3600.965	3497.393	3393.821	3290.249	3186.677
4601.945	4498.373	4394.801	4291.229	4187.658	4084.086	3980.514	3876.942	3773.37	3669.799	3566.227	3462.655	3359.083	3255.511	3151.939	3048.368
4463.635	4360.063	4256.491	4152.92	4049.348	3945.776	3842.204	3738.632	3635.061	3531.489	3427.917	3324.345	3220.773	3117.201	3013.63	2910.058
4325.325	4221.754	4118.182	4014.61	3911.038	3807.466	3703.894	3600.323	3496.751	3393.179	3289.607	3186.035	3082.463	2978.892	2875.32	2771.748
4187.016	4083.444	3979.872	3876.3	3772.728	3669.156	3565.585	3462.013	3358.441	3254.869	3151.297	3047.725	2944.154	2840.582	2737.01	2633.438
4048.706	3945.134	3841.562	3737.99	3634.418	3530.846	3427.275	3323.703	3220.131	3116.559	3012.987	2909.416	2805.844	2702.272	2598.7	2495.128
3910.396	3806.824	3703.252	3599.68	3496.108	3392.537	3288.965	3185.393	3081.821	2978.249	2874.678	2771.106	2667.534	2563.962	2460.39	2356.818
3772.086	3668.514	3564.942	3461.371	3357.799	3254.227	3150.655	3047.083	2943.511	2839.94	2736.368	2632.796	2529.224	2425.652	2322.08	2218.509
3633.776	3530.204	3426.633	3323.061	3219.489	3115.917	3012.345	2908.773	2805.202	2701.63	2598.058	2494.486	2390.914	2287.342	2183.771	2080.199
3495.466	3391.895	3288.323	3184.751	3081.179	2977.607	2874.035	2770.464	2666.892	2563.32	2459.748	2356.176	2252.604	2149.033	2045.461	1941.889
3357.157	3253.585	3150.013	3046.441	2942.869	2839.297	2735.726	2632.154	2528.582	2425.01	2321.438	2217.866	2114.295	2010.723	1907.151	1803.579
3218.847	3115.275	3011.703	2908.131	2804.559	2700.988	2597.416	2493.844	2390.272	2286.7	2183.128	2079.557	1975.985	1872.413	1768.841	1665.269
3080.537	2976.965	2873.393	2769.821	2666.25	2562.678	2459.106	2355.534	2251.962	2148.39	2044.819	1941.247	1837.675	1734.103	1630.531	1526.959
2942.227	2838.655	2735.083	2631.512	2527.94	2424.368	2320.796	2217.224	2113.652	2010.081	1906.509	1802.937	1699.365	1595.793	1492.221	1388.65
2803.917	2700.345	2596.774	2493.202	2389.63	2286.058	2182.486	2078.914	1975.343	1871.771	1768.199	1664.627	1561.055	1457.484	1353.912	1250.34
2665.607	2562.036	2458.464	2354.892	2251.32	2147.748	2044.176	1940.605	1837.033	1733.461	1629.889	1526.317	1422.746	1319.174	1215.602	1112.03
2527.298	2423.726	2320.154	2216.582	2113.01	2009.439	1905.867	1802.295	1698.723	1595.151	1491.579	1388.008	1284.436	1180.864	1077.292	973.7202
2388.988	2285.416	2181.844	2078.272	1974.701	1871.129	1767.557	1663.985	1560.413	1456.841	1353.27	1249.698	1146.126	1042.554	938.9822	835.4104
2250.678	2147.106	2043.534	1939.963	1836.391	1732.819	1629.247	1525.675	1422.103	1318.532	1214.96	1111.388	1007.816	904.2442	800.6724	697.1006
2112.368	2008.796	1905.225	1801.653	1698.081	1594.509	1490.937	1387.365	1283.794	1180.222	1076.65	973.0781	869.5062	765.9344	662.3626	558.7907
1974.058	1870.487	1766.915	1663.343	1559.771	1456.199	1352.627	1249.056	1145.484	1041.912	938.3401	834.7682	731.1964	627.6246	524.0527	420.4809
1835.749	1732.177	1628.605	1525.033	1421.461	1317.889	1214.318	1110.746	1007.174	903.6021	800.0302	696.4584	592.8866	489.3148	385.7429	282.1711
1697.439	1593.867	1490.295	1386.723	1283.151	1179.58	1076.008	972.4359	868.8641	765.2923	661.7204	558.1486	454.5768	351.0049	247.4331	143.8613
1559.129	1455.557	1351.985	1248.413	1144.842	1041.27	937.6979	834.1261	730.5543	626.9824	523.4106	419.8388	316.2669	212.6951	109.1233	5.55145
1420.819	1317.247	1213.675	1110.104	1006.532	902.9599	799.3881	695.8163	592.2444	488.6726	385.1008	281.5289	177.9571	74.38529	-29.1865	-132.758
1282.509	1178.937	1075.366	971.7938	868.2219	764.6501	661.0783	557.5064	453.9346	350.3628	246.791	143.2191	39.6473	-63.9245	-167.496	-271.088
1144.199	1040.628	937.0558	833.4839	729.9121	626.3403	522.7685	419.1966	315.6248	212.053	108.473	4.909305	-98.6625	-202.234	-305.806	-409.378
1005.89	902.3178	798.746	695.1741	591.6023	488.0305	384.4586	280.8868	177.315	73.74314	-29.8287	-133.401	-236.972	-340.544	-444.116	-547.688
867.5798	764.008	660.4361	556.8643	453.2925	349.7206	246.1488	142.577	39.00515	-64.5667	-168.139	-271.71	-375.282	-478.854	-582.426	-685.998
729.27	625.6981	522.1263	418.5545	314.9626	211.4108	107.839	4.267159	-99.3047	-202.877	-306.448	-410.02	-513.592	-617.164	-720.736	-824.307
590.9601	487.3883	383.8165	280.2447	176.6701	73.101	-30.4708	-134.043	-237.614	-341.186	-444.758	-548.33	-651.902	-755.474	-859.045	-962.617
452.6503	349.0785	245.5067	141.9348	38.36301	-65.2088	-168.781	-272.352	-375.924	-479.496	-583.068	-686.64	-790.212	-893.783	-997.355	-1100.93
314.3405	210.7687	107.1968	3.625014	-99.9468	-203.519	-307.09	-410.662	-514.234	-617.806	-721.378	-824.95	-928.521	-1032.09	-1135.67	-1239.24

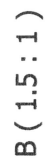
752.6	752.7	752.8	752.9	753	753.1	753.2	753.3	753.4	753.5	753.6	753.7	753.8	753.9	754	754.1	754.2	754.3	754.4	754.5	754.6	754.7	754.8	754.9	755
5572.682	5469.11	5365.539	5261.967	5158.395	5054.823	4951.251	4847.68	4744.108	4640.536	4536.964	4433.392	4329.82	4226.249	4122.677	4019.105	3915.533	3811.961	3708.389	3604.818	3501.246	3397.674	3294.102	3190.53	3086.958
5434.372	5330.801	5227.229	5123.657	5020.085	4916.513	4812.942	4709.37	4605.798	4502.226	4398.654	4295.082	4191.511	4087.939	3984.367	3880.795	3777.223	3673.651	3570.08	3466.508	3362.936	3259.364	3155.792	3052.22	2948.649
5296.063	5192.491	5088.919	4985.347	4881.775	4778.204	4674.632	4571.06	4467.488	4363.916	4260.344	4156.773	4053.201	3949.629	3846.057	3742.485	3638.913	3535.342	3431.77	3328.198	3224.626	3121.054	3017.482	2913.911	2810.339
5157.753	5054.181	4950.609	4847.037	4743.466	4639.894	4536.322	4432.75	4329.178	4225.606	4122.035	4018.463	3914.891	3811.319	3707.747	3604.175	3500.604	3397.032	3293.46	3189.888	3086.316	2982.744	2879.174	2775.601	2672.029
5019.443	4915.871	4812.299	4708.728	4605.156	4501.584	4398.012	4294.44	4190.868	4087.297	3983.725	3880.153	3776.581	3673.009	3569.437	3465.866	3362.294	3258.722	3155.15	3051.578	2948.006	2844.435	2740.863	2637.291	2533.719
4881.133	4777.561	4673.99	4570.418	4466.846	4363.274	4259.702	4156.13	4052.559	3948.987	3845.415	3741.843	3638.271	3534.699	3431.128	3327.556	3223.984	3120.412	3016.84	2913.268	2809.697	2706.125	2602.553	2498.981	2395.409
4742.823	4639.252	4535.68	4432.108	4328.536	4224.964	4121.392	4017.821	3914.249	3810.677	3707.105	3603.533	3499.961	3396.39	3292.818	3189.246	3085.674	2982.102	2878.53	2774.959	2671.387	2567.815	2464.243	2360.671	2257.099
4604.514	4500.942	4397.37	4293.798	4190.226	4086.654	3983.083	3879.511	3775.939	3672.367	3568.795	3465.223	3361.652	3258.08	3154.508	3050.936	2947.364	2843.792	2740.221	2636.649	2533.077	2429.505	2325.933	2222.361	2118.79
4466.204	4362.632	4259.06	4155.488	4051.916	3948.345	3844.773	3741.201	3637.629	3534.057	3430.485	3326.914	3223.342	3119.77	3016.198	2912.626	2809.054	2705.483	2601.911	2500.339	2396.767	2291.195	2187.623	2084.052	1980.48
4327.894	4224.322	4120.75	4017.178	3913.607	3810.035	3706.463	3602.891	3499.319	3395.747	3292.176	3188.604	3085.032	2981.46	2877.888	2774.316	2670.745	2567.173	2463.601	2360.029	2256.457	2152.885	2049.314	1945.742	1842.17
4189.584	4086.012	3982.44	3878.869	3775.297	3671.725	3568.153	3464.581	3361.009	3257.438	3153.866	3050.294	2946.722	2843.15	2739.578	2636.007	2532.435	2428.863	2325.291	2221.719	2118.147	2014.576	1911.004	1807.432	1703.86
4051.274	3947.702	3844.131	3740.559	3636.987	3533.415	3429.843	3326.271	3222.7	3119.128	3015.556	2911.984	2808.412	2704.84	2601.269	2497.697	2394.125	2290.553	2186.981	2083.41	1979.838	1876.268	1772.694	1669.122	1565.55
3912.964	3809.393	3705.821	3602.249	3498.677	3395.105	3291.533	3187.962	3084.39	2980.818	2877.246	2773.674	2670.102	2566.531	2462.959	2359.387	2255.815	2152.243	2048.672	1945.1	1841.528	1737.956	1634.384	1530.812	1427.241
3774.655	3671.083	3567.511	3463.939	3360.367	3256.795	3153.224	3049.652	2946.08	2842.508	2738.936	2635.364	2531.793	2428.221	2324.649	2221.077	2117.505	2013.934	1910.362	1806.79	1703.218	1599.646	1496.074	1392.503	1288.931
3636.345	3532.773	3429.201	3325.629	3222.057	3118.486	3014.914	2911.342	2807.77	2704.198	2600.627	2497.055	2393.483	2289.911	2186.339	2082.767	1979.196	1875.624	1772.052	1668.48	1564.908	1461.336	1357.765	1254.193	1150.621
3498.035	3394.463	3290.891	3187.319	3083.748	2980.176	2876.604	2773.032	2669.46	2565.889	2462.317	2358.745	2255.173	2151.601	2048.029	1944.458	1840.886	1737.314	1633.742	1530.17	1426.598	1323.027	1219.455	1115.883	1012.311
3321.415	3217.844	3114.272	3010.7	2907.128	2803.556	2699.984	2496.413	2392.841	2289.269	2185.697	2082.125	1978.553	1874.982	1771.41	1667.838	1564.266	1460.694	1357.122	1253.551	1149.979	1046.407	942.8351	839.2633	735.6914
3083.106	2979.534	2875.962	2772.39	2668.818	2565.246	2461.675	2358.103	2254.531	2150.959	2047.387	1943.815	1840.244	1736.672	1633.1	1529.528	1425.956	1322.384	1218.813	1115.241	1011.669	908.0971	804.5253	700.9534	597.3816
2944.768	2841.194	2737.652	2634.08	2530.508	2426.937	2323.365	2219.793	2116.221	2012.649	1909.077	1805.506	1701.934	1598.362	1494.79	1391.218	1287.646	1184.075	1080.503	976.9309	873.3591	769.7873	666.2154	562.6436	459.0718
2806.486	2702.914	2599.342	2495.77	2392.199	2288.627	2185.055	2081.483	1977.911	1874.339	1770.768	1667.196	1563.624	1460.052	1356.48	1252.908	1149.337	1045.765	942.1929	838.6211	735.0493	631.4774	527.9056	424.3338	320.762
2668.176	2564.604	2461.032	2357.461	2253.889	2150.317	2046.745	1943.173	1839.601	1736.03	1632.458	1528.886	1425.314	1321.742	1218.17	1114.599	1011.027	907.4549	803.8831	700.3113	596.7395	493.1676	389.5958	286.024	182.4521
2529.866	2426.294	2322.723	2219.151	2115.579	2012.007	1908.435	1804.863	1701.292	1597.72	1494.148	1390.576	1287.004	1183.432	1079.861	976.288	872.717	769.1451	665.5733	562.0015	458.4296	354.8578	251.286	147.7141	44.14231
2391.556	2287.985	2184.413	2080.841	1977.269	1873.697	1770.125	1666.554	1562.982	1459.41	1355.838	1252.266	1148.694	1045.123	941.5508	837.979	734.4071	630.8353	527.2635	423.6916	320.1198	216.548	112.9762	9.404322	-94.1675
2253.247	2149.675	2046.103	1942.531	1838.959	1735.387	1631.816	1528.244	1424.672	1321.1	1217.528	1113.956	1010.385	908.8128	803.241	699.6691	596.0973	492.5255	388.9537	285.3818	181.81	78.23816	-25.3337	-128.905	-232.477
2114.937	2011.365	1907.793	1804.221	1700.649	1597.078	1493.506	1389.934	1286.362	1182.79	1079.218	975.646	872.0748	768.503	664.9311	561.3593	457.7875	354.2157	250.6438	147.072	43.50017	-60.0717	-163.643	-267.215	-370.787
1976.627	1873.055	1769.483	1665.911	1562.34	1458.768	1355.196	1251.624	1148.052	1044.48	940.9086	837.3368	733.765	630.1932	526.6213	423.0495	319.4777	215.9058	112.334	8.762177	-94.8097	-198.381	-301.953	-405.525	-509.097
1838.317	1734.745	1631.173	1527.602	1424.03	1320.458	1216.886	1113.314	1009.742	906.1707	802.5988	699.027	595.4552	491.8833	388.3115	284.7397	181.1678	77.59602	-25.9758	-129.548	-336.691	-440.263	-543.835	-647.407	
1700.007	1596.435	1492.864	1389.292	1285.72	1182.148	1078.576	975.0045	871.4327	767.8608	664.289	560.7172	457.1453	353.5735	250.0017	146.4299	42.85802	-60.7138	-164.286	-267.857	-371.429	-475.001	-578.573	-682.145	-785.717
1561.697	1458.126	1354.554	1250.982	1147.41	1043.838	940.2665	836.6947	733.1228	629.551	525.9792	422.4074	318.8355	215.2637	111.6919	8.120031	-95.4518	-199.024	-302.595	-406.167	-509.739	-613.311	-716.883	-820.455	-924.026
1423.388	1319.816	1216.244	1112.672	1009.1	905.5285	801.9567	698.3848	594.813	491.2412	387.6694	284.0975	180.5257	76.95387	-26.618	-130.19	-233.762	-337.333	-440.905	-544.477	-648.049	-751.621	-855.193	-958.764	-1062.34
1285.078	1181.506	1077.934	974.3623	870.7905	767.2187	663.6469	560.075	456.5032	352.9314	249.3595	145.7877	42.1588	-61.356	-164.928	-268.5	-372.071	-475.643	-579.215	-682.787	-786.359	-889.931	-993.502	-1097.07	-1200.65
1146.768	1043.196	939.6244	836.0525	732.4807	628.9089	525.337	421.7652	318.1934	214.6215	111.0407	7.477886	-96.0939	-199.666	-303.238	-406.809	-510.381	-613.953	-717.525	-821.097	-924.669	-1028.24	-1131.81	-1235.38	-1338.96
1008.458	904.8864	801.3145	697.7427	594.1709	490.599	387.0272	283.4554	179.8836	76.31172	-27.2601	-130.832	-234.404	-337.976	-441.547	-545.119	-648.691	-752.263	-855.835	-959.407	-1062.98	-1166.55	-1270.12	-1373.69	-1477.27
870.1484	766.5765	663.0047	559.4329	455.8611	352.2892	248.7174	145.1456	41.57373	-61.9881	-165.57	-269.142	-372.714	-476.285	-579.857	-683.429	-787.001	-890.573	-994.145	-1097.72	-1201.29	-1304.86	-1408.43	-1512	-1615.58
731.8386	628.2667	524.6949	421.1231	317.5512	213.9794	110.4076	6.835741	-96.7361	-200.308	-303.88	-407.452	-511.023	-614.595	-718.167	-821.739	-925.311	-1028.88	-1132.45	-1236.03	-1339.6	-1443.17	-1546.74	-1650.31	-1753.89
593.5287	489.9569	386.3851	282.8132	179.2414	75.66958	-27.9023	-131.474	-235.046	-338.618	-442.19	-545.761	-649.333	-752.903	-856.477	-960.049	-1063.62	-1167.19	-1270.76	-1374.34	-1477.91	-1581.48	-1685.05	-1788.62	-1892.2
455.2189	351.6471	248.0752	144.5034	40.93159	-62.6402	-166.212	-269.784	-373.356	-476.928	-580.499	-684.071	-787.643	-891.215	-994.787	-1098.36	-1201.93	-1305.5	-1409.07	-1512.65	-1616.22	-1719.79	-1823.36	-1926.93	-2030.51
316.9091	213.3373	109.7654	6.193595	-97.3782	-200.95	-304.522	-408.094	-511.666	-615.237	-718.809	-822.381	-925.953	-1029.52	-1133.1	-1236.67	-1340.24	-							

755.1	755.2	755.3	755.4	755.5	755.6	755.7	755.8	755.9	756
2983.387	2879.815	2776.243	2672.671	2569.099	2485.527	2361.956	2258.384	2154.812	2051.24
2845.077	2741.505	2637.933	2534.361	2430.789	2327.218	2223.646	2120.074	2016.502	1912.93
2706.767	2603.195	2499.623	2396.051	2292.48	2188.908	2085.336	1981.764	1878.192	1774.62
2568.457	2464.885	2361.313	2257.742	2154.17	2050.598	1947.026	1843.454	1739.882	1636.311
2430.147	2326.575	2223.004	2119.432	2015.86	1912.288	1808.716	1705.144	1601.573	1498.001
2291.837	2188.266	2084.694	1981.122	1877.55	1773.978	1670.406	1566.835	1463.263	1359.691
2153.528	2049.956	1946.384	1842.812	1739.24	1635.668	1532.097	1428.525	1324.953	1221.381
2015.218	1911.646	1808.074	1704.502	1600.93	1497.359	1393.787	1290.215	1186.643	1083.071
1876.908	1773.336	1669.764	1566.192	1462.621	1359.049	1255.477	1151.905	1048.333	944.7615
1738.598	1635.026	1531.455	1427.883	1324.311	1220.739	1117.167	1013.595	910.0235	806.4517
1600.288	1496.717	1393.145	1289.573	1186.001	1082.429	978.8574	875.2855	771.7137	668.1419
1461.979	1358.407	1254.835	1151.263	1047.691	944.1194	840.5475	736.9757	633.4039	529.8321
1323.669	1220.097	1116.525	1012.953	909.3814	805.8096	702.2377	598.6659	495.0941	391.5222
1185.359	1081.787	978.2152	874.6434	771.0716	667.4997	563.9279	460.3561	356.7842	253.2124
1047.049	943.4772	839.9054	736.3336	632.7617	529.1899	425.6181	322.0462	218.4744	114.9026
908.7392	805.1674	701.5956	598.0237	494.4519	390.8801	287.3083	183.7364	80.1646	-23.4072
770.4294	666.8576	563.2858	459.7139	356.1421	252.5703	148.9984	45.4266	-58.1452	-161.717
632.1196	528.5478	424.9759	321.4041	217.8323	114.2604	10.68861	-92.8832	-196.455	-300.027
493.8098	390.2379	286.6661	183.0943	79.52245	-24.0494	-127.621	-231.193	-334.765	-438.337
355.4999	251.9281	148.3563	44.78446	-58.7874	-162.359	-265.931	-369.503	-473.075	-576.647
217.1901	113.6183	10.04647	-93.5254	-197.097	-300.669	-404.241	-507.813	-611.385	-714.956
78.88031	-24.6915	-128.263	-231.835	-335.407	-438.979	-542.551	-646.123	-749.694	-853.266
-59.4295	-163.001	-266.573	-370.145	-473.717	-577.289	-680.86	-784.432	-888.004	-991.576
-197.739	-301.311	-404.883	-508.455	-612.027	-715.598	-819.17	-922.742	-1026.31	-1129.89
-336.049	-439.621	-543.193	-646.765	-750.336	-853.908	-957.48	-1061.05	-1164.62	-1268.2
-474.359	-577.931	-681.503	-785.074	-888.646	-992.218	-1095.79	-1199.36	-1302.93	-1406.51
-612.669	-716.241	-819.812	-923.384	-1026.96	-1130.53	-1234.1	-1337.67	-1441.24	-1544.82
-750.979	-854.55	-958.122	-1061.69	-1165.27	-1268.84	-1372.41	-1475.98	-1579.55	-1683.13
-889.288	-992.86	-1096.43	-1200	-1303.58	-1407.15	-1510.72	-1614.29	-1717.86	-1821.43
-1027.6	-1131.17	-1234.74	-1338.31	-1441.89	-1545.46	-1649.03	-1752.6	-1856.17	-1959.74
-1165.91	-1269.48	-1373.05	-1476.62	-1580.2	-1683.77	-1787.34	-1890.91	-1994.48	-2098.05
-1304.22	-1407.79	-1511.36	-1614.93	-1718.51	-1822.08	-1925.65	-2029.22	-2132.79	-2236.36
-1442.53	-1546.1	-1649.67	-1753.24	-1856.82	-1960.39	-2063.96	-2167.53	-2271.1	-2374.67
-1580.84	-1684.41	-1787.98	-1891.55	-1995.12	-2098.7	-2202.27	-2305.84	-2409.41	-2512.98
-1719.15	-1822.72	-1926.29	-2029.86	-2133.43	-2237.01	-2340.58	-2444.15	-2547.72	-2651.29
-1857.46	-1961.03	-2064.6	-2168.17	-2271.74	-2375.32	-2478.89	-2582.46	-2686.03	-2789.6
-1995.77	-2099.34	-2202.91	-2306.48	-2410.05	-2513.63	-2617.2	-2720.77	-2824.34	-2927.91
-2134.08	-2237.65	-2341.22	-2444.79	-2548.36	-2651.94	-2755.51	-2859.08	-2962.65	-3066.22
-2272.39	-2375.96	-2479.53	-2583.1	-2686.67	-2790.25	-2893.82	-2997.39	-3100.96	-3204.53
-2410.7	-2514.27	-2617.84	-2721.41	-2824.98	-2928.56	-3032.13	-3135.7	-3239.27	-3342.84
-2549.01	-2652.58	-2756.15	-2859.72	-2963.29	-3066.87	-3170.44	-3274.01	-3377.58	-3481.15
-2687.32	-2790.89	-2894.46	-2998.03	-3101.6	-3205.18	-3308.75	-3412.32	-3515.89	-3619.46
-2825.63	-2929.2	-3032.77	-3136.34	-3239.91	-3343.49	-3447.06	-3550.63	-3654.2	-3757.77
-2963.94	-3067.51	-3171.08	-3274.65	-3378.22	-3481.79	-3585.37	-3688.94	-3792.51	-3896.08
-3102.25	-3205.82	-3309.39	-3412.96	-3516.53	-3620.1	-3723.68	-3827.25	-3930.82	-4034.39
-3240.56	-3344.13	-3447.7	-3551.27	-3654.84	-3758.41	-3861.99	-3965.56	-4069.13	-4172.7
-3378.87	-3482.44	-3586.01	-3689.58	-3793.15	-3896.72	-4000.3	-4103.87	-4207.44	-4311.01
-3517.18	-3620.75	-3724.32	-3827.89	-3931.46	-4035.03	-4138.61	-4242.18	-4345.75	-4449.32
-3655.48	-3759.06	-3862.63	-3966.2	-4069.77	-4173.34	-4276.92	-4380.49	-4484.06	-4587.63
-3793.79	-3897.37	-4000.94	-4104.51	-4208.08	-4311.65	-4415.23	-4518.8	-4622.37	-4725.94
-3932.1	-4035.68	-4139.25	-4242.82	-4346.39	-4449.96	-4553.54	-4657.11	-4760.68	-4864.25



B-B (1:1)

AB-INBEV



Conçu par Manuel Prados	Vérifié par	Approuvé par	Date	Acier dur 110 Kg	Date	5/03/2013	1 pièce
AB-INBEV			Axe creux renvoi d'angle Bouchonneuse & Museleuse				
			JB2.2		Modification		Feuille 1 / 1