

---

## Amélioration de la productivité d'une ligne d'embouteillage

**Auteur :** Schroeder, Stéphanie

**Promoteur(s) :** Duysinx, Pierre; 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/2268.2/1389>

---

### *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**

---

**Amélioration de la productivité  
d'une ligne d'embouteillage**

Anheuser-Busch InBev

---

**TRAVAIL DE FIN D'ÉTUDES RÉALISÉ EN VUE DE  
L'OBTENTION DU GRADE DE MASTER INGÉNIEUR CIVIL  
MÉCANICIEN**

**Stéphanie SCHROEDER**

*Année académique 2015-2016*



Promoteurs académiques :  
Prof. Olivier BRULS  
Prof. Pierre DUYSINX

Promoteurs industriels :  
Ronny ROORDA  
Michel GOMEZ

Membres du jury :  
Prof. Pierre DEWALLEF  
Prof. Maarten ARNST  
Asmaa EL KHADRI  
Dominik BOEMER



# Amélioration de la productivité d'une ligne d'embouteillage

Travail de fin d'études

---

Université de Liège  
Faculté des Sciences Appliquées  
Année académique 2015-2016

Stéphanie SCHROEDER  
MASTER INGÉNIEUR CIVIL MÉCANICIEN

---

Atteindre des objectifs fixés en terme de productivité exige du leader mondial de l'industrie brassicole Anheuser-Busch InBev de faire appel à divers processus d'amélioration continue. C'est l'analyse PDCA (Plan Do Check Act) qui servira d'outil à ce travail. Le premier objectif est de définir le problème de l'étude en analysant tous les éléments qui affectent globalement les Groupes 1 et 3 du site de production à Jupille (embouteillage des formats 25cl, respectivement 25/33cl destinés à la mise en casiers). Il est partie intégrante du travail de les prioriser et d'en extraire les plus impactant pour le rendement brut du conditionnement. La période de l'étude porte sur quelques mois à un an précédent le travail et deux grands axes d'amélioration, en phase avec les besoins, ont pu être investigués.

Le premier axe est lié à l'aspect qualité avec un besoin inhérent d'assurer et d'augmenter la fiabilité de détection et le capacité d'éjection des mauvaises vidanges. Il traitera dès lors de l'installation, la montée en puissance ainsi que le suivi de nouvelles trieuses de bouteilles. Cette partie se focalise sur la mise en place des outils nécessaires au fonctionnement et sur la méthodologie permettant de palier aux problèmes rencontrés lors du ramp up progressif. Cet axe est également intrinsèquement lié à l'amélioration de la productivité au travers la cadence atteinte. Le suivi du projet consiste, par ailleurs, à veiller à la bonne insertion des machines en fonction des besoins en amont (V-Graphe). Il permet, en effet, d'assurer un environnement favorable à l'étude du second axe que constitue la laveuse bouteilles.

Le second axe vise l'amélioration du chargement/déchargement de la laveuse bouteilles dans l'objectif de réduire la durée des arrêts machines impactant directement la productivité. Plus précisément, le travail se focalise sur le réglage des éléments mécaniques du chargement, sur la vérification et l'amélioration de la lubrification en entrée ainsi que sur la création de procédures pour de meilleures conditions environnantes. Ce n'est qu'une fois celles-ci assurées qu'une modélisation numérique de la répartition des bouteilles n'a de sens. Le but ultime du travail est de valider le comportement d'un modèle par éléments discrets (logiciel YADE) de l'entrée de la machine. Il permet de constater la répartition des bouteilles et la poussée exercée afin de pouvoir étudier l'effet d'un changement de géométrie et/ou de vitesse des convoyeurs.

# Remerciements

Je souhaite adresser mes remerciements les plus chaleureux à toutes les personnes qui ont apporté leur aide et leur savoir tout au long de la réalisation de ce travail.

Je tiens à remercier tout d'abord mes promoteurs industriels, M. Ronny Roorda, ex-process engineer et depot manager Jumet ainsi que M. Michel Gomez, process engineer pour leur encadrement, disponibilité et pour l'intégration au sein du département de conditionnement d'AB InBev à Jupille.

Ensuite, je souhaite remercier mes promoteurs académiques Prof. Olivier Bruls et Prof. Pierre Duysinx pour le suivi du travail et les conseils apportés.

J'exprime toute ma reconnaissance envers M. Dominik Boemer pour les connaissances partagées et la grande disponibilité.

Merci à M. Rohnny Herckens, process engineer, M. Thierry Wera, FLM packaging, M. Amaury Colette, technical services manager, M. Christophe Maisin, FLM technical services ainsi qu'à l'ensemble du personnel des départements de conditionnement et de maintenance pour leur accessibilité.

Merci également à M. Danny VanRossem, spécialiste laveuse bouteilles, M. Christophe Neyrinck, technical sales engineer chez SOPURA et M. Philip Cabeke, Zone Brewery Support pour leur expertise.

Je tiens à remercier particulièrement M. Stéphane Ferrari, FLM packaging pour ses relectures.

J'aimerais remercier l'ensemble des représentants de mon jury pour l'attention qu'ils porteront à la lecture de ce travail.

Finalement, merci à ma famille ainsi qu'à mes amis pour le soutien inconditionnel tout au long de mes études.

# Table des matières

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>Contexte et structure de la ligne de conditionnement</b>	<b>13</b>
2.1	Bref historique . . . . .	14
2.2	Chiffres clés . . . . .	14
2.3	AB InBev à Jupille . . . . .	16
2.4	Implémentation des lignes JB1 et JB3 . . . . .	16
<b>3</b>	<b>Définition des objectifs et investigation des axes de travail</b>	<b>19</b>
3.1	Outils de quantification de résultats . . . . .	20
3.1.1	Indicateurs clés de performances . . . . .	20
3.1.2	Gross Line Yield (GLY) . . . . .	20
3.2	Objectifs du groupe et du travail . . . . .	20
3.2.1	Idéologie (Manage to Improve) . . . . .	20
3.2.2	Objet et période de l'étude . . . . .	20
3.2.3	Résultats antérieurs (GLY) . . . . .	21
3.3	Outils internes de collecte de données . . . . .	22
3.3.1	États de la soutireuse (Ivams) . . . . .	22
3.3.2	Mise en relation avec les défaillances (Sabin) . . . . .	24
3.4	Investigation des axes de travail . . . . .	24
3.4.1	Points impactant le GLY . . . . .	24
3.4.2	Points impactant la qualité . . . . .	27
<b>4</b>	<b>Outils d'analyse PDCA et application à la laveuse bouteilles</b>	<b>29</b>
4.1	La méthode PDCA . . . . .	30
4.2	La laveuse bouteilles . . . . .	31
4.2.1	Spécifications techniques . . . . .	31
4.2.2	Principes actifs . . . . .	31
4.2.3	Accumulation et chargement . . . . .	32
4.2.4	Sections de traitement . . . . .	33
4.2.5	Déchargement . . . . .	34
4.3	Root Cause Analysis . . . . .	35
4.3.1	Critique des mesures disponibles . . . . .	35
4.3.2	Prioritisation (diagramme de Pareto) . . . . .	36

4.3.3	Brainstorming ("5 Why's") . . . . .	37
4.3.4	Formalisme 5M et diagramme d'Ishikawa . . . . .	40
4.3.5	Benchmarking . . . . .	42
4.3.6	Conclusion . . . . .	43
<b>5</b>	<b>Installation, montée en puissance et suivi des nouvelles trieuses</b>	<b>44</b>
5.1	Indicateurs de succès du projet . . . . .	45
5.2	Agencement de la section de triage . . . . .	46
5.3	Formation à la connaissance et gestion des nouvelles trieuses . . . . .	47
5.3.1	Technologies d'inspection . . . . .	47
5.3.2	Instructions et entretien . . . . .	50
5.4	Contrôle des dérives et ajustements . . . . .	51
5.4.1	Largeur du champ de détection . . . . .	51
5.4.2	Cellule photoélectrique en défaut . . . . .	52
5.4.3	Chutes de bouteilles en sortie . . . . .	53
5.5	Tests d'éjection et de vitesse . . . . .	54
5.5.1	Détection des mauvaises bouteilles . . . . .	54
5.5.2	Non-rejet du bon format . . . . .	55
5.5.3	Rapidité et précision d'éjection . . . . .	55
5.5.4	Défaut en cas d'incapacité d'éjection . . . . .	55
5.5.5	Cadence nominale . . . . .	55
5.6	Suivi de l'impact sur la ligne (plus-value) . . . . .	56
5.6.1	V-Graphe . . . . .	56
5.7	Conclusion . . . . .	60
<b>6</b>	<b>Etude et mise en place d'actions correctives sur les conditions de fonctionnement</b>	<b>61</b>
6.1	Contrôle, remise aux normes et amélioration de la lubrification . . . . .	62
6.1.1	Intérêt et rôle de la lubrification . . . . .	62
6.1.2	Spécificités du produit . . . . .	63
6.1.3	Ajustement préliminaire du dosage . . . . .	64
6.1.4	Contrôle du coefficient de frottement . . . . .	67
6.1.5	Réglage de la temporisation de zone . . . . .	68
6.1.6	Uniformisation des gicleurs . . . . .	71
6.1.7	Amélioration de l'accessibilité des rampes . . . . .	72
6.1.8	Vérifications . . . . .	74
6.2	Investigation et formalisation d'une procédure de réglage mécanique du chargement . . . . .	75
6.2.1	Prise par le doigt de chargement . . . . .	76
6.2.2	Insertion dans le godet . . . . .	77
6.2.3	Synchronisation temporelle des mécanismes . . . . .	78
6.2.4	Vérifications . . . . .	79
6.3	Checklist . . . . .	79
6.4	Conclusion . . . . .	80

## TABLE DES MATIÈRES

---

<b>7</b>	<b>Modélisation par éléments discrets de la répartition des bouteilles</b>	<b>81</b>
7.1	Ojectifs . . . . .	82
7.2	Adéquation de la méthode au problème . . . . .	83
7.2.1	Principes de modélisation et de calculs . . . . .	84
7.2.2	Le logiciel YADE . . . . .	87
7.3	Construction du modèle de la laveuse bouteilles . . . . .	87
7.3.1	Définition de la géométrie et hypothèses . . . . .	87
7.3.2	Détermination des paramètres numériques de contact . . . . .	89
7.4	Validation du comportement . . . . .	91
7.5	Modifications géométrique . . . . .	94
<b>8</b>	<b>Conclusion et perspectives</b>	<b>97</b>
	<b>Bibliographie</b>	<b>99</b>
<b>A</b>	<b>One Point Lesson - Trieuses Heuft Spectrum</b>	<b>101</b>
<b>B</b>	<b>Action Log - Suivi d'installation des trieuses</b>	<b>108</b>
<b>C</b>	<b>Tests d'éjection - Bouteilles tests</b>	<b>111</b>
<b>D</b>	<b>Lubranol DWS - Fiche technique</b>	<b>113</b>
<b>E</b>	<b>Concentration en Lubranol DWS 3G - Prélèvements et titrages</b>	<b>116</b>
<b>F</b>	<b>SOP - Contrôle du coefficient de frottement</b>	<b>118</b>
<b>G</b>	<b>Bouteilles APO 25cl - Spécifications</b>	<b>120</b>
<b>H</b>	<b>Temporisations des zones du groupe 1</b>	<b>122</b>
<b>I</b>	<b>SOP - Réglage du mécanisme de la laveuse bouteilles</b>	<b>125</b>
<b>J</b>	<b>Checklist - Laveuse bouteilles du groupe 1</b>	<b>130</b>
<b>K</b>	<b>Modélisation par éléments discrets - Scripts (Python, Matlab)</b>	<b>132</b>

# Table des figures

2.1	Représentation schématique de l'histoire structurelle du groupe Anheuser-Busch InBev . . . . .	14
2.2	Carte de l'évolution du revenu avant imposition durant les 5 dernières années et contribution à ce revenu par région - ABI . . . . .	15
2.3	Agencement des lignes de conditionnement des groupes 1 et 3 . . . . .	18
3.1	Résultats hebdomadaires du GLY sur le groupe 1 - Octobre 2015 à février 2016 . . . . .	21
3.2	Résultats hebdomadaires du GLY sur le groupe 3 - Octobre 2015 à février 2016 . . . . .	22
3.3	Interface du logiciel Ivams reprenant l'état de fonctionnement du soutirage .	22
3.4	Vision schématique de la répartition du temps sur une ligne de conditionnement . . . . .	23
3.5	Contributions au temps de production planifié des groupes 1 et 3 - Octobre 2015 à février 2016 . . . . .	25
3.6	Sources et pourcentages des pertes de GLY sur les groupes 1 et 3 - Octobre 2015 à février 2016 . . . . .	26
3.7	Résultats mensuels des plaintes clients (ppb) - Année 2015 . . . . .	27
4.1	Méthodologie PDCA - Plan Do Check Act (roue de Deming) . . . . .	30
4.2	Entrée de la laveuse bouteilles du groupe 1 - ABI Jupille . . . . .	31
4.3	Table d'accumulation et mécanisme de chargement de la laveuse bouteilles du groupe 1 - ABI Jupille . . . . .	32
4.4	Système de porteurs de godets de la laveuse bouteilles du groupe 1 - ABI Jupille . . . . .	32
4.5	Schéma du process de lavage des bouteilles avec 3 sections : le pré-lavage, le lavage principal et le traitement ultérieur . . . . .	33
4.6	Flux d'eau à travers les différentes cuves de la laveuse bouteilles du groupe 1 - ABI Jupille . . . . .	34
4.7	Mécanisme de déchargement de la laveuse bouteilles du groupe 1 - ABI Jupille	34
4.8	Diagramme de Pareto des défaillances de la laveuse bouteilles du groupe 1 - Octobre 2015 à février 2016 . . . . .	36
4.9	Durée totale des défaillances de la laveuse bouteilles du groupe 1 - Octobre 2015 à février 2016 . . . . .	37



4.10	Diagramme d'Ishikawa des causes racines aux défaillances du chargement . . . . .	41
5.1	Plan de l'agencement du nouveau système de détection et d'éjection Heuft Spectrum sur le groupe 1 - ABI Jupille . . . . .	46
5.2	Interface de l'écran de supervision du système d'éjection Heuft Spectrum sur le groupe 1 - ABI Jupille . . . . .	47
5.3	Système d'éjection pneumatique et benne de récupération des bouteilles tombées du système Heuft Spectrum sur le groupe 1 - ABI Jupille . . . . .	49
5.4	Section d'inspection et d'éjection des trieuses Heuft Spectrum - ABI Jupille	49
5.5	Paramètres du réglage de la largeur de détection par la caméra du système Heuft Spectrum sur le groupe 1 - ABI Jupille . . . . .	52
5.6	Aligneur en entrée du système de détection et d'éjection Heuft Spectrum sur le groupe 1 - ABI Jupille . . . . .	53
5.7	Allure théorique du V-Graphe appliqué au groupe 1 - ABI Jupille . . . . .	57
5.8	V-Graphe du groupe 1 avant et après insertion des nouvelles trieuses - ABI Jupille . . . . .	59
6.1	Pompe doseuse à membrane assurant l'apport en Lubranol DWS 3G sur les groupes 1 et 3 - ABI Jupille . . . . .	64
6.2	Compteur d'eau envoyant une impulsion à la pompe doseuse pour chaque litre d'eau consommée - ABI Jupille . . . . .	65
6.3	Arrivée des conduites de Lubranol DWS 3G et raccord à la conduite d'eau pour le dosage - ABI Jupille . . . . .	66
6.4	Zone de lubrification régulée par l'électrovanne 20 (entrée laveuse bouteilles) du groupe 1 - ABI Jupille . . . . .	69
6.5	Rampes de lubrification en entrée de la laveuse bouteilles du groupe 1 - ABI Jupille . . . . .	70
6.6	Ecran de supervision du circuit de lubrification du groupe 1 - ABI Jupille . . . . .	71
6.7	Rampe de pulvérisation de solution lubrifiante par buses - ABI Jupille . . . . .	72
6.8	Filtre et électrovanne pilotée alimentant la rampe de lubrification sous la laveuse bouteilles du groupe 1 - ABI Jupille . . . . .	74
6.9	Nouvelle rampe de lubrification de la laveuse du groupe 1 et système de fixation - ABI Jupille . . . . .	74
6.10	Système arbre-bielle de l'entraînement de la laveuse bouteilles du groupe 1 - ABI Jupille . . . . .	76
6.11	Guides d'insertion des bouteilles dans la laveuse du groupe 1 - ABI Jupille . . . . .	77
6.12	Entraînement mécanique de la partie mobile des guides d'insertion de la laveuse du groupe 1 - ABI Jupille . . . . .	77
6.13	Schéma de l'emplacement des moto-réducteurs de la laveuse bouteilles du groupe 1 - ABI Jupille . . . . .	78
6.14	Moto-réducteur et encodeur absolu de l'entraînement du chargement de la laveuse - ABI Jupille . . . . .	78
7.1	Vue du dessus de la table d'accumulation et entrée de la laveuse bouteilles du groupe 1 - ABI Jupille . . . . .	83
7.2	Représentation schématique du contact associant ressort linéaire, amortisseur, élément de glissement tangentiel et permettant de dériver la force d'interaction (source : [20]). . . . .	86

## TABLE DES FIGURES

---

7.3	Modélisation géométrique de l'entrée de la laveuse bouteilles du groupe 1 - ABI Jupille . . . . .	88
7.4	% d'insertion des bouteilles dans les couloirs obtenus pour deux simulations par éléments discrets (YADE) aux durées différentes . . . . .	93
7.5	% d'insertion des bouteilles dans les couloirs - comparaison des résultats numériques pour différents coefficients de frottement avec le résultat expérimental	94
7.6	% d'insertion des bouteilles dans les couloirs - comparaison des résultats numériques pour différents pourcentages de recouvrement avec le résultat expérimental . . . . .	95
7.7	Pressure breaker sur la table d'entrée de la laveuse bouteilles du groupe 1 - ABI Jupille . . . . .	96

# Chapitre 1

## Introduction

La réalisation d'un travail de fin d'études constitue l'étape finale dans l'obtention du diplôme d'ingénieur civil. Particulièrement intéressés par l'industrie, nous avons saisi l'opportunité de mettre en relation ce travail avec le milieu de la production et plus particulièrement celui d'Anheuser-Busch InBev à Jupille.

L'insertion en entreprise nous semble une étape indispensable afin de se confronter aux attentes que ce milieu peut avoir et ainsi apprendre à adapter à un besoin réel les connaissances et l'esprit critiques acquis tout au long des 5 années d'études. De plus, elle permet d'évoluer au contact même du sujet de l'étude et pousse plus encore à développer les capacités d'analyse.

Les cadences importantes des lignes de conditionnement et la philosophie du groupe brassicole assurent l'existence constante de projets en cours ou à venir, ainsi que d'axes de travail liés aux besoins ou résultats de chaque ligne.

C'est dans ce contexte que nous nous sommes vus proposés de travailler sur l'amélioration de la productivité d'une ligne affectée à la mise en casiers de la célèbre Jupiler. La démarche du travail est orientée vers la gestion de projet puisqu'il nous incombe de déterminer de façon aussi pertinente que possible les axes de l'étude sur cette ligne.

Ainsi l'étude s'inspire des méthodes d'améliorations continues et de management par la qualité. Tout au long du cheminement, nous gardons à l'esprit différentes étapes par lesquelles doit transiter chaque piste d'amélioration afin d'atteindre un objectif fixé. Ces étapes sont celles de la méthodes PDCA (Plan Do Check Act).

Premièrement, nous placerons en contexte le travail en se focalisant sur un brève description d'AB InBev, de ses activités. Nous relaterons ensuite le fonctionnement global de la ligne sur laquelle nous allons nous pencher.

Deuxièmement, nous entrerons dans la première phase de l'étape Plan. Au cours de celle-ci, à l'aide d'outils pertinents de quantification, nous déciderons de l'objectif du travail.

Nous introduirons l'analyse des données nous permettant de déterminer ce qui cause des troubles sur la ligne en regard de cet objectif.

Ensuite, nous présenterons les outils de la méthode PDCA et entrerons dans la première étape de planification que nous appliquerons aux défaillances de la laveuse bouteilles. A travers plusieurs méthodes d'analyse, nous formaliserons le cheminement permettant de définir les axes d'études précis sur la machine.

Nous décrirons alors le projet d'installation des nouvelles trieuses de bouteilles ainsi que son suivi afin d'en assurer le succès. Les enjeux liés à la qualité, l'intérêt premier, seront décrits mais un lien utile, concernant l'assurance de vitesse, sera fait avec le travail d'amélioration continue de la laveuse.

En outre, les étapes suivantes de la méthode PDCA seront appliquées à la problématique du chargement de la laveuse. Nous décrirons les vérifications et améliorations réalisées sur les conditions de lubrification. Celles qui assurent un bon entraînement mécanique des bouteilles dans la machine seront étudiées dans l'optique de compter sur les meilleures conditions possibles de fonctionnement.

Finalement, nous étudierons la mise en place d'un modèle par éléments discrets dans le but de valider son comportement dans le cadre de la répartition des bouteilles en entrée de la machine. La démarche vise à solutionner le problème de la poussée exercée entre les bouteilles.

# Lexique

**ABI** Anheuser-Busch InBev.

**Action Log** Outil de planification et de suivi dans la résolution de problèmes.

**DPA** Down time of Planned Activities, partie du temps planifié consacrée aux activités prévues telles que le nettoyage.

**FLM** First Line Manager, responsable de la gestion des équipes d'opérateurs et du bon fonctionnement des lignes de conditionnement durant les pauses.

**GLY** Gross Line Yield, rendement brut de la ligne et indicateur clé de performances ; rapport du temps de production efficace au temps de production planifié.

**JB1 et 3** Jupille Bottling line 1 et 3, lignes d'embouteillage au format 25cl Jupiler, respectivement aux formats 25 et 33cl Jupiler, Stella, Leffe, Hertog Jan et Dommelsch destinés à la mise en casiers.

**KPI** Key Performance Indicator, indicateur (taux ou pourcentage) permettant d'évaluer l'efficacité, la compétitivité de chaque brasserie AB InBev.

**NST** Not Scheduled Time, périodes en dehors du temps planifié (jours de congés fixes, révisions).

**OPL** One Point Lesson, fiche descriptive et illustrative en une étape, à destination des opérateurs.

**PDCA** Plan Do Check Act, procédure d'amélioration continue basée sur l'acquisition et la pérennisation de l'expérience.

**ppb** part per billion, unité de l'indicateur des plaintes clients, nombre de plaintes reçues par milliard de bouteilles produites.

**SOP** Standard Operating Procedure, document d'instructions pas à pas aidant à la réalisation de tâches routinières.

**V-Graphe** Graphe théorique des cadences machines dont doit disposer une ligne de conditionnement qui brigue l'efficacité et la productivité.

**VPO** Voyager Plant Optimization, système managérial d'AB InBev formalisant les procédures et objectifs pour un fonctionnement identique de chaque brasserie.

**ZBS** Zone Brewery Support, groupe de travail non rattaché à une brasserie mais apportant son expertise pour l'atteinte des KPIs dans l'ensemble des brasseries.

# Chapitre 2

## Contexte et structure de la ligne de conditionnement

*Ce chapitre relate les faits relatifs aux origines d’Anheuser-Busch InBev avant de se focaliser sur le site de production à Jupille. Il place en contexte la nature et l’ampleur des activités ainsi que les produits qui en résultent. Cette partie se focalise ensuite sur la structure et l’agencement de la ligne conditionnement sur laquelle portera le travail. Elle permet une compréhension plus aisée des tenants et aboutissants liés à l’étude ultérieure des machines dont il sera question.*

### Sommaire

---

<b>2.1</b>	<b>Bref historique . . . . .</b>	<b>14</b>
<b>2.2</b>	<b>Chiffres clés . . . . .</b>	<b>14</b>
<b>2.3</b>	<b>AB InBev à Jupille . . . . .</b>	<b>16</b>
<b>2.4</b>	<b>Implémentation des lignes JB1 et JB3 . . . . .</b>	<b>16</b>

---

## 2.1 Bref historique

Interbrew a vu le jour en 1987 et fut le résultat de la fusion entre les 2 brasseries majeures de Belgique : Den Hoorn à Louvain (plus tard brasserie Artois, du nom du créateur de la Stella) ainsi que Piedboeuf à Jupille.

La fusion en 2004 avec le groupe AmBev au Brésil permît à Interbrew de devenir InBev, le plus grand groupe brassicole au monde.

Finalemnt, en 2008 le groupe fusionna avec Anheuser-Busch aux Etats-Unis (Saint-Louis, Missouri) afin de devenir Anheuser-Busch InBev et de prendre sa place dans le top 5 des industries de biens de consommation. Le quartier général d'ABI ainsi que son centre d'innovation se trouvent actuellement toujours à Louvain.

Une représentation schématique des grandes fusions qui ont écrit l'histoire du groupe est donnée à la Figure 2.1.

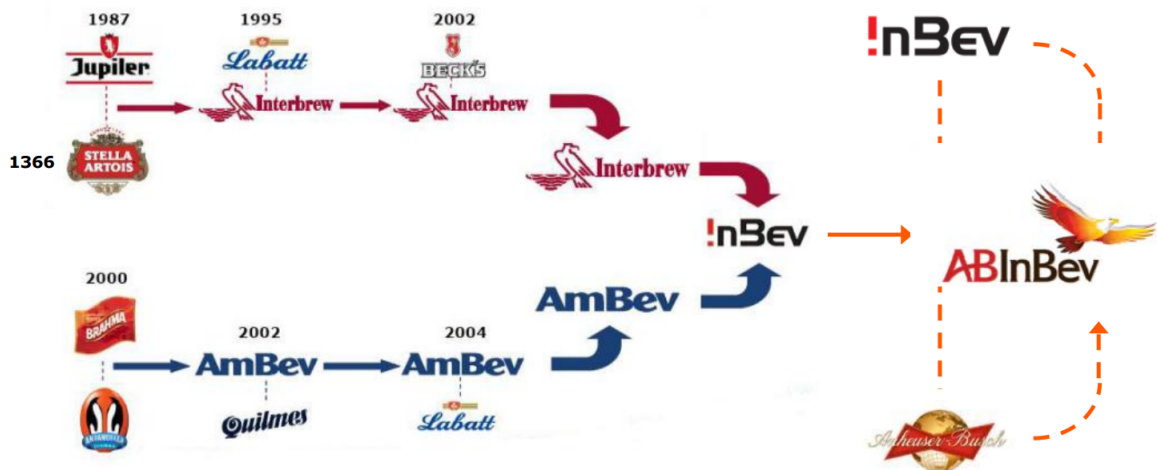


FIGURE 2.1 – Représentation schématique de l'histoire structurelle du groupe Anheuser-Busch InBev

Plus récemment, en novembre 2015, un accord a été conclu par le leader belgo-brésilien en vue de l'acquisition du groupe britannique SAB Miller. La transaction historique se chiffre à hauteur d'une centaine de millions d'€.

## 2.2 Chiffres clés

ABI emploie près de 155.000 personnes à l'échelle mondiale à travers pas moins de 25 pays. En Belgique, le groupe compte 2500 employés et possède 4 brasseries : Louvain, Jupille, Hoegaarden et Bellevue.

## CHAPITRE 2. CONTEXTE ET STRUCTURE DE LA LIGNE DE CONDITIONNEMENT

Le groupe possède pas moins de 200 marques de bières. En Belgique, la production est répartie comme suit :

- **Marques Globales** : Budweiser, Stella Artois, Corona Extra
- **Marques Internationales** : Beck's, Hoegaarden, Leffe
- **Championnes Locales** : Bellevue, Jupiler, Vieux Temps

La Table 2.1 indique le volume de production (tous produits confondus) d'ABI au niveau mondial ainsi que son revenu avant imposition (EBITDA ; Earnings Before Interest, Taxes, Depreciation and Amortization) pour l'année 2015. En Belgique, la production est de l'ordre 4.9 millions d'hectolitres avec une part de marché avoisinant les 55%.

2015	ABI mondial
Volume (millions hl)	457
EBITDA (milliards USD)	17,057

TABLE 2.1 – Volumes produits et revenus avant imposition - ABI, année 2015

La Figure 2.2 montre l'évolution de l'EBITDA du groupe pour les 5 dernières années. Après une progression constante et significative d'année en année depuis 2011, on constate que la tendance était à la baisse l'année dernière.

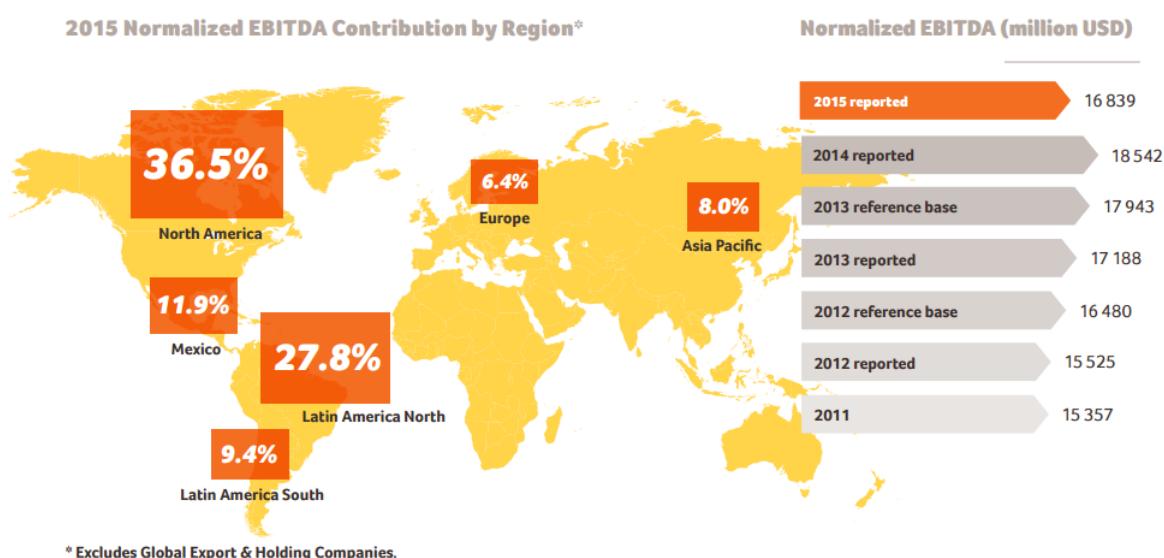


FIGURE 2.2 – Carte de l'évolution du revenu avant imposition durant les 5 dernières années et contribution à ce revenu par région - ABI



## 2.3 AB InBev à Jupille

Sur son site de production en bord de Meuse à Jupille, ABI possède un département de fabrication, un département énergie et fluides, un département services techniques (maintenance) ainsi que le conditionnement. Encore appelé packaging, ce dernier comprend 4 lignes d'embouteillage et 2 lignes de mise en fûts :

- **JB1** : ligne d'embouteillage de Jupiler au format 25cl (destinée à la mise en casiers), capacité : 110.000 b/h.
- **JB3** : ligne d'embouteillage multi-formats : 25 ou 33cl (Stella ; Leffe ; Jupiler, destinées à la mise en casiers, notamment pour l'exportation vers les Pays-Bas), capacité : 110.000 b/h.
- **JB2.1** : ligne d'embouteillage au format 75cl avec bouchon vissé (Piedboeuf, Jupiler), capacité : 30.000 b/h (dépend du type de bière).
- **JB2.2** : ligne d'embouteillage au format 75cl, bouteille type champagne avec bouchon et muselet ou capsule (Hoegaarden ; Leffe), capacité : 17.000 b/h.
- **JK1** : ligne de mise en fûts de 30 ou 50l, capacité respectivement : 900 et 820 f/h (Jupiler ; Stella Belgique, France et US ; Hertog Jan ; Dommelsch ; Plätzen ; CTS ; Leffe blonde).
- **JK3** : ligne de mise en fûts de 30 ou 50l, de fûts US et Alumasc (cigares, 20l), capacité : 400 f/h (Stella US et NL ; Leffe blonde).

Le groupe investit actuellement 50 millions d'€ supplémentaires dans la création de 2 nouvelles lignes d'embouteillage (JB4 et JB5), destinées principalement à accroître les exportations du site à l'étranger. En effet, Jupille exporte actuellement 31% uniquement de sa production à l'étranger contre 70 et 80% respectivement pour les brasseries de Louvain et Hoegaarden.

Les nouvelles lignes devraient, à terme, disposer d'une capacité de production de 120.000 b/h et sont destinées principalement à répondre à la demande croissante d'exportation de Stella (Global Brand, première bière belge au monde, exportée dans 95 pays) et Leffe vers la France, les Pays-Bas, le Luxembourg, les USA ou le Canada.

## 2.4 Implémentation des lignes JB1 et JB3

Les lignes de conditionnement sur lesquelles porte ce processus d'amélioration sont les Jupille Bottling (JB) lines 1 et 3. Le groupe 1 est voué exclusivement à la mise en bouteilles de Jupiler tandis que le groupe 3 subit régulièrement des changements de format et de type de bière soutirée. Ils ont la même structure et les machines qui s'y succèdent dans le processus de conditionnement ont des caractéristiques techniques et fonctionnements identiques (la disposition peut différer en fonction de l'espace à disposition lors de

l'installation).

Avant d'étudier ce qui affecte la productivité, il est essentiel de comprendre à quel endroit s'insère chaque machine dans le processus de conditionnement. Une représentation schématique de la ligne est fournie à la Figure 2.3. On y distingue l'itinéraire des palettes en jaune, celui des casiers remplis (vidanges ou bouteilles pleines) en orange, celui des casiers vides en bleu et l'itinéraire des vidanges en vert.

Les palettes sont acheminées 2 par 2 depuis la zone logistique par des chariots filoguidés. Le dépalettiseur enlève couche par couche les 7 étages de la palette composés de 10 casiers chacun. Ceux-ci sont pris en charge, l'un à la suite de l'autre, par un transporteur pour les acheminer à la décaisseuse. Les bouteilles y sont agrippées par des ventouses et déposées sur un convoyeur distinct tandis que les casiers continuent leur chemin vers le retourneur en forme de "S" pour éliminer les crasses. Ils passent ensuite par la laveuse casiers (combinaison de solution chlorée et jets haute pression). Ils peuvent être entreposés ou non dans le magasin casiers selon le besoin en alimentation continue de l'encaisseuse.

Le flux de vidanges créé par la décaisseuse est divisé afin d'alimenter 3 trieuses qui inspectent chaque bouteille et envoient les bons formats vers la laveuse bouteilles (les autres sont éjectés et envoyés à la benne). Différents bains de soude et injecteurs prennent en charge les bouteilles dans la laveuse afin de retirer les étiquettes, nettoyer, rincer et désinfecter le contenant.

Les bouteilles sont ensuite envoyées aux 2 inspectrices qui détectent et rejettent celles présentant des résidus de soude ou des fissures. Une fois inspectés, les contenants arrivent aux soutireuses qui y injectent la bière tandis que la capsule est apposée presque immédiatement après, en sortie de machine. Un premier contrôle du niveau de remplissage est réalisé en cet endroit (seules les bouteilles sous-remplies sont éjectées).

Les bouteilles capsulées passent par le pasteurisateur qui y élimine les germes et micro-organismes. Les étiquettes peuvent alors être apposées dans une des deux étiqueteuses et un contrôle est réalisé en sortie de machine. Il vérifie la position des étiquettes, l'impression de la date et heure, mais également la contenance. La première inspection en sortie des soutireuses peut, en effet, avoir été faussée par la mousse non encore retombée. Une technologie ultrasons vérifie la pression régnant dans la bouteille, chauffée par son passage dans le pasteurisateur.

Le flux de bouteilles est mis en relation avec celui des casiers vides au niveau de l'encaisseuse. Celle-ci utilise des têtes de préhension pour placer 24 contenants dans chaque casier (remplissage contrôlé ultérieurement). Ils prennent la direction du palettiseur qui effectue le travail inverse du dépalettiseur. La palette composée de ses 7 couches est entourée d'un film transparent afin d'apposer l'étiquette pour le référencement. Elles sont chargées sur les filoguidés pour être stockées en zone logistique et commercialisées.

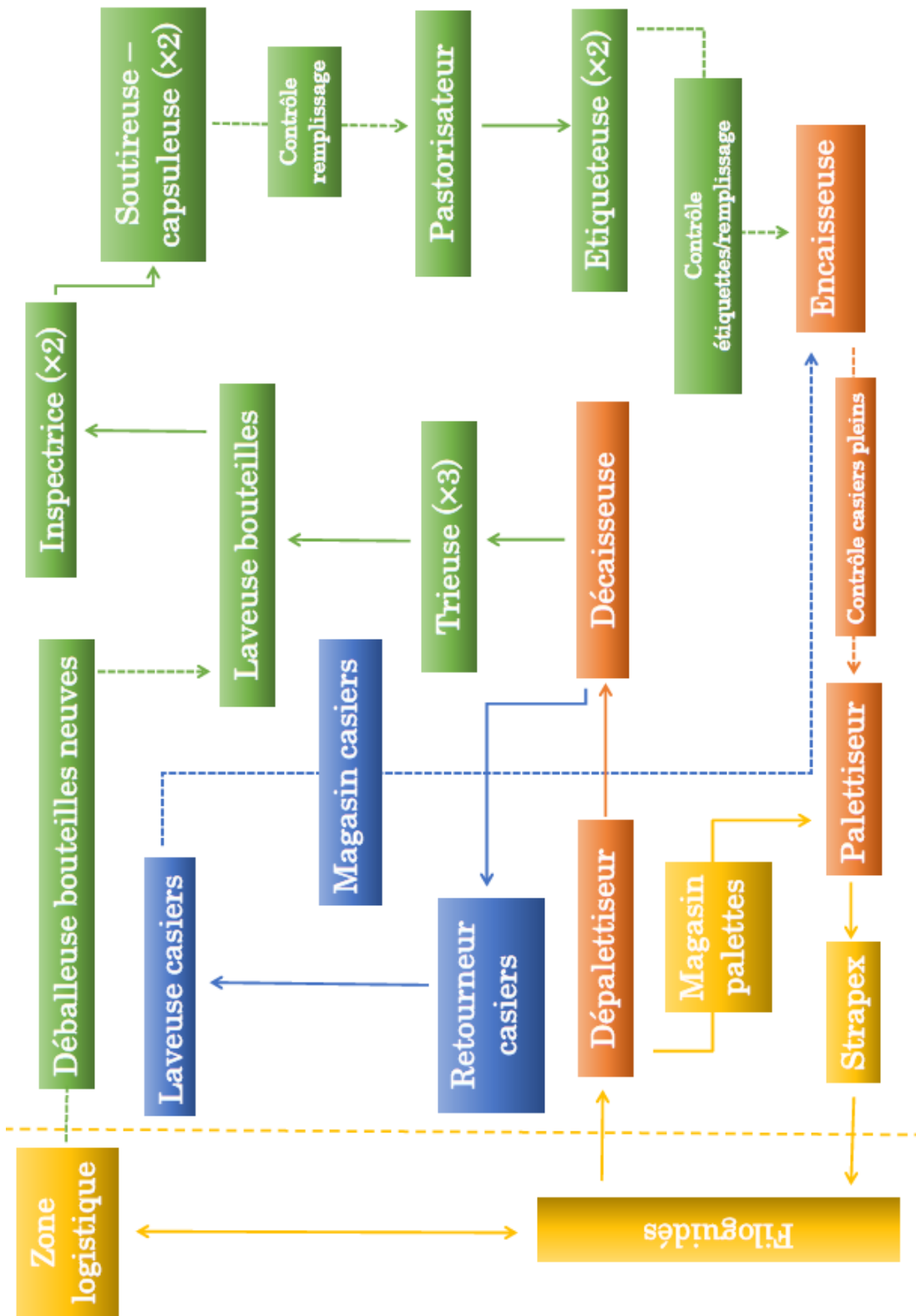


FIGURE 2.3 – Agencement des lignes de conditionnement des groupes 1 et 3

# Chapitre 3

## Définition des objectifs et investigation des axes de travail

*L'objectif de ce chapitre est de donner les outils nécessaires à l'analyse et la quantification des performances qu'Anheuser-Busch InBev se fixe d'atteindre. Ils seront alors utilisés afin d'étudier les données et mesures acquises au moyen de systèmes sur la ligne. Finalement, ils permettront de poser un choix pertinent afin d'étudier en particulier certains points bloquant pour la productivité du conditionnement.*

### Sommaire

---

<b>3.1 Outils de quantification de résultats</b>	<b>20</b>
3.1.1 Indicateurs clés de performances	20
3.1.2 Gross Line Yield (GLY)	20
<b>3.2 Objectifs du groupe et du travail</b>	<b>20</b>
3.2.1 Idéologie (Manage to Improve)	20
3.2.2 Objet et période de l'étude	20
3.2.3 Résultats antérieurs (GLY)	21
<b>3.3 Outils internes de collecte de données</b>	<b>22</b>
3.3.1 États de la soutireuse (Ivams)	22
3.3.2 Mise en relation avec les défaillances (Sabin)	24
<b>3.4 Investigation des axes de travail</b>	<b>24</b>
3.4.1 Points impactant le GLY	24
3.4.2 Points impactant la qualité	27

---

## 3.1 Outils de quantification de résultats

### 3.1.1 Indicateurs clés de performances

Le but de ce travail, comme demandé par ABI, étant d'améliorer la productivité des groupes 1 et 3, il est essentiel de pouvoir la quantifier. Il est nécessaire également de disposer d'outils permettant la prise de décisions et d'actions résultantes. C'est pourquoi, ABI comme beaucoup d'industries, a recours aux KPIs (Key Performance Indicators) ou indicateurs clés de performances. Il s'agit systématiquement d'un taux, un quotient, une moyenne ou un pourcentage permettant aux acteurs d'un projet de présenter de façon pertinente une donnée disponible à l'état brut. Ils facilitent la décision dans l'enclenchement de plans d'actions.

### 3.1.2 Gross Line Yield (GLY)

Parmi les indicateurs clés de performances utilisés par le géant de la bière, se trouve le GLY (Gross Line Yield) ou rendement brut de la ligne qui qualifie de façon pertinente la productivité. Pour une période donnée, il fournit le pourcentage du temps de production efficace sur le temps planifié :

$$GLY = \frac{\text{Temps de production efficace}}{\text{Temps planifié}} \quad (3.1)$$

Dans cette définition, les temps d'arrêt extérieurs inhérents à la fabrication, logistique ou encore à la qualité entrent en considération dans le temps de production planifié (Figure 3.4). Le LEF (Line Efficiency), quant à lui, ne prend pas en compte ces arrêts extérieurs, il est donc plutôt représentatif de l'efficacité au sein du conditionnement uniquement. C'est la première définition, relative à la productivité, que nous allons considérer.

## 3.2 Objectifs du groupe et du travail

### 3.2.1 Idéologie (Manage to Improve)

Le VPO (Voyager Plant Optimization, système managerial d'ABI), prône l'amélioration du fonctionnement des brasseries afin de délivrer des résultats dans une optique de développement durable. Il définit les targets annuelles ainsi que les projets. Il est également à l'origine de standards de travail uniformisés pour atteindre les objectifs au quotidien. L'approche PDCA (Manage to Improve) ou encore la méthode des 5M en font partie intégrante. Chaque brasserie est évaluée et se voit attribuer des points en regard des indicateurs et de 7 piliers (management, mains d'œuvre (people), qualité, sécurité, environnement, maintenance et logistique).

### 3.2.2 Objet et période de l'étude

Dans ce cadre, l'objectif du travail est de contribuer à atteindre les targets de GLY et d'augmenter encore les résultats. L'étape essentielle est de déterminer le type d'arrêts (DPA, extérieurs ou défaillances) qui représente la proportion la plus élevée du temps planifié par rapport à la production efficace.

Pour être en phase avec les besoins des groupes 1 et 3, il faut déterminer plus précisément où concentrer les efforts. La période de temps considérée pour l'analyse des impacts sur le GLY doit être choisie pour que les éléments qui en découlent soient toujours représentatifs de la situation actuelle. Une période de 4 mois à partir du 1<sup>er</sup> octobre 2015 jusqu'au 15 février 2016 semble acceptable.

### 3.2.3 Résultats antérieurs (GLY)

Les targets définies pour l'année 2015 restent inchangées en 2016 et leurs valeurs sont reprises dans le tableau suivant :

2015-2016	Target GLY (%)
JB1	58,6
JB3	57

TABLE 3.1 – Objectifs imposés par VPO sur le GLY - Targets 2015 et 2016

Nous avons repris dans les Figures 3.1 et 3.2 les résultats réalisés par les deux groupes au cours de la période définie. Les semaines de production sont numérotées de 1 à 53 de début janvier jusque fin décembre. Étant donné la définition du GLY, les semaines correspondant à des NST (Not Scheduled Time ; période des fêtes de fin d'année et périodes de révision notamment) n'ont pas été représentées.

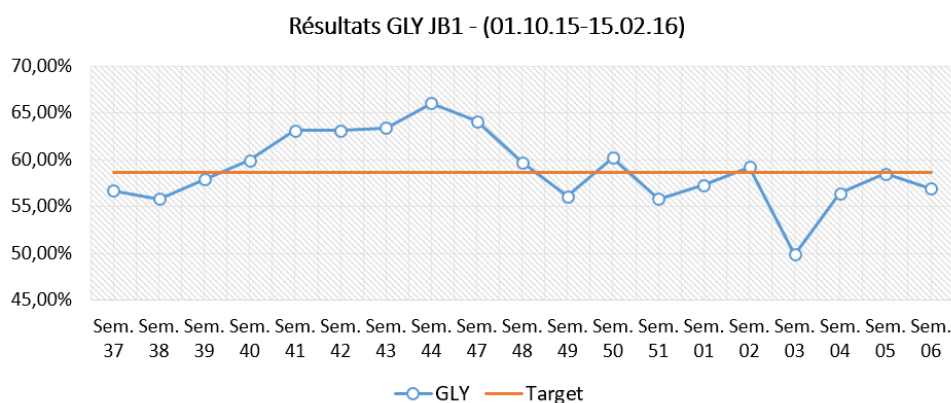


FIGURE 3.1 – Résultats hebdomadaires du GLY sur le groupe 1 - Octobre 2015 à février 2016

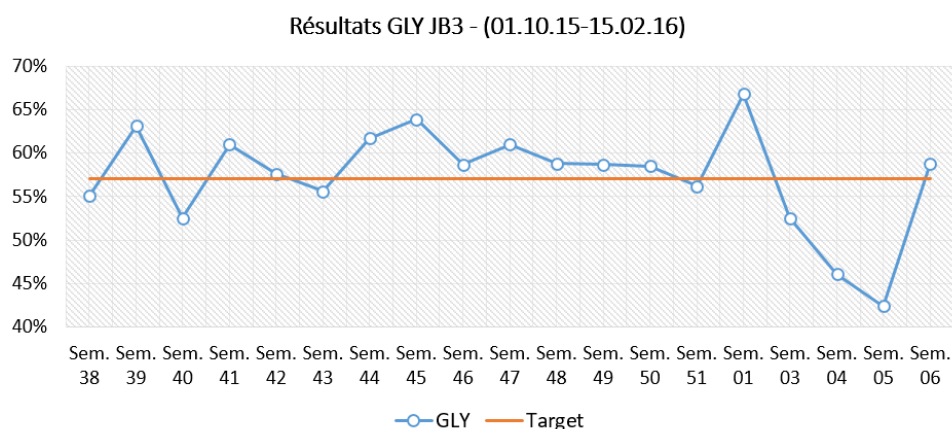


FIGURE 3.2 – Résultats hebdomadaires du GLY sur le groupe 3 - Octobre 2015 à février 2016

Il en ressort que les targets ne sont pas systématiquement dépassées ou au moins atteintes de semaine en semaine. Pour palier à ces manquements, il faut connaître les causes pertinentes qui ont un impact négatif sur la productivité. Une fois celles-ci identifiées, l'objectif suivant est d'y apporter des solutions techniques et améliorations.

### 3.3 Outils internes de collecte de données

#### 3.3.1 États de la soutireuse (Ivams)

Afin de déterminer les points à étudier, il est nécessaire de disposer de données sur la répartition du temps planifié au cours des 4 derniers mois. Le logiciel Ivams, utilisé par le groupe ABI, rend compte de l'état de la ligne en temps réel. Plus particulièrement, son interface permet d'observer une ligne du temps de la journée de production (Figure 3.3).



FIGURE 3.3 – Interface du logiciel Ivams reprenant l'état de fonctionnement du soutirage

### CHAPITRE 3. DÉFINITION DES OBJECTIFS ET INVESTIGATION DES AXES DE TRAVAIL

Les zones noires indiquent les arrêts de la soutireuse (machine de référence car elle définit la cadence du reste de la ligne). Les zones vertes reprennent les périodes de son fonctionnement et donnent une indication sur la vitesse de soutirage (axe vertical). La collecte de données Ivams n'est effectuée qu'au niveau de la soutireuse, sur base de son état de marche renseigné par un automate, sans prendre en compte les raisons des arrêts.

Lorsqu'il est prévu que la ligne produise (fraction du temps planifié (ST) qui ne prend pas en compte les activités planifiées (DPA)), les arrêts des autres machines de la ligne peuvent être de 2 natures :

- un arrêt ou perte de vitesse pour bourrage (accumulation de bouteilles) en aval ou défaut d'alimentation en amont (Speed losses);
- un arrêt pour défaillance, propre à la machine (Failures). Il requiert l'intervention d'un opérateur ou technicien pour redémarrer la machine et/ou la ligne.

Au delà des défaillances et des pertes de vitesse ou qualité, Ivams permet également d'afficher : les temps des activités prévues (DPA) tels que les nettoyages et contrôles qualité, les temps planifiés (NST) où aucune production n'est prévue, les arrêts pour causes externes (manque d'approvisionnement depuis la fabrication ou la logistique). Une vision schématique de la subdivision du temps est donnée à la Figure 3.4.

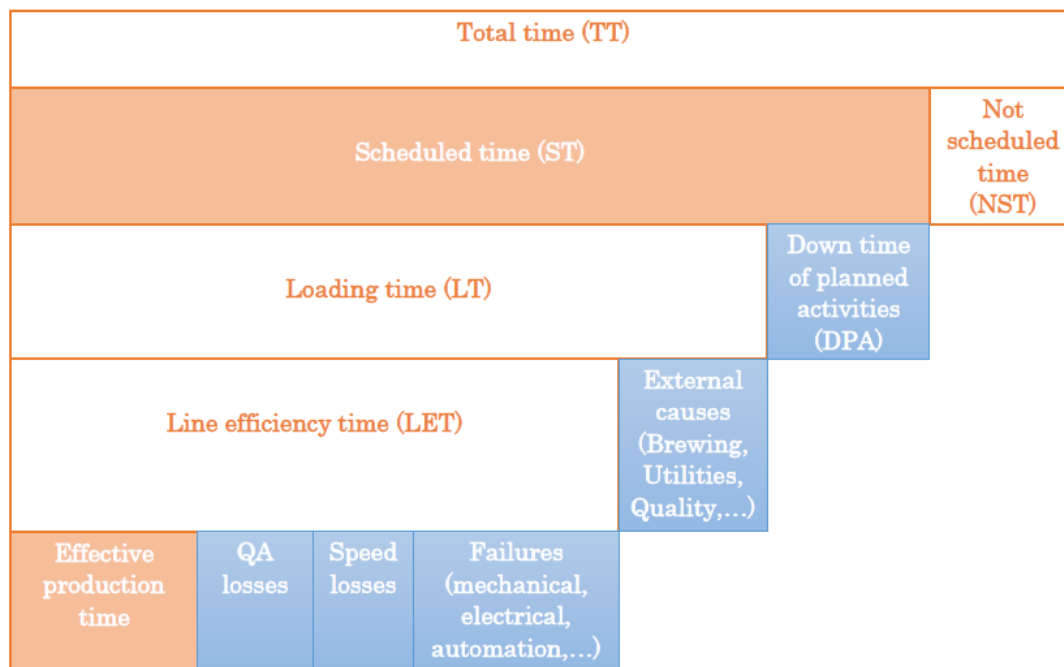


FIGURE 3.4 – Vision schématique de la répartition du temps sur une ligne de conditionnement



### 3.3.2 Mise en relation avec les défaillances (Sabin)

Ce sont uniquement les défaillances (symptômes et durées) qui vont être répertoriées dans le logiciel Sabin. Lors d'un défaut machine, le multi-opérateur est chargé d'encoder le symptôme relevé dans Sabin. Il met alors en relation les arrêts de la ligne avec ceux de la soutireuse, en distinguant les pannes qui affectent le soutirage de celles qui ne l'affectent pas. Il peut arriver, par exemple, que le dépalettiseur soit à l'arrêt, tandis que la soutireuse continue de tourner parce que l'approvisionnement de bouteilles en entrée reste suffisant. Grâce aux cadences assurées par les machines intermédiaires et aux zones tampons, le soutirage est loin d'être impacté par chaque panne.

Dans le système mis en place, les durées d'arrêts sont pondérées en fonction de l'impact et prises en compte en tant que tel dans le GLY. Le gain de cette procédure est la mise en relation des états de la soutireuse avec leur cause la plus probable. Toutefois, il ne faut pas perdre de vue que ces données sont liées au facteur humain et à sa perception de ce qu'il se passe sur la ligne. Il y a dès lors une part d'incertitude et de subjectivité dans les résultats qui seront approchés avec un esprit critique.

## 3.4 Investigation des axes de travail

### 3.4.1 Points impactant le GLY

#### Contributions au temps de production planifié

L'extraction de données brutes liées aux arrêts est possible dans Sabin (durée, symptôme et pondération). Ainsi, la Figure 3.5 représente les contributions au temps planifié pour la période étudiée. Pour rappel, sur base du diagramme, le GLY est obtenu en sommant tous les temps autres que celui de production efficace et en prenant la proportion de cette somme par rapport à la production efficace.

Les durées des défaillances (en orange sur l'histogramme empilé) ont impacté le plus lourdement la production planifiée sur le groupe 1. Pour le groupe 3, par contre, les activités prévues ont été d'importance sensiblement égale aux défaillances. Cela s'explique par les temps de changement de formats, non existant sur le groupe 1. Les arrêts machines se classent en tête des impacts sur le rendement brut, il est dès lors judicieux de se focaliser sur cet axe.

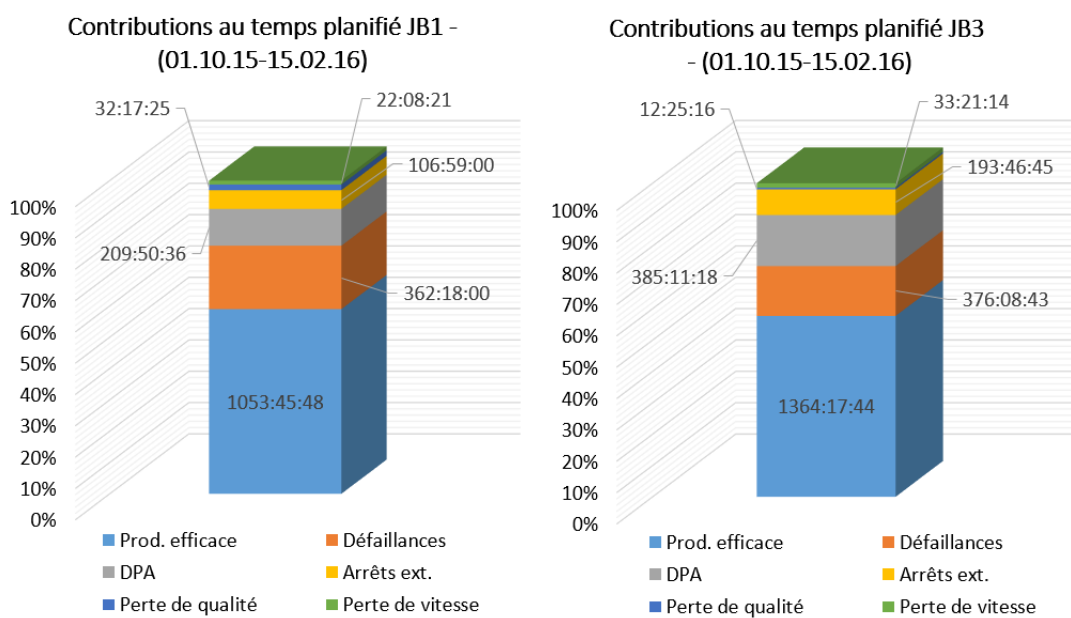


FIGURE 3.5 – Contributions au temps de production planifié des groupes 1 et 3 - Octobre 2015 à février 2016

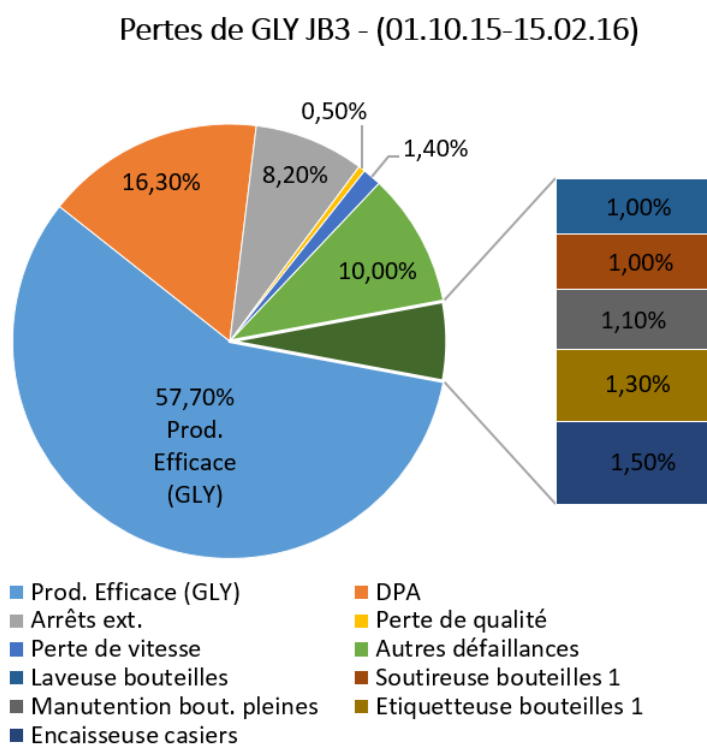
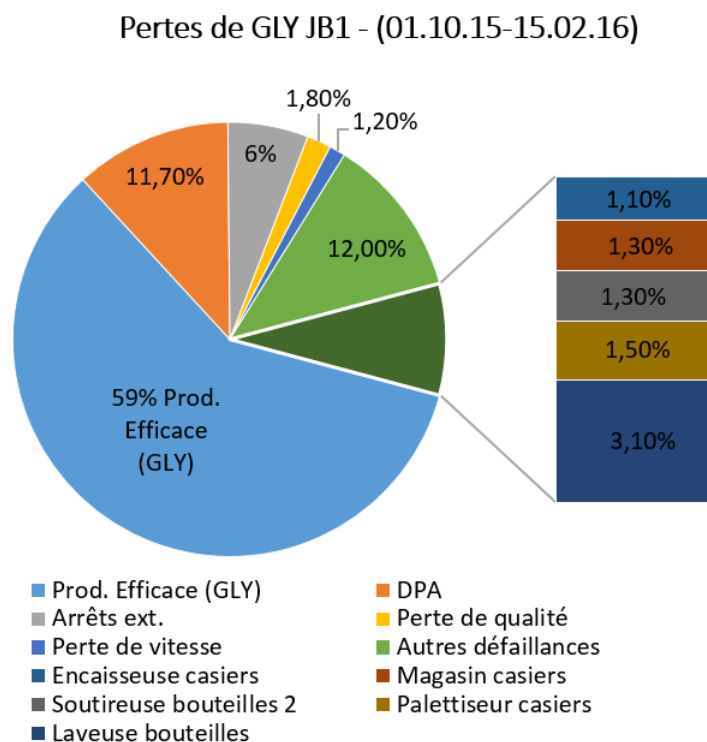


FIGURE 3.6 – Sources et pourcentages des pertes de GLY sur les groupes 1 et 3 - Octobre 2015 à février 2016

### Contributions aux défaillances

Le GLY se chiffre à 59% et 57.7% respectivement pour les groupes 1 et 3 lorsqu'il est calculé sur la base de 4 mois. La Figure 3.6 donne, pour chaque type de temps, le pourcentage de perte de GLY qu'il a engendré.

Le travail étant orienté vers les défaillances, les 5 machines qui contribuent le plus à la perte de rendement brut ont été extraites. Il en ressort, sur le groupe 1, que la laveuse bouteilles est à l'origine d'une perte de 3,1%, ce qui représente le double des autres machines en tête du classement. Sur le groupe 3, cette machine constitue également le top 5 des défaillances mais sa contribution ne se distingue pas aussi largement.

Puisque l'impact sur le groupe 1 a une telle importance relative, c'est cette machine qui, sans conteste, fera l'objet de la démarche d'amélioration. Par ailleurs, il a été décidé que les efforts seront concentrés essentiellement sur le groupe 1. La configuration semblable du groupe 3 laisse penser que le résultat de l'étude y sera facilement transposable si nécessaire.

### 3.4.2 Points impactant la qualité

#### Indicateurs des plaintes clients

Outre le rendement de la ligne auquel elle est indirectement liée, la gestion de la qualité est constamment au centre des préoccupations d'ABI. Parmi les cibles (targets) de l'usine, les deux premières sont actuellement la productivité et les plaintes clients (Consumer Complaints).

L'unité de l'indicateur clé qui évalue les plaintes clients est le ppb (part per billion). Sur base du nombre de bouteilles produites au cours d'une période donnée, la proportion du nombre de plaintes clients obtenues sur cette même période est évaluée. En extrapolant, on chiffre alors le nombre de plaintes par milliard de bouteilles produites. La target se situe pour les années 2015 et 2016 à 450 ppb. Elle était loin d'être atteinte au cours de l'année dernière, essentiellement en deuxième partie d'année (Figure 3.7).

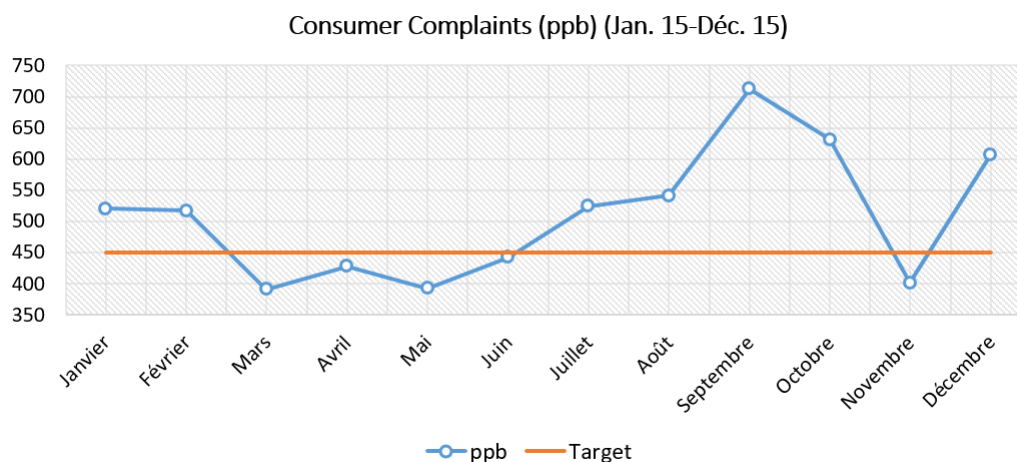


FIGURE 3.7 – Résultats mensuels des plaintes clients (ppb) - Année 2015

### Résultats antérieurs et plan d'actions

Les plaintes sont classées selon différentes catégories (mauvais goût ou odeur, bouteille cassée, sous-remplie, capsule rouillée, mauvaise bouteille,...). Les chiffres indiquent que fin 2015, ce sont les catégories "goût/odeur" et "mauvais contenant" qui arrivaient en tête.

Le problème des bouteilles étrangères trouve son origine dans la fiabilité des trieuses. Ces machines réalisent l'inspection des vidanges (returnable bottles) et détectent et éjectent les mauvais formats, les mauvaises couleurs de verre, les bouteilles capsulées ou cassées. L'assurance de fiabilité se situe au niveau de la caméra (précision de détection) ainsi qu'au niveau du système d'éjection qui doit être en mesure d'enlever la bonne bouteille au bon moment.

En outre, l'usine est actuellement confrontée à l'obsolescence de ses machines (le fournisseur n'existe plus) et n'a donc pas de possibilité de support technique. Compte tenu de ces éléments, un investissement est réalisé afin d'équiper les groupes 1 et 3 de nouvelles machines.

En plus de la fiabilité, ces machines offrent également la garantie d'atteindre en régime nominal la cadence de 45.000 b/h chacune. On réduit ainsi les pertes potentielles de GLY dues à l'incertitude sur la vitesse des anciennes trieuses. La qualité et le rendement de la ligne sont dans le cadre de ce projet, intrinsèquement liés.

# Chapitre 4

## Outils d'analyse PDCA et application à la laveuse bouteilles

*Le but de ce chapitre est d'expliquer les principes de fonctionnement du lavage des bouteilles et d'appliquer la première étape (Plan) de la procédure d'amélioration continue Plan Do Check Act. Le chapitre décrira les différents outils d'analyse qui, à partir des mesures brutes, permettent de déterminer les causes des arrêts de la machine ainsi que de déterminer sur lesquels agir en priorité et quelles actions planifier (Do).*

### Sommaire

---

<b>4.1</b>	<b>La méthode PDCA</b>	<b>30</b>
<b>4.2</b>	<b>La laveuse bouteilles</b>	<b>31</b>
4.2.1	Spécifications techniques	31
4.2.2	Principes actifs	31
4.2.3	Accumulation et chargement	32
4.2.4	Sections de traitement	33
4.2.5	Déchargement	34
<b>4.3</b>	<b>Root Cause Analysis</b>	<b>35</b>
4.3.1	Critique des mesures disponibles	35
4.3.2	Prioritisation (diagramme de Pareto)	36
4.3.3	Brainstorming ("5 Why's")	37
4.3.4	Formalisme 5M et diagramme d'Ishikawa	40
4.3.5	Benchmarking	42
4.3.6	Conclusion	43

---

## 4.1 La méthode PDCA

La méthode PDCA, "Plan, Do, Check, Act" (ou roue de Deming) s'inscrit dans le cadre d'un processus d'amélioration continue et sera appliquée au cas de la laveuse bouteilles. Elle est en phase avec les méthodes de lean management d'ABI. Comme indiqué à la Figure 4.1, elle s'articule en 4 étapes se succédant l'une l'autre dans un ordre bien déterminé. Elle donne lieu à une procédure cyclique répétée autant de fois que nécessaire afin d'atteindre l'amélioration escomptée. Elle est fortement basée sur l'expérience acquise et mène à la fin du cycle à la remise en question des actions menées.

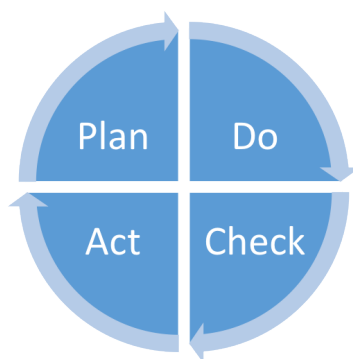


FIGURE 4.1 – Méthodologie PDCA - Plan Do Check Act (roue de Deming)

### Plan

C'est cette étape qui définit le problème et en mesure l'ampleur grâce à des indicateurs précis. Elle doit permettre d'identifier les causes racines, en extraire les plus représentatives ou impactantes après avoir établi les objectifs. Finalement, elle sert alors à lister les démarches possibles et planifier les actions correctives.

### Do

L'étape de réalisation consiste à mettre en place ce qui a été défini avec les ressources du plan d'actions. Les opérations correctives sont souvent réalisées à plus faible échelle et, ensuite, étendues à l'ensemble si leur efficacité est validée.

### Check

Le contrôle est nécessaire afin de mesurer les écarts par rapport aux objectifs fixés. Les causes des dérives par rapport à la situation souhaitée sont inférées à cette étape. Pour ce faire, il est fréquent de comparer le résultat à la situation initiale et à la situation idéale.

### Act

La dernière étape est celle des actions correctives sur base des constatations de l'étape précédente. On formalise à ce moment les méthodes appliquées afin d'en assurer la pérennité. De nouveaux objectifs et points d'amélioration sont définis tant que le niveau attendu n'est pas atteint.

Ces 4 étapes doivent être appliquées avec rigueur. Il est essentiel de procéder à la vérification des résultats obtenus afin d'assurer l'accumulation d'expérience pour développer des actions plus efficaces. Dans ce cadre, c'est un système de documentation ou d'audit tel que mis en place par le VPO qui assure la capitalisation des bonnes pratiques.

## 4.2 La laveuse bouteilles

### 4.2.1 Spécifications techniques

La laveuse bouteilles de la marque Krones est installée sur le groupe 1 depuis 5 ans. Sa vitesse constructeur lui assure de pouvoir traiter 120.000 b/h à pleins régime (vitesse nominale). Le temps de séjour d'une bouteille y est de 24,44 minutes et la machine consomme en moyenne 0,15l d'eau pour traiter un récipient du format 25cl.



FIGURE 4.2 – Entrée de la laveuse bouteilles du groupe 1 - ABI Jupille

### 4.2.2 Principes actifs

L'objectif du lavage est de nettoyer et assainir les vidanges d'un point de vue bactériologique afin de leur permettre d'être remplies et commercialisées à nouveau. Pour atteindre cet objectif, 4 effets sont indissociables dans le processus :

- la température, elle accélère la cinétique des réactions chimiques ;
- une action chimique, la soude caustique extrait les étiquettes et la colle ;
- le temps, il assure aux réactions de dissoudre l'entièreté des résidus d'étiquettes ;
- une action mécanique, les injecteurs nettoient l'intérieur de la bouteille.



### 4.2.3 Accumulation et chargement

Lors de leur arrivée sur la table d'accumulation (Figure 4.2), les bouteilles sont réparties en file indienne dans des couloirs séparés par des guides métalliques. Elles sont entraînées en direction de la machine pour y être insérées rangée par rangée (Figure 4.3).

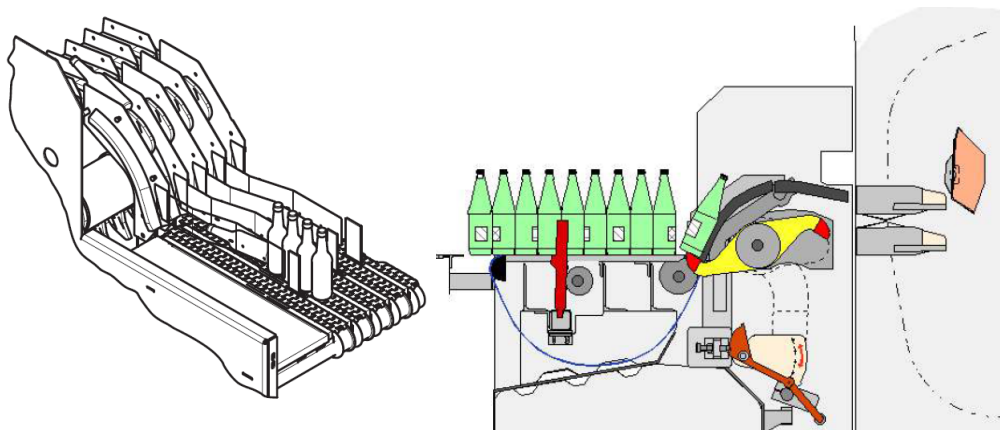


FIGURE 4.3 – Table d'accumulation et mécanisme de chargement de la laveuse bouteilles du groupe 1 - ABI Jupille

En bout de table, deux doigts (montés à 180° sur un arbre), soulèvent tour à tour une bouteille. Elle glisse le long d'un profil de chargement incliné et est insérée dans un panier en forme d'alvéole, appelé godet. La combinaison entre rotation et mouvement linéaire transmis à l'arbre par une bielle donne une trajectoire elliptique qui assure l'insertion. Ce mécanisme est illustré à la Figure 4.3.

Il y a 74 godets sur chaque rangée. Ils ont un contour en acier inoxydable et leur fond est pourvu d'un panier en plastique où vient se loger le goulot. Les extrémités de chaque porteur sont entraînées par une chaîne qui parcourt l'intérieur de la laveuse (Figure 4.4).

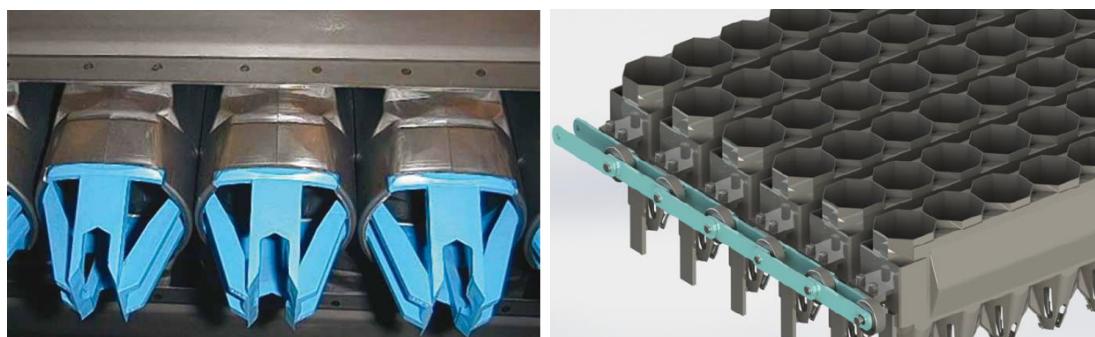


FIGURE 4.4 – Système de porteurs de godets de la laveuse bouteilles du groupe 1 - ABI Jupille

#### 4.2.4 Sections de traitement

L'intérieur de la laveuse bouteilles est partitionné en 3 sections comme indiqué à la Figure 4.5.

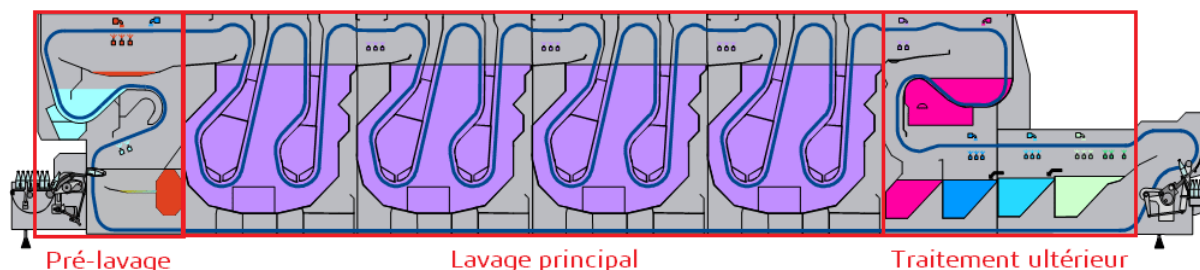


FIGURE 4.5 – Schéma du process de lavage des bouteilles avec 3 sections : le pré-lavage, le lavage principal et le traitement ultérieur

##### Pré-lavage

Grâce aux injecteurs haute pression et au bain d'eau de la zone de pré-rinçage, les bouteilles subissent une montée progressive en température avant les bains chauds. Cette section assure le retrait des résidus grossiers (liquide, mégots, insectes, saletés,...). Ainsi, on préserve les équipements et la qualité des bains en amont. La seconde injection acclimate la bouteille puisque la cuve de pré-rinçage est alimentée par la solution post-caustique en bout de machine. Sa concentration en soude est très faible (0,2%). L'eau du premier contact est drainée vers les égouts.

##### Lavage principal

Les contenants subissent 2 immersions successives dans 4 bains de soude caustique (Figure 4.5) séparés par une série d'injecteurs. La soude et les additifs assurent la propreté biologique et la dégradation des étiquettes. Les concentrations varient de 1 à 3,5% en fonction du temps d'immersion et de la température (répartition à la Figure 4.6).

Chaque bain comprend un dispositif d'extraction d'étiquettes. Un tamis les extrait de la cuve grâce à la recirculation d'une pompe verticale. Un système de brosses évacue les étiquettes sur un transporteur-collecteur qui les conduit vers la presse. Celle-ci réduit la teneur en humidité et le volume du papier.

Un système de pompe et de filtration équipe les cuves afin de limiter l'obturation des conduites (particules de papier dissous). Une consigne de pression force le basculement vers un filtre complémentaire lorsque le premier est encrassé.

##### Traitement ultérieur

Les bouteilles sont immergées dans la solution post-caustique (eau avec faible teneur en soude provenant des bouteilles). Cette solution alimente également les injecteurs après les bains. Les bouteilles sont amenées à température ambiante et rincées par les injections de 2 bains d'eau chaude suivies d'un rinçage final à l'eau fraîche.

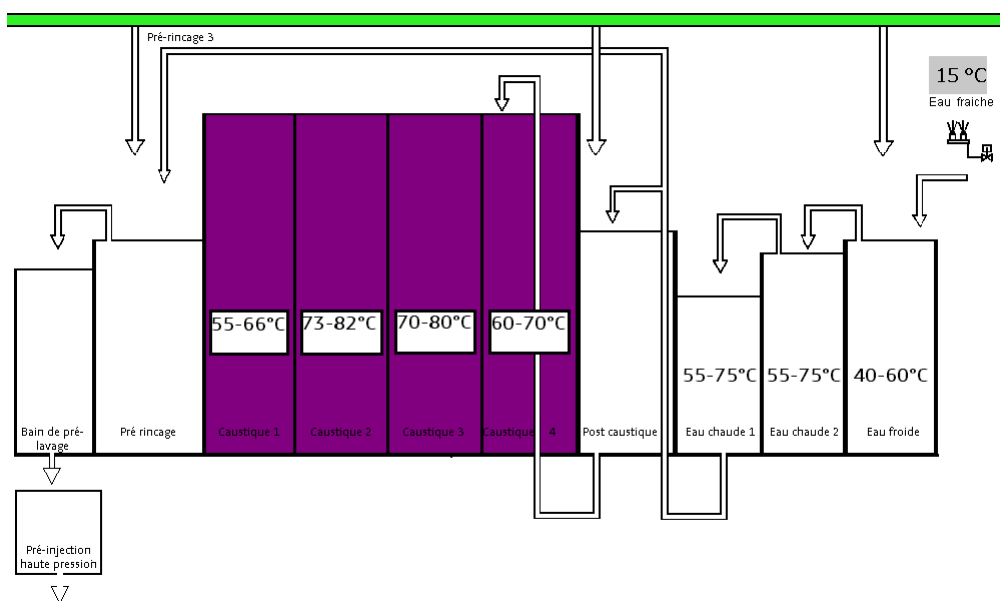


FIGURE 4.6 – Flux d'eau à travers les différentes cuves de la laveuse bouteilles du groupe 1 - ABI Jupille

L'eau fraîche s'écoule en cascade à travers la machine dans le sens opposé au transport des bouteilles ce qui permet de renouveler les baigns en permanence et d'avoir une bonne gradation de la température lors du refroidissement (Figure 4.6).

#### 4.2.5 Déchargement

L'entrée et la sortie se trouvent aux extrémités opposées pour ne pas contaminer les récipients propres. En sortie, le fond de la bouteille longe une glissière et un doigt prend le relais en la guidant le long d'un profilé pour la déposer. Une traverse de déchargement pivote vers l'avant et pousse la bouteille sur le transporteur (Figure 4.7).

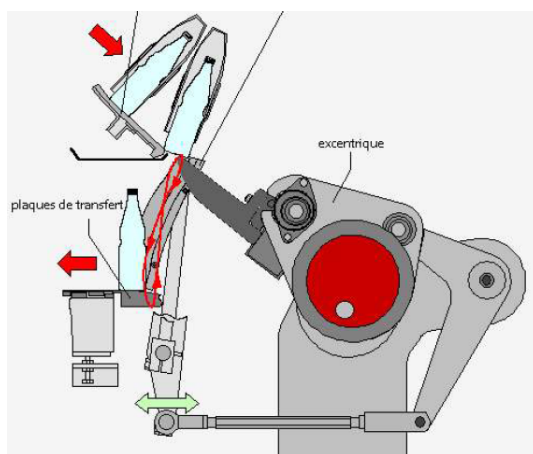


FIGURE 4.7 – Mécanisme de déchargement de la laveuse bouteilles du groupe 1 - ABI Jupille

### 4.3 Root Cause Analysis

Le fonctionnement global de la machine étant connu, la première étape de la procédure est la planification du travail à réaliser. Pour cela, il faut identifier et classer par voie de priorité les causes racines qui mettent la machine en défaut. Les méthodes d'analyse et leur succession ont été mises en œuvre compte tenu de la nature de l'indicateur fixé ainsi que des données qu'il est possible de récolter.

#### 4.3.1 Critique des mesures disponibles

Lors de la collecte de données, il faut distinguer les symptômes d'un arrêt de sa cause racine. Les premiers sont générés automatiquement dans les messages de supervision tandis que les seconds sont moins apparents. Par exemple, la solution post-caustique qui se vide est le symptôme, tandis que le dysfonctionnement de l'actionneur pneumatique de la vanne en est la cause originelle.

Les intitulés des arrêts répertoriés dans Sabin sont généralement des symptômes, la plupart acquittés par intervention humaine, sans trace écrite supplémentaire (excepté lors d'interventions de la maintenance). Comme déjà mentionné, ils sont pondérés en fonction de leur impact sur le soutirage. Lors de l'encodage dans Sabin par le multi-opérateur, ils sont affectés d'un coefficient. Il est égal à 0 si l'arrêt n'a pas eu d'impact sur le soutirage. Lorsque les 2 soutireuses sont impactées, ce coefficient vaut 1. Si l'alimentation est suffisante au fonctionnement d'une des deux soutireuses, la valeur 2 sera affectée et ainsi de suite.

Ce système d'encodage dépend, comme déjà dit, très fortement du facteur humain et du degré d'exactitude qui fluctue avec le ressenti. C'est pourtant le système de mesures primaire qui doit permettre de quantifier les dérives. La répétabilité est difficile à certifier, 2 arrêts équivalents n'ayant jamais lieu. Pour les besoins du travail, nous supposons que les arrêts sont rapportés de façon identique et que le même procédé est suivi afin de les encoder. Ils ont toutefois été triés et reclassés lorsque la description le permettait afin de réduire sensiblement l'erreur.

Seuls les arrêts avec un impact sur le soutirage, donc sur le GLY sont pris en compte. Certains arrêts avec pondération nulle peuvent avoir nécessité une demande d'intervention de la maintenance (notifiée dans Sabin), qui n'a généralement pas lieu sans mettre la machine à l'arrêt. Il sera supposé qu'elles ont été programmées au cours d'une activité planifiée ou qu'elles étaient couvertes par les défaillances d'une autre machine.

### 4.3.2 Prioritisation (diagramme de Pareto)

Les données obtenues peuvent être représentées sous forme d'un diagramme de Pareto. Il a l'avantage de présenter les arrêts en fonction de leur nombre d'occurrences et ainsi de mettre en avant la hiérarchie parmi les symptômes de défaillances. L'axe des abscisses classe les catégories par ordre décroissant d'occurrences. Elles sont alors quantifiées par l'axe principal des ordonnées et l'axe secondaire en indique le pourcentage cumulé. La loi de Pareto se base sur la le principe des 80/20 qui met en évidence 20% des causes sur lesquelles il faut agir afin de résoudre 80% du problème posé. Ainsi, il nous permet de déterminer de façon factuelle sur quel levier agir afin d'améliorer la problématique posée.

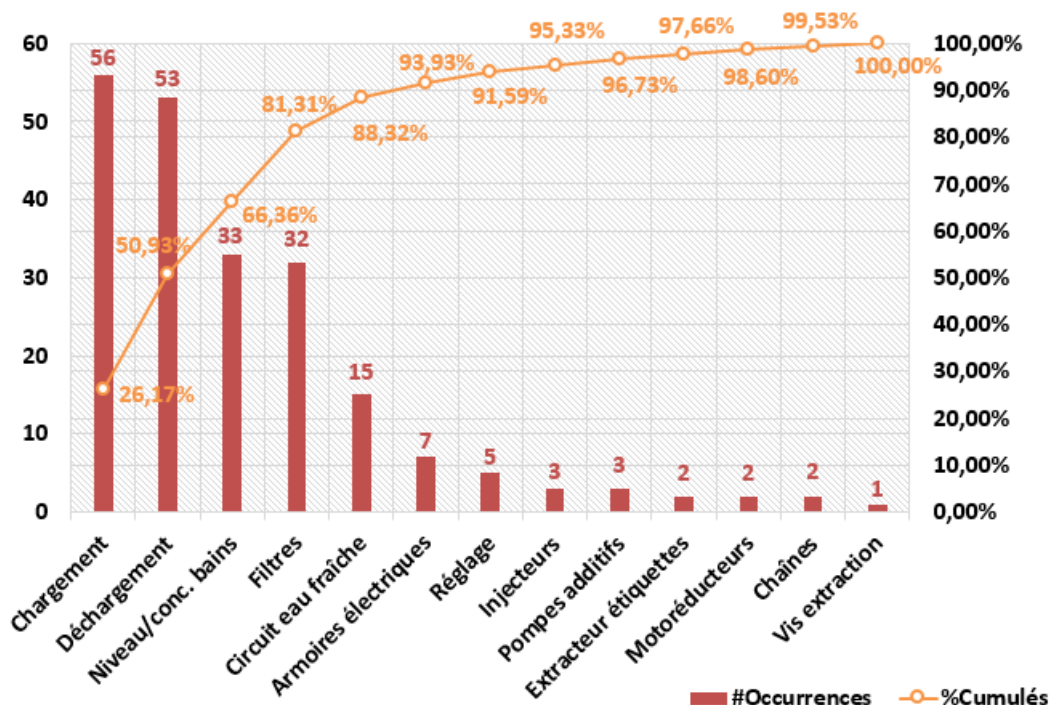


FIGURE 4.8 – Diagramme de Pareto des défaillances de la laveuse bouteilles du groupe 1 - Octobre 2015 à février 2016

La Figure 4.8 indique que ce sont les défauts de chargement, déchargement, de niveaux des bains et des filtres qui ont eu lieu aux fréquences les plus élevées sur la période de l'étude. Les deux premiers cumulent ensemble 50% en nombre des arrêts. Les pourcentages cumulés (courbe orange) montrent que 4 causes ont induit 80% des arrêts. En pratique, nous avons donc une loi des 80/30 qui indique que l'on peut donner priorité à certains axes de travail.

Pour que la démarche soit cohérente, il faut donner de l'importance également à la durée des arrêts afin de tirer les bonnes conclusions. En effet, certains peuvent être significativement plus fréquents que d'autres mais impacter la ligne pour des périodes bien plus brèves. Les 2 aspects doivent donc être corrélés.

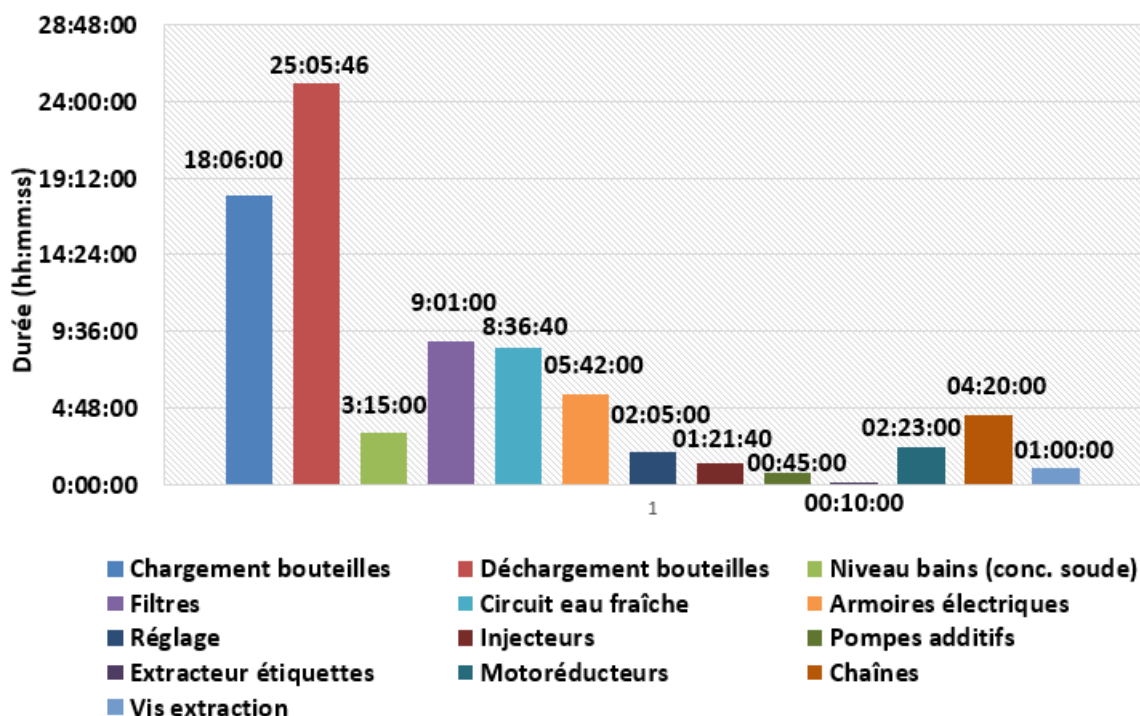


FIGURE 4.9 – Durée totale des défaillances de la laveuse bouteilles du groupe 1 - Octobre 2015 à février 2016

La Figure 4.9 indique que la durée totale des crashes au déchargement a été plus importante que celle au chargement. La durée moyenne (durée totale/nombre d'occurrences) d'une défaillance du déchargement cumule en effet 10 minutes de plus. L'analyse de la durée inverse largement la hiérarchie entre les 3<sup>eme</sup> et 4<sup>eme</sup> symptômes. Puisque c'est le temps de production efficace qui nous intéresse, les filtres se classent avant le niveau des bains.

Plus de 50% du temps de défaillances étant lié au chargement et au déchargement, les efforts seront concentrés prioritairement sur ces points étant donné la courte période à disposition dans le cadre de notre présence en entreprise.

### 4.3.3 Brainstorming ("5 Why's")

L'étape suivante de l'analyse est de comprendre ce qui impacte fondamentalement le chargement et déchargement. Les brèves descriptions disponibles dans Sabin ne sont pas suffisamment explicites afin d'en replacer le contexte. Nous avons donc rassemblé différents intervenants autour d'un brainstorming.

L'aspect pluridisciplinaire de cette séance de réflexion est essentielle; nous avons fait appel tant aux techniciens réalisant les interventions et les plans de maintenance préventive qu'aux FLMs pour leur gestion de la ligne au quotidien et finalement aux opérateurs qui

sont au contact de la machine et interviennent en première ligne. De plus, nous avons eu l'occasion d'échanger ultérieurement avec le spécialiste ABI de la laveuse bouteilles.

Le formalisme "5 Why's" nous sert de fil conducteur dans l'identification des causes racines (root causes). Partant des symptômes qui justifient au premier abord les dysfonctionnements, la méthode en infère graduellement l'origine fondamentale (en répondant systématiquement à une question débutant par "pourquoi"). Le travail prend fin lorsque l'on dispose d'éléments sur lesquels agir pour atténuer la problématique. Ainsi, 3 symptômes ont été analysés et les conclusions obtenues sont les suivantes :

#### **Le capteur de détection de bouteilles est activé**

Un capteur de détection de présence met la machine en défaut lorsqu'une bouteille est mal positionnée sur les profils d'insertion (à l'envers ou couchée en travers les guides). Cette situation se produit lorsqu'il y a une bavure dans la matière d'usure ou lors de la mauvaise prise par le doigt. Le capteur peut aussi être déclenché par la présence de vapeur d'eau. Dans ce cas, l'origine est une lacune des échangeurs de chaleur (rinçage-pré lavage) ou la condensation générée lorsque les bouteilles gelées sont plongées dans l'atmosphère chaude de la machine en hiver.

#### **Le tablier est en surcharge**

La force d'entraînement du chargement est transmise et soutenue par un vérin pneumatique (sa pression est réglée pour la consigne de couple maximal). Lorsqu'une force anormale est exercée (oppose résistance au mouvement), la pression de l'air comprimé n'est plus suffisante et le piston se rétracte (détente). En fin de course, il active un détecteur de proximité qui arrête la machine et l'électrovanne d'arrivée d'air. Aucune force ne peut être transmise et l'accouplement magnétique arrête l'entraînement. Pour libérer le détecteur de proximité, il suffit d'enclencher le bouton-poussoir qui permet d'embrayer à nouveau. En outre, nous avons identifié 3 situations à l'origine du débrayage de la machine :

- 1) Une bouteille peut être coincée entre le doigt de chargement et le bord du godet pour deux raisons :
  - Le godet n'est pas à la bonne hauteur au moment où la bouteille est insérée. Il peut y avoir une désynchronisation temporelle entre le moteur de l'entraînement et les servomoteurs qui assurent le mouvement des godets. Les réglages de la géométrie du mécanisme peuvent aussi être en cause. Les ajustements sont réalisés sur base de l'expérience ou éventuellement par essai-erreur lorsque les problèmes interviennent.
  - Il y a actuellement une flèche de 20mm au centre des porteurs de godets. Toutes les bouteilles ne sont donc pas insérées à même hauteur par rapport au bord du godet, ce qui augmente le risque d'un blocage. Des pourparlers avec le fournisseur sont en cours afin de trouver une solution (remplacement des porteurs).

- 2) Le contour en acier inoxydable des godets peut se plier. La bouteille a des difficultés à s'y insérer et il est nécessaire d'intervenir pour le redresser. Ce sont les bouteilles elles-mêmes qui peuvent être à l'origine de cette déformation lorsqu'elles sont poussées trop loin par le doigt (réglages géométrique).
- 3) Il est fréquent qu'une bouteille soit insérée à l'envers (goulot en arrière). Le point de contact entre le doigt et le fond de la bouteille n'est pas bon par rapport à son centre de gravité parce qu'elle n'a pas basculé correctement en fin de table d'accumulation. Elle chute lorsqu'elle est soulevée (entraînant parfois d'autres bouteilles) et est insérée à l'envers par le doigt suivant. L'origine de ce problème est le manque de poussée dans le couloir qui n'est pas bien alimenté (bouteilles tombées et bloquées par la forme en "S" prévue à cet effet ou bloquées à l'entrée du couloir). Plusieurs pistes influencent le remplissage des couloirs :
- Les nouvelles bouteilles arrivent couchées depuis la déballeuse. L'origine en est la configuration de la machine qui n'est pas prévue pour s'adapter aux différences de hauteur dans les palettes de fournisseurs différents. La prise des bouteilles peut être compromise. Les bouteilles couchées bloquent les entrées des couloirs.
  - Les étiquettes s'amassent en grande quantité dans les couloirs lorsque les conditions climatiques sont mauvaises (les casiers sont stockés en zone extérieure). Elles empêchent le passage et font chuter les bouteilles.
  - Le frottement qui s'oppose au mouvement des bouteilles sur les convoyeurs peut les faire chuter s'il est trop important. Il est directement lié aux conditions de lubrification des transporteurs.
  - La régulation au désaligneur en sortie des trieuses peut entraîner des chutes de bouteilles si elle n'est pas suffisamment adaptée. De plus, si la cadence de ces machines n'est pas assurée, le flux de bouteilles qui arrive à la table d'accumulation n'est pas constant.
  - La mauvaise répartition des bouteilles sur les convoyeurs d'entrée crée une poussée excessive en bout de table. Le mouvement des bouteilles les unes par rapport aux autres est limité et bloque l'accès à certains couloirs. Cette tendance est encore plus forte lors de l'introduction de lots de nouvelles bouteilles (projection ou éclatement).

Il existe deux programmes pour la vitesse des convoyeurs en fonction du type de bouteilles traité. Toutefois des paramètres fiables n'existent pas, ils sont adaptés par essai-erreur selon les conditions observées. De plus, le revêtement des bouteilles neuves (traitement de surface du verre) influence leur adhérence et le frottement sur le convoyeur.



### La machine est arrêtée pour nettoyage

Ce dernier type d'arrêt apparaît dans les encodages Sabin. Lorsqu'il n'est plus possible de fonctionner dans de bonnes conditions à cause de l'accumulation de saletés et principalement d'étiquettes, l'opérateur est contraint d'arrêter la machine pour nettoyage. Ces arrêts peuvent être dus à un manque d'actions préventives ou d'attention portée à la machine et sont, une fois de plus, liés au facteur humain.

Bien évidemment, il a fallu observer et confirmer ces phénomènes visuellement sur la ligne. Les crashes les plus fréquents sont ceux qui débrayent le chargement, comme attendu au regard des chiffres. Suite au brainstorming, il apparaît que de nombreux éléments sont susceptibles d'améliorer les conditions de remplissage des couloirs. Afin d'obtenir une idée plus structurée de ces éléments nous avons eu recours à d'autres outils qui font l'objet de la section suivante.

L'observation sur la ligne a également permis de conclure qu'agir sur le chargement permettrait de résoudre bons nombres de crashes au déchargement. En effet, les problèmes essentiels en sortie sont la chute des bouteilles insérées à l'envers. Etant donnée l'étendue des points sur lesquels agir, nous n'avons pas poussé plus loin l'analyse du déchargement.

#### 4.3.4 Formalisme 5M et diagramme d'Ishikawa

Une représentation synthétique des causes élucidées peut être obtenue grâce à la méthode des 5M ou d'Ishikawa (diagramme en arrêtes de poisson). Celle-ci les classe selon 5 familles :

- **Milieu** : l'environnement de travail (physique), son aspect, les aménagements, les conditions ambiantes,...
- **Main d'œuvre** : les ressources humaines, les qualifications, motivations, l'expérience, la communication,...
- **Méthodes** : les instructions, les procédures, techniques, consignes,...
- **Machines** : les (mauvais) réglages, les équipements, les capacités, la maintenance,...
- **Matières** : les composants du produit, leur qualité, stockage, la manutention,...

Le résultat de cette vision schématique est représenté à la Figure 4.10. La flèche horizontale du diagramme pointe vers le problème posé et les flèches secondaires sont celles des familles de causes potentielles. Il reste alors à rechercher parmi celles-ci, les plus probables. Nous nous donnons comme critère de sélection la fréquence des crashes qu'elles influencent directement. D'autres facteurs agissant de façon indirecte, mais dont l'amélioration serait notable, seront ensuite considérés.

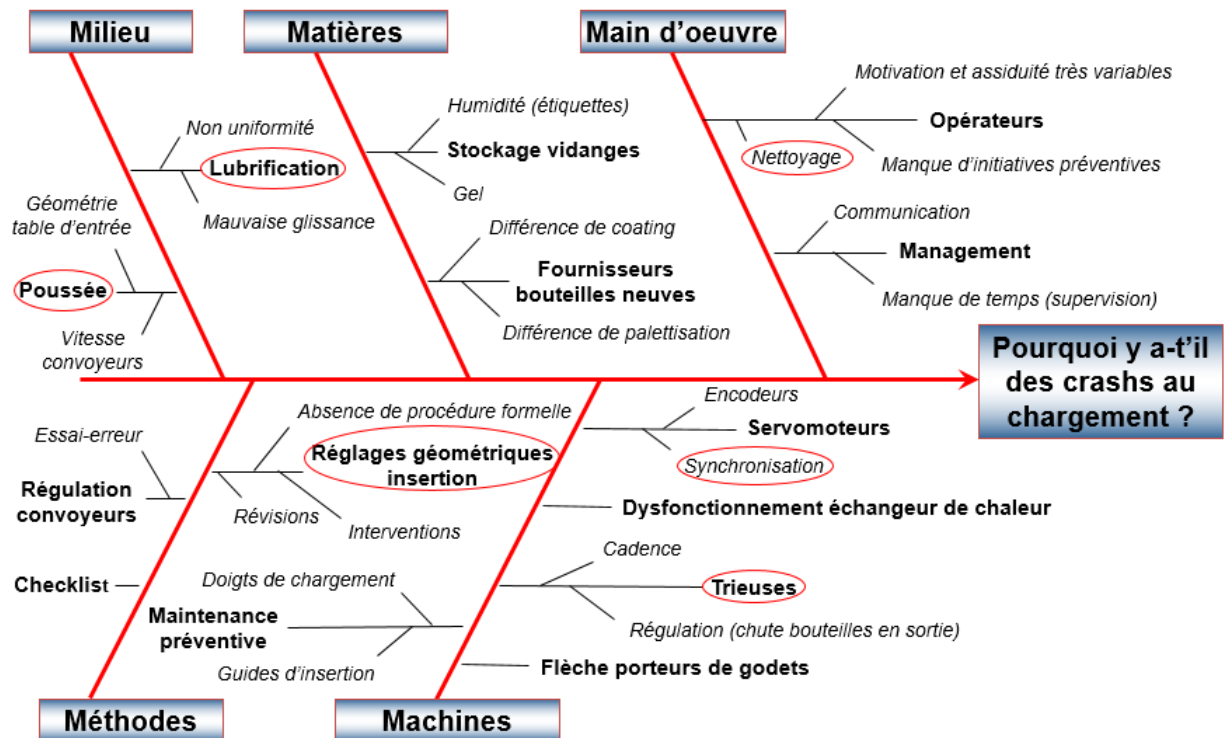


FIGURE 4.10 – Diagramme d'Ishikawa des causes racines aux défaillances du chargement

Il est évident que le problème fondamental est la répartition des bouteilles et la poussée qu'elles subissent. L'étude de paramètres qui influencent directement le phénomène (vitesse et géométrie) semblent l'approche la plus judicieuse pour espérer faciliter le remplissage des couloirs.

Cette étude n'a de sens que si tout est mis en œuvre pour qu'aucun élément n'entrave le déplacement des bouteilles et leur chargement. Quelle que soit l'approche, les paramètres seront déterminés dans une situation idéale. Les conditions dans lesquelles se déplacent réellement les bouteilles doivent s'en approcher au mieux pour espérer pouvoir exploiter les résultats.

Le premier élément clé sur lequel pouvoir s'appuyer est la qualité de la lubrification des convoyeurs qui doit remplir son rôle. On prend ainsi en compte la capacité des bouteilles à glisser sans chuter. Il faut évidemment pouvoir compter sur l'entretien des installations et particulièrement la propreté des couloirs de la machine. Finalement, il faut pouvoir éliminer les incertitudes liées aux réglages des mécanismes de chargement et valider cet aspect.

Ainsi, le travail d'amélioration se base essentiellement sur l'assurance des conditions de bon fonctionnement du processus et de son environnement. Les points sur lesquels nous pouvons et allons agir sont entourés en rouge dans le diagramme d'Ishikawa (Figure 4.10).

### 4.3.5 Benchmarking

Afin de compléter cette étape de l'analyse, nous avons eu l'opportunité de nous rendre dans la brasserie de Louvain qui possède des lignes d'embouteillage similaires (LB6, Leuven Bottling line 6). Le benchmarking qui en découle est une technique d'amélioration qui vise à comparer la situation actuelle à la situation idéale en relevant et appliquant les pratiques d'une autre organisation (interne ou externe au groupe). L'application au cas de la laveuse peut sembler intéressant dans la mesure où cette machine ne présente qu'un nombre très faible de crashes à Louvain et le chargement n'y est pas problématique.

La première constatation effectuée concerne l'insertion de bouteilles neuves. Un lot de bouteilles neuves est placé sur la ligne uniquement à la fin d'un lot de vidanges, il y donc moins de disparités dans le frottement des bouteilles. A Jupille, cette façon de procéder n'est pas applicable, la déballeuse n'étant pas en mesure de suivre la cadence.

Deuxièmement, le problème des étiquettes décollées ne se pose pas puisque Louvain a la possibilité de stocker les vidange dans un entrepôt intérieur, ce qui réduit fortement l'humidité. Nous n'avons aucun moyen d'agir sur ce point.

Ensuite les procédures de nettoyage de la machine sont plus complètes. Les checklists (feuilles de route que l'opérateur remplit au cours de la pause et qui contient toutes les actions à réaliser au cours de celle-ci) rendent obligatoire notamment le nettoyage des filtres de la machine à chaque pause.

Finalement, la répartition des bouteilles dans les couloirs est facilitée par le mouvement de va-et-vient de plaquettes (le long des guides) dans la direction parallèle à l'avance des bouteilles. Il en va de la configuration fondamentale de la machine.

Les points relevés ne sont que très peu concluants afin d'influencer le travail. De plus, la répartition ainsi que l'insertion des bouteilles est moins problématique car la cadence de la machine (40.000 b/h) est près de 3 fois inférieure à celle que nous considérons. La comparaison peut dès lors être difficilement effectuée.

### 4.3.6 Conclusion

Les mesures qui caractérisent les arrêts de la laveuse qui affectent le GLY ont permis l'utilisation d'outils d'analyse appropriés. Ainsi, la loi Pareto a mis en avant les symptômes dont la durée a le plus impacté la ligne : le chargement/déchargement. Les causes originelles de ces arrêts ont pu être déterminées grâce aux outils d'analyse de management par la qualité japonais. Ceux-ci ont permis de déterminer l'approche globale des actions à mettre en œuvre. Cette approche consiste à amener la procédure d'accumulation et de chargement dans les meilleures conditions pour réduire efficacement les défaillances. A cette fin, les actions suivantes seront mises en place :

- Création de procédures de nettoyage
- Contrôle, remise aux normes et amélioration de la lubrification
- Investigation et formalisation d'une procédure de réglage mécanique du chargement
- Modélisation par simulation de la répartition des bouteilles dans les couloirs

De plus, grâce au projet d'installation des trieuses (amorcé sur base d'un aspect qualité), nous avons une carte en plus à jouer afin d'assurer l'alimentation correcte de la laveuse. Ceci peut être réalisé en s'assurant que les machines atteignent effectivement la cadence prescrite par le constructeur. Le suivi du projet sera détaillé au chapitre suivant.

# Chapitre 5

## Installation, montée en puissance et suivi des nouvelles trieuses

*Dans ce chapitre seront décrites les démarches effectuées afin d'assurer le succès du projet d'installation des nouvelles trieuses. Il détaillera la résolution des problèmes techniques inhérents aux objectifs fixés ainsi que les tests réalisés pour valider l'amélioration à court et plus long terme.*

### Sommaire

---

<b>5.1</b>	<b>Indicateurs de succès du projet . . . . .</b>	<b>45</b>
<b>5.2</b>	<b>Agencement de la section de triage . . . . .</b>	<b>46</b>
<b>5.3</b>	<b>Formation à la connaissance et gestion des nouvelles trieuses .</b>	<b>47</b>
5.3.1	Technologies d'inspection . . . . .	47
5.3.2	Instructions et entretien . . . . .	50
<b>5.4</b>	<b>Contrôle des dérives et ajustements . . . . .</b>	<b>51</b>
5.4.1	Largeur du champ de détection . . . . .	51
5.4.2	Cellule photoélectrique en défaut . . . . .	52
5.4.3	Chutes de bouteilles en sortie . . . . .	53
<b>5.5</b>	<b>Tests d'éjection et de vitesse . . . . .</b>	<b>54</b>
5.5.1	Détection des mauvaises bouteilles . . . . .	54
5.5.2	Non-rejet du bon format . . . . .	55
5.5.3	Rapidité et précision d'éjection . . . . .	55
5.5.4	Défaut en cas d'incapacité d'éjection . . . . .	55
5.5.5	Cadence nominale . . . . .	55
<b>5.6</b>	<b>Suivi de l'impact sur la ligne (plus-value) . . . . .</b>	<b>56</b>
5.6.1	V-Grappe . . . . .	56
<b>5.7</b>	<b>Conclusion . . . . .</b>	<b>60</b>

---

## 5.1 Indicateurs de succès du projet

Dans le but premier d'assurer une plus grande fiabilité dans l'identification et l'éjection des mauvais récipients, 3 nouvelles trieuses de bouteilles ont été installées sur les groupes 1 et 3. Le succès de ce projet à long terme pourra être quantifié par l'évolution du nombre de plaintes clients pour remplissage d'un mauvais récipient. La contribution de ce type de plaintes au nombre reçu par milliard de bouteilles produites (ppb) doit diminuer. Le projet s'inscrit dans une amélioration continue et a pour but d'atteindre plus systématiquement les targets de la qualité (450 ppb imposés par VPO et des objectifs plus sévères encore en interne à Jupille).

Au delà de l'aspect qualité, nous devons veiller que la garantie constructeur sur les vitesses du cahier de charges soit atteinte, soit 45.000 b/h par machine. Cette vérification sera faite après la phase d'installation et de réglages par les 3 entreprises extérieures : Heuft (système d'inspection et d'éjection), Van Uiter (éléments mécaniques de transmission et transporteurs), De Jongh (système de régulation des convoyeurs). La situation est légèrement différente selon la ligne puisqu'uniquelement les convoyeurs du groupe 3 ont été remplacés au cours de l'installation. Il n'en est pas ainsi pour le groupe 1 où seules les portions d'inspection et d'éjection ont été modifiées, reportant la responsabilité de la garantie sur ABI.

L'atteinte de la vitesse nominale n'était pas assurée auparavant. C'est pourquoi le projet et son aboutissement constituent un intérêt réel pour la problématique de la laveuse, directement alimentée par les trieuses. Les pertes de vitesse représentant un axe du GLY, le projet contribue également à son augmentation.

Dans le cadre de l'amélioration continue et de la méthode PDCA, notre travail consiste d'abord à suivre l'action mise en place et contribuer aux éléments de son succès. A cette fin, une composante est la formation de la main d'œuvre chargée d'assurer entretien et pérennité des équipements. Il est donc essentiel de sensibiliser l'opérateur au fonctionnement de la machine et de valoriser son travail en prenant le temps de le lui expliquer. C'est une composante à part entière du management d'équipes bien accueillie en règle générale.

Lorsque la montée en puissance technique est assurée (régulation et ajustement des programmes de détection), vient alors l'étape du contrôle. Au cours de celle-ci, il faut évaluer par différents tests les écarts de résultats par rapport au fonctionnement optimal. Le but est d'identifier les points bloquants et de les corriger. Lorsque les objectifs sont atteints, nous vérifierons à l'échelle de la ligne et à plus long terme l'amélioration engendrée par la cadence.

## 5.2 Agencement de la section de triage

Les nouvelles machines, tout comme les anciennes, sont au nombre de 3 et parallélisent le flux de bouteilles venant de la décaisseuse en amont. De telle sorte, lorsqu'une machine n'est pas opérationnelle, le reste de la ligne n'est pas paralysé.

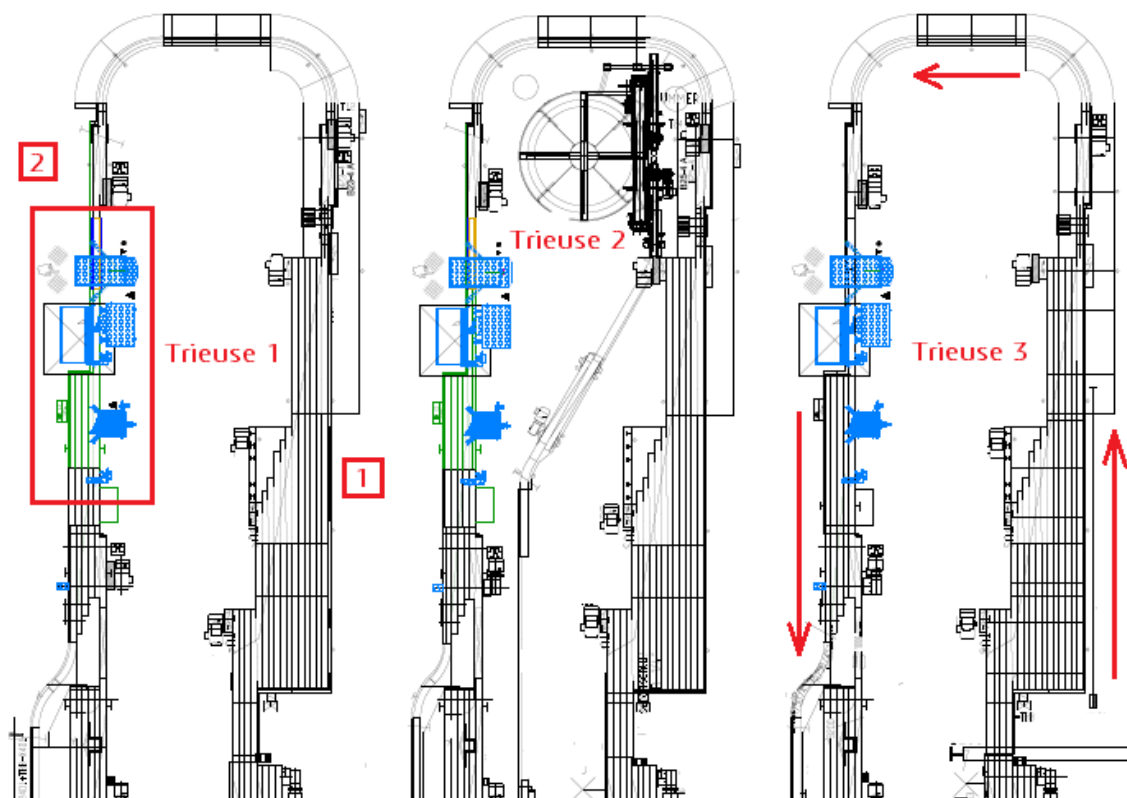


FIGURE 5.1 – Plan de l'agencement du nouveau système de détection et d'éjection Heuft Spectrum sur le groupe 1 - ABI Jupille

Les bouteilles alimentent en cascade les sections d'entrée de chaque trieuse. Cet agencement assure, en théorie, la même répartition, en nombre de bouteilles, pour chaque machine.

L'aligneur (1) place les bouteilles en file indienne grâce à une série de chaînes dont les vitesses relatives doivent pouvoir éviter les chutes lorsqu'elles suivent la trajectoire du guide (Figure 5.6). La section de passage est ainsi réduite de façon continue. Une fois alignées, les bouteilles sont entraînées par une chaîne unique dans la courbe avant de passer par les différents systèmes d'inspection (2) et d'éjection.

Des collecteurs sont installés le long de la section afin de récolter les bouteilles qui tombent. Des cellules arrêtent les convoyeurs en cas d'accumulation dans ces collecteurs pour éviter les bourrages. Il appartient à l'opérateur de les relever ou de les jeter dans une benne.

## 5.3 Formation à la connaissance et gestion des nouvelles trieuses

### 5.3.1 Technologies d'inspection

Les bouteilles sont soumises à différentes inspections. Elles atteignent en premier lieu le bâti de la machine qui comprend différents ponts de mesures ajustables ainsi que l'écran de supervision de l'état des appareils et cellules. L'interface du menu principal (Figure 5.2) permet d'accéder aux informations et réglages détaillés. Le niveau d'accès est régulé afin qu'uniquement les techniciens formés puissent modifier les paramètres. Se succèdent alors les unités suivantes :

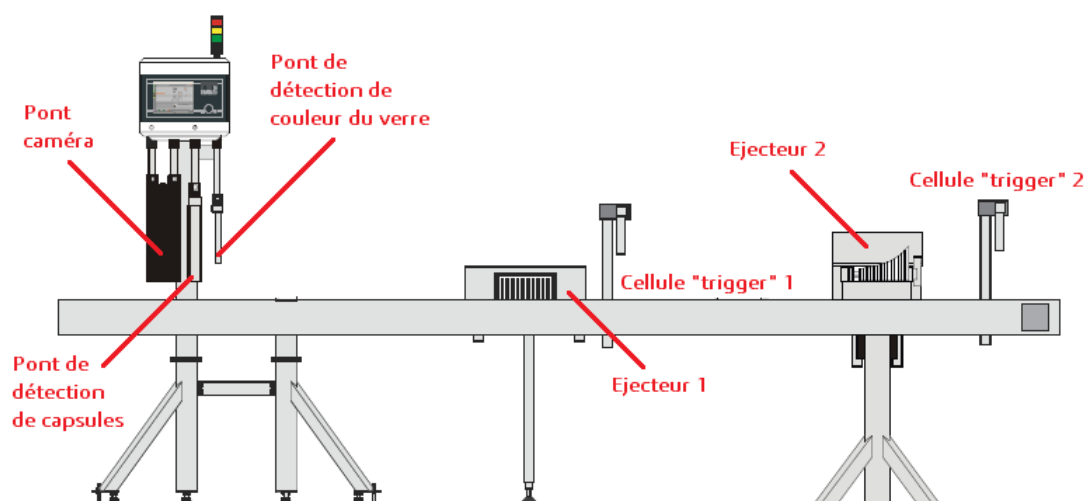


FIGURE 5.2 – Interface de l'écran de supervision du système d'éjection Heuft Spectrum sur le groupe 1 - ABI Jupille

#### Cellule de présence bouteilles

Elle comptabilise le nombre de récipients traités. Chaque bouteille et sa position sont traquées par les appareils de mesures et cellules qui envoient des signaux au système. Il y a deux autres compteurs pour le nombre de bouteilles éjectées et celui du bon format. Ils doivent être relevés et initialisés toutes les 24 heures par le multi-opérateur.

#### Pont caméra

La première inspection vérifie la géométrie et l'associe ou non au format de référence en cours de production. Une image de type "ombre chinoise" est générée grâce à l'interaction entre un flash et la caméra de part et d'autre du récipient, suivi d'un traitement d'images poussé. Chaque image générée est comparée (hauteur et forme) à l'échantillon de référence. La technologie d'inspection fonctionne par symétrie. Les tolérances doivent être ajustées (étiquettes décollées) sans affecter la reconnaissance des mauvais formats.



### **Pont de détection de capsules**

Un capteur capacitif vérifie la présence d'une capsule métallique sur le goulot. Un signal lumineux rouge en confirme la détection sur le pont.

### **Pont de contrôle de la couleur du verre**

Une technologie optique inspecte la couleur et la clarté du verre de la bouteille. La mesure peut être faussée en cas de présence d'une étiquette dans la zone de détection.

### **Cellule de présence de bouteilles couchées**

Un capteur détecte la présence d'une bouteille tombée en entrée de la section.

### **Premier éjecteur (pusher)**

Contrairement à l'ancien système, les bouteilles tombées ou cassées sont éjectées dans une benne (Figure 5.4). L'éjection est activée par voie pneumatique. Une série de doigts en plastique sortent au passage de la bouteille pour la pousser du convoyeur sur lequel elle se déplace. Un signal est envoyé depuis le système pour renseigner la position et vitesse du contenant à éjecter (le nombre de doigts dépliés est adapté en conséquence). Un bac de protection sans fond a été installé face à l'éjecteur afin de prévenir les risques liés à la sécurité (voir Figure 5.4).

### **Cellule de vérification d'éjection (trigger)**

Dans le but de traquer la position (registre à décalage), une cellule photoélectrique envoie un signal à l'appareil lorsqu'elle est interrompue par le passage d'une bouteille. Un émetteur envoie un faisceau laser continu vers un réflecteur pour qu'il soit transmis au récepteur. Lorsque le chemin optique est interrompu par une bouteille, le signal de sortie du capteur est modifié. La première cellule vérifie l'éjection au premier pusher, si ce n'est pas le cas, un signal est envoyé afin d'activer l'éjection au second.

### **Deuxième éjecteur (pusher)**

Les doigts de tailles différentes (Figure 5.3) sont commandés pneumatiquement pour éjecter les mauvais formats, mauvaises couleurs de verre et bouteilles capsulées. Ils se déplient pour donner une trajectoire incurvée à la bouteille et la faire glisser sans chuter sur un convoyeur parallèle. La sortie des doigts dépend de la vitesse mais aussi de la proximité des bouteilles voisines dont la trajectoire ne doit pas être impactée. Les récipients éjectés suivent une voie distincte afin d'être évacués.

## CHAPITRE 5. INSTALLATION, MONTÉE EN PUISSANCE ET SUIVI DES NOUVELLES TRIEUSES

---

En cas de chute de la bouteille à l'éjection, celle-ci est éliminée dans une seconde benne. Comme le montre la Figure 5.3, une seule chaîne assure l'arrivée des bouteilles au désaligneur en sortie et une autre celle du transport des récipients éjectés. Les chaînes intermédiaires s'enroulent autour de leur pignon à hauteur de la benne, faisant ainsi chuter les bouteilles couchées après passage sous les guides de séparation.

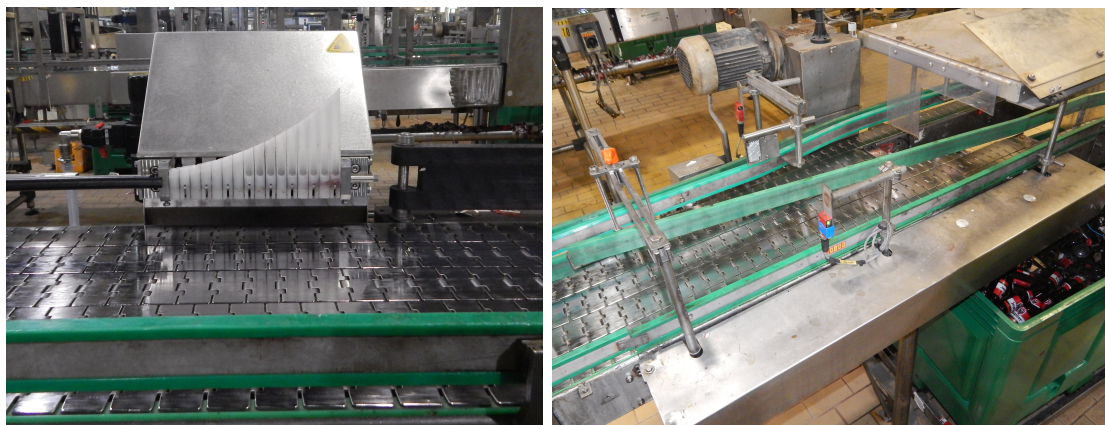


FIGURE 5.3 – Système d'éjection pneumatique et benne de récupération des bouteilles tombées du système Heuft Spectrum sur le groupe 1 - ABI Jupille

Les éjections du premier éjecteur peuvent être reportées sur le second grâce à un bouton poussoir. Cette fonction est utile notamment lorsqu'il est nécessaire de vider la benne sans mettre la machine en défaut.



FIGURE 5.4 – Section d'inspection et d'éjection des trieuses Heuft Spectrum - ABI Jupille

### 5.3.2 Instructions et entretien

Sur le groupe 3, plusieurs programmes de détection et échantillons différents ont du être configurés dans le système. Lors des changements de format, des modifications géométriques doivent être opérées sur les ponts de mesures et cellules. Les réglages à assurer sur les dispositifs d'ajustement verticaux et horizontaux se trouvent dans le menu de changement de format. La seconde cellule d'éjection doit être ajustée avec précision en hauteur (centre de gravité) pour ne pas coucher les bouteilles. En profondeur, les doigts repliés doivent être alignés avec le guides pour un passage continu.

Les procédures pour les réglages et actions à réaliser sur les machines sont documentées et illustrées dans les One Point Lesson (OPL). Nous avons réalisé ces fiches descriptives pour les trieuses (Annexe A). Les réflexes à adopter en cas d'anomalie d'éjection ont également été relevés et expliqués aux opérateurs :

#### **Que faire si la machine n'éjecte plus les mauvaises bouteilles ?**

1. Vérifier pour chaque éjecteur que l'alimentation en air comprimé et la pression de consigne soient bonnes (4 et 3 bars respectivement au manomètre). En fonctionnement normal, un capteur de pression doit arrêter la machine si la consigne n'est pas atteinte ;
2. Vérifier les compteurs de bouteilles et s'assurer qu'ils soient opérationnels dans la détection des contenants (dans le cas contraire, l'électronique est à remettre en cause et à reporter aux services techniques).

#### **Que faire en cas d'éjection en série du bon format ?**

1. Contrôler la propreté des cellules (en particulier vérifier la présence d'étiquettes sur la caméra et en nettoyer la vitre à titre préventif) ;
2. Vérifier la zone d'inspection de la bouteille à l'écran et faire appel aux techniciens afin de modifier les paramètres du champ.

## 5.4 Contrôle des dérives et ajustements

La procédure mise en place afin de vérifier que les trieuses tournent correctement, se base sur l'utilisation d'un action log. Cet outil assure la planification, la mise en œuvre et le suivi d'actions lors de problèmes sur la ligne. Il s'inscrit dans la démarche d'amélioration continue pour conserver une trace des actions correctives réalisées à court terme.

Nous avons créé un document de ce type pour le lancement de la production et l'avons placé pour consultations et modifications sur le réseau ABI. Il se complète en indiquant la date, le groupe et la machine concernés. S'ensuit alors une brève description du problème, l'action à réaliser ainsi que la personne responsable de son suivi. Une date de réalisation est généralement proposée. Il doit être tenu à jour pour indiquer le statut du problème (résolu, en progression, reporté ou annulé).

Non seulement l'outil est utile afin de coordonner et déléguer la résolution de problèmes, mais il a une double utilité dans le présent projet. En effet, les mêmes machines ont été installées avec 6 semaines d'intervalle sur le groupe 3. Dès lors l'action log permet de garder une trace des problèmes survenus sur le groupe 1 et de se focaliser sur ces points ultérieurement pour les éviter.

Afin de constater les anomalies, nous avons observé les sections de triage et interagi avec les différents acteurs. De plus, les rapports de pauses ont été relevés pour connaître les problèmes rencontrés au cours de la production. Parmi les points bloquants après l'installation et la montée en puissance, nous avons noté 3 dérives impactant plus que les autres les objectifs fixés (fiabilité ou vitesse).

### 5.4.1 Largeur du champ de détection

Sur la trieuse 1 du groupe 1, nous avons constaté beaucoup d'éjections en série de bouteilles du bon format. Le taux d'éjection atteignait 3 à 4 % contre 0.8-0.9% pour les autres trieuses. Lors du contrôle visuel, aucun défaut ni étiquette décollée n'ont pu être reconnus.

L'état des différentes cellules a pu être jugé opérationnel. Puisque les lots de bouteilles éjectées n'étaient composés que du format APO 25cl (Jupiler), nous avons supposé que ce n'était pas le système de traque de la position qui faisait défaut, mais plutôt l'inspection.

Lorsque la machine est proche de sa vitesse nominale, l'aligneur laisse peu d'espacement entre les bouteilles. En inspectant les défauts repérés à la caméra sur l'écran de supervision, il est apparu que la largeur du "scan light" n'a pas été réglée de façon assez fine pour lui empêcher de détecter les bouteilles côte à côte lors des pics de vitesses.

La Figure 5.5 représente l'image prise par la caméra ainsi que le champ et les paramètres (rayon de détection). La zone à hauteur de l'étiquette est la plus sensible. Elle doit permettre, comme c'est le cas sur l'image, de détecter un décollement sans atteindre la bouteille suivante. Les paramètres ont été ajustés afin d'assurer ces conditions.

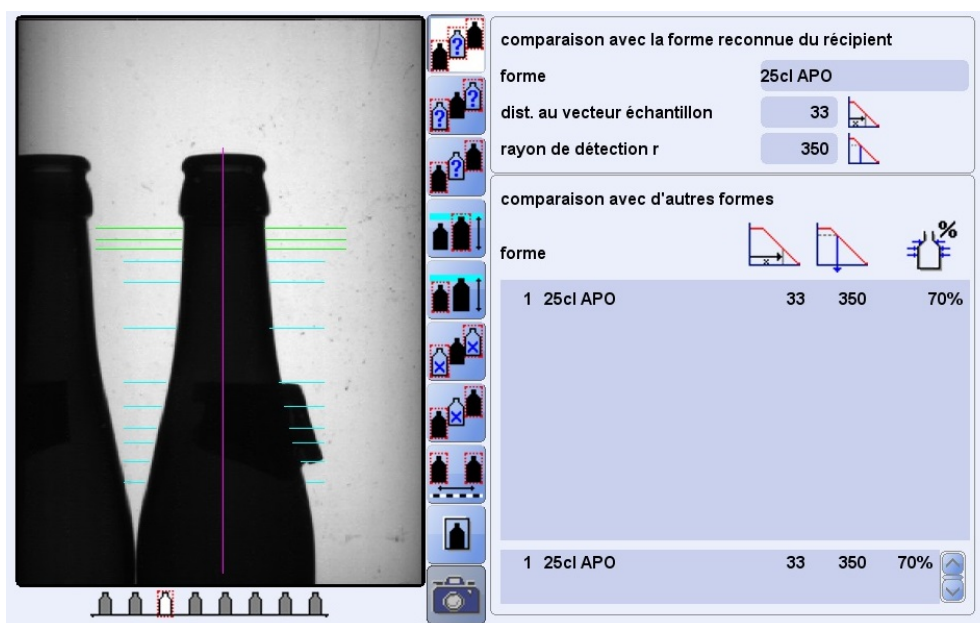


FIGURE 5.5 – Paramètres du réglage de la largeur de détection par la caméra du système Heuft Spectrum sur le groupe 1 - ABI Jupille

#### 5.4.2 Cellule photoélectrique en défaut

En sortie se trouve un switch ou palpeur (sorte de balancelle qui oscille lorsque les bouteilles s'accumulent, déplaçant une pièce métallique détectée par un capteur ferro-magnétique). Il assure la régulation des trieuses ; il est activé lors d'un début de bourrage en sortie (lorsque le flux de bouteilles s'étend sur la largeur convoyeur). Un signal est envoyé au système Heuft qui arrête le convoyeur (2) en entrée et les suivants (Figure 5.6).

Dans ce cas, le flux de bouteilles est en attente à hauteur de l'aligneur juste avant son transfert sur le transporteur (1) qui assure la courbe (Figure 5.6). Celui-ci doit encore être en mesure d'évacuer la section d'inspection et d'éjection de l'ensemble des contenants qu'il transporte.

La régulation n'était pas opérationnelle, impliquant des bouteilles bloquées à hauteur des ponts de mesures et plus particulièrement des cellules de sortie. La machine est en défaut et ne redémarre pas automatiquement lorsque le palpeur ne détecte plus de bourrage. L'intervention humaine est nécessaire pour acquitter les défauts. Ce type de problème impacte évidemment grandement l'efficacité de la ligne.

Une conséquence supplémentaire est le défaut du système de traque des bouteilles pour "récipient perdu" lors d'un arrêt au niveau de l'inspection. Ce phénomène survient lorsque la bouteille a été comptabilisée et détectée comme mauvais format avant l'arrêt. Le redémarrage brusque la fait chuter dans la benne ou sur les transporteurs et la machine indique avoir perdu toute trace, n'ayant pu l'éjecter.

Ces 2 raisons justifient le besoin d'évacuation de l'entièreté de la chaîne lors d'un arrêt. La position des bouteilles est connue grâce aux cellules photoélectriques ainsi qu'à l'encodeur sur l'entraînement. Lorsque l'arrêt pour bourrage est détecté, c'est son signal qui assure l'évacuation de la section. Le problème ayant impacté la ligne plusieurs jours, la régulation a été programmée afin de disposer de cet effet.



FIGURE 5.6 – Aligner en entrée du système de détection et d'éjection Heuft Spectrum sur le groupe 1 - ABI Jupille

### 5.4.3 Chutes de bouteilles en sortie

Certains aspects ont impactés plus fortement le projet sur le groupe 3 puisque l'ensemble des convoyeurs y ont été remplacés. Nous avons ainsi été confrontés à un problème de chutes de bouteilles à hauteur du désaligneur en sortie. Ce point est important à résoudre si l'on veut éviter l'arrivée de récipients couchés à la laveuse.

Les chaînes neuves n'ont pas joué en faveur du transfert des bouteilles. Elles peuvent être rêches durant un certain temps si elles ne sont pas suffisamment usées. Leur usinage a pu être facilité par un produit qui a pénétré partiellement dans le matériau. Il est éliminé avec l'usure naturelle et ainsi la situation doit s'améliorer.

Afin de vérifier quantitativement cette affirmation, la glissance a été déterminée par mesure du coefficient de frottement. La mesure comparative a pu être obtenue sur les anciens convoyeurs de la trieuse 3 pour laquelle l'installation de la nouvelle section de triage a été réalisée ultérieurement. Le coefficient de frottement mesuré doit être inférieur à 0,15. Plus il est élevé, moins la bouteille glisse sur le convoyeur et a donc plus de risques de chuter. Le Chapitre 5 étant consacré à la lubrification, nous n'entrons pas dans les détails. Les résultats sont repris dans le tableau suivant :

Coef. de frottement [-]	Trieuse 1	Trieuse 2	Trieuse 3
Aligneur	0,16	0,17	0,12
Rejet	0,14	0,16	0,11
Désaligneur	0,16	0,17	0,14

TABLE 5.1 – Coefficients de frottement obtenus dans les sections de triage du groupe 3 - 23.03.16, ABI Jupille

Il y a donc bien une différence dans la friction obtenue sur les nouvelles chaînes. Les coefficients de frottement étant supérieurs, la glissance des bouteilles y est moins bonne. Pour améliorer le transfert, nous avons provisoirement compensé le manque d'usure en passant l'électrovanne qui régule l'arrivée de solution lubrifiante en mode "ByPass". Ainsi, la temporisation est supprimée et la lubrification est appliquée en continu aux convoyeurs lorsque ceux-ci tournent.

D'autre part, nous avons observé les convoyeurs de sortie et constaté que l'accumulation des bouteilles et leur transfert était très peu régulier et ménageant. Les bouteilles s'entrechoquaient en se répartissant à la sortie du désaligneur.

L'évacuation en sortie, et particulièrement la vitesse relative entre 2 convoyeurs adjacents, n'étaient pas adaptées. Ceux-ci étant tous deux entraînés par le même axe, pour réduire la différence et accélérer l'évacuation, le seul moyen est de toucher au rapport de réduction en adaptant le nombre de dents des pignons. Un transfert plus ménageant a ainsi pu être obtenu, réduisant les possibilités de chutes. De plus, la courbure des guides a été modifiée afin d'optimiser la trajectoire des bouteilles.

## 5.5 Tests d'éjection et de vitesse

4 aspects importants sont à vérifier par les tests d'acceptance dans l'inspection des bouteilles et l'éjection des mauvais formats. Ceux-ci ont pour but d'assurer la fiabilité de détection. La cadence atteinte en régime nominal est le dernier élément pour lequel des mesures doivent être effectuées.

### 5.5.1 Détection des mauvaises bouteilles

Le premier type de contrôle que nous avons effectué afin de valider le comportement est celui du passage de bouteilles tests. Des bouteilles en verre (les formats produits par ABI ainsi que ceux des concurrents repris à l'Annexe C), sont mises à disposition par le laboratoire afin d'être insérées à hauteur de la courbe avant le passage à l'inspection. Chacune de ces bouteilles (format, couleur, capsule) doit impérativement être éjectée au second éjecteur dans 100% des cas.

Si tel n'est pas le cas, il faut ajuster les paramètres de détection ou procéder à un nouvel échantillonnage (image de référence). Nous avons réalisé ce test 3 fois sur chaque trieuse au cours d'une même journée et à plusieurs reprises pour assurer que les résultats ne varient pas. En production normale, il est effectué 2 fois par pause.

### 5.5.2 Non-rejet du bon format

En se plaçant plusieurs jours consécutifs au second éjecteur de chaque trieuse pendant une heure, nous avons relevé le compteur de bouteilles éjectées avant et après cette période. Les fausses éjections (format de production en cours) ont été récupérées sur les convoyeurs afin de les repasser à l'inspection. L'objectif a été de comprendre les raisons et réduire, ensemble avec les techniciens de support, le nombre de bonne bouteilles rejetées.

### 5.5.3 Rapidité et précision d'éjection

La transmission d'informations du système Heuft doit disposer d'une rapidité effective et suffisante dans la traque des bouteilles à éjecter. Plus particulièrement, c'est la précision et réactivité de l'éjecteur qui nous intéresse. Ainsi, le principe est de placer consécutivement 24 mauvaises bouteilles (l'équivalent d'un casier) bout à bout et vérifier que les doigts d'éjection n'en laissent passer aucune. Bien évidemment, ils ne doivent pas impacter le flux avant et après ni provoquer des chutes ou bourrages. Les mêmes tests ont été réitérés en plaçant cette fois un (ou plusieurs) bon(s) format(s) dans le lot.

### 5.5.4 Défaut en cas d'incapacité d'éjection

Le dernier test de fiabilité sert à s'assurer qu'en cas de défaut en air comprimé, les trieuses ne tournent plus. Cela implique que les capteurs de pression placés aux deux éjecteurs soient opérationnels. Ainsi, il suffit de fermer la vanne et de constater l'arrêt de l'installation et des chaînes en cas de défaut en air. Si tel est le cas, nous pouvons affirmer qu'il n'y a pas de risque de laisser passer une mauvaise bouteille alors que l'éjecteur n'est pas en mesure physiquement de la rejeter.

### 5.5.5 Cadence nominale

Nous souhaitons atteindre durablement les vitesses nominales prescrites par le cahier de charges (lorsque la trieuse tourne à pleins régime, hors bourrage ou ralentissement en sortie et avec une alimentation suffisante et continue en entrée).

Le système de supervision donne, bien entendu, des indications sur la vitesse instantanée. La valeur, bien qu'affichée en bouteilles/heure, est liée à la vitesse d'avance de la chaîne et à ses variations (transmises au système par l'encodeur). Elle ne tient compte à aucun moment de l'espacement qu'il peut y avoir entre les bouteilles ou de la discontinuité du flux. C'est pourquoi, sans assurance sur le nombre de bouteilles traitées en un temps donné, nous ne nous y fierons pas.

Pour obtenir la cadence maximale réelle, une fois l'installation et les réglages terminés, on relève le compteur des récipients traités avant et après avoir lancé le chronomètre pour une période définie. Pour éviter tout ralentissement en cours de mesure, la section de sortie a été au préalable suffisamment dégagée.

Afin d'avoir un étalonnage représentatif des résultats, chaque mesure a été réalisée 3 fois durant 3 jours. Le nombre de bouteilles traitées en 30 secondes a été extrapolé en bouteilles/heure et pour chaque trieuse et chaque jour, nous avons conservé la moyenne. Les résultats obtenus sont repris dans le tableau suivant :



Vitesse (b/h)	Trieuse 1	Trieuse 2	Trieuse 3
mardi 15.03.16	42300	42540	39780
mercredi 16.03.16	47280	42060	38940
jeudi 17.03.16	46460	43480	39220

TABLE 5.2 – Résultats des tests de vitesses nominales sur les nouvelles trieuses du groupe 1 - ABI Jupille

Ces résultats ont démontré la nécessité d'ajuster et d'augmenter la capacité de la troisième machine. Celle-ci étant alimentée de façon identique aux deux autres, elle doit être en mesure de monter à 45.000 b/h. C'est la fréquence des convoyeurs qui a été augmentée en veillant à ce que la détection n'en soit pas impactée de quelque sorte que ce soit.

## 5.6 Suivi de l'impact sur la ligne (plus-value)

La dernière étape dans notre démarche de contrôle des améliorations obtenues est celle qui consiste à prendre de la hauteur afin d'évaluer l'impact qu'a eu le projet sur la ligne dans sa globalité. Pour la productivité, c'est l'impact de la vitesse sur l'ensemble de la production qui est essentiel.

### 5.6.1 V-Graphe

#### Allure théorique

Le V-Graphe est l'outil par excellence reflétant la capacité d'une ligne de conditionnement à être performante. Il prescrit les vitesses que doivent atteindre les différentes machines dans l'objectif d'assurer le fonctionnement de la soutireuse (qualité et productivité). C'est elle qui impose la capacité de la ligne et les cadences des autres machines en découlent. On l'appelle machine critique pour deux raisons : elle est la plus sensible d'un point de vue qualité du produit fini et elle assure la fonction principale de la ligne. Ceci lui vaut d'être à la pointe du "V" dans le graphe des vitesses.

L'élaboration et le design de la ligne se font en donnant la cadence désirée à la soutireuse. Les machines en amont et en aval doivent alors atteindre des vitesses constructeurs de l'ordre de 10% plus élevées à mesure que l'on s'en éloigne afin de ne pas impacter le soutirage par leurs arrêts (alimentation suffisante en bouteilles vides et possibilité d'évacuation des contenants soutirés). Cela implique également de prévoir la présence de zones tampons (d'accumulation) avant et après la soutireuse pour assurer son fonctionnement continu. Dans une telle situation, la surcapacité prévue sur le reste de la ligne permet le redémarrage sans creuser d'écart.

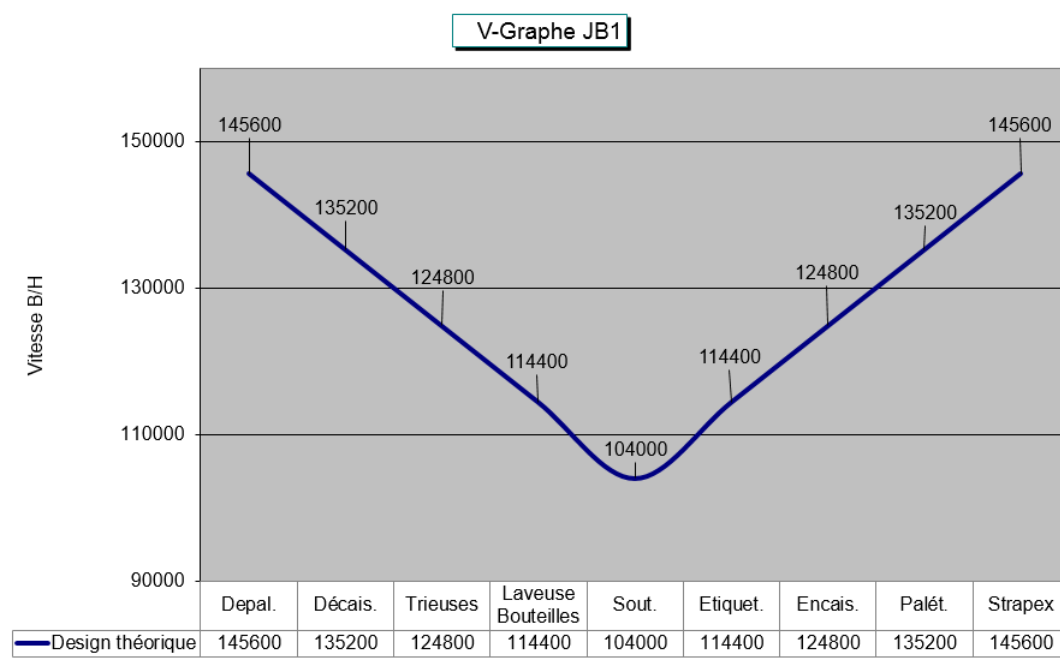


FIGURE 5.7 – Allure théorique du V-Graphe appliqué au groupe 1 - ABI Jupille

Les principes de design sont appliqués lors de l'achat de nouvelles machines. En réalité, en cours de production, les vitesses sont adaptées en fonction de signaux reçus de capteurs qui indiquent l'état de remplissage des sections adjacentes. Les machines fonctionnent donc plutôt à vitesses variables. La parallélisation d'une étape du conditionnement (triage, étiquetage,...) est d'autant plus utile si chaque unité est surdimensionnée. La capacité à compenser lorsqu'une autre machine du même type subit une défaillance évite l'arrêt complet de la ligne.

### Principes de mesures

Afin de réaliser un V-Graphe représentatif après insertion des nouvelles trieuses, la moyenne de 3 mesures sur chaque machine a été conservée. Souvent, les bouteilles sont traitées une à une grâce à leur entraînement sur convoyeurs (trieuses, soutireuses,...). Dans ce cas, nous avons relevé les compteurs et lancé le chronomètre pour un temps imparti. Le rapport entre le nombre de bouteilles traitées et ce temps fournit la cadence en bouteilles/heure.

La vitesse de machines qui travaillent de façon cyclique implique de mesurer le temps nécessaire à la réalisation d'un cycle complet. Pour le palettiseur, par exemple, nous avons lancé le chronomètre lorsque le robot amorçe sa descente vers la première couche de casiers et l'avons stoppé au même moment pour la palette suivante. Le temps de déplacement des palettes est ainsi pris en compte. Il suffit de connaître le nombre de bouteilles formant une palette et de le diviser par le chrono pour obtenir la cadence de la machine.

Quel que soit le procédé, il faut assurer que la machine soit en mesure de tourner à pleine vitesse en dégageant, si nécessaire, les transporteurs en aval et en assurant l'alimentation en amont. Dès lors il n'y a pas, pendant le relevé, de chute de vitesse, provoquée par le système de régulation. C'est la condition requise afin de comparer deux V-Graphes à partir de la vitesse nominale.

### Comparaison avant/après

Le dernier V-Graphe avec les anciennes trieuses a été réalisé lors d'un audit par ZBS (Zone Brewery Support) en juillet 2015. Il permet de servir de comparaison à celui que nous avons réalisé sur la ligne. La Figure 5.8 représente la courbe obtenue en juillet 2015 et celle en avril 2016 (courbes roses). La courbe bleue donne une indication sur les vitesses constructeur.

Les anciennes trieuses étaient un des éléments bloquants de la ligne puisque fonctionnant à une vitesse inférieure à celle de la laveuse. Les nouvelles sections de triage avec leur système d'inspection assurent à présent une cadence de l'ordre de 134.000 b/h. Elles sont largement en mesure de remplir leur rôle et de rattraper un retard lorsque la laveuse tourne à 120.00 b/h.

Dans les deux cas, l'allure générale du graphe n'est évidemment pas celle de la théorie. Toutefois, il faut garder à l'esprit que les vitesses représentées sont celles que les trieuses et autres machines sont en mesure d'atteindre (pour rattraper le retard accumulé par un arrêt), la plupart du temps, elles sont ralenties par les conditions et ne doivent pas fournir ces vitesses de pointe.

La cadence des nouvelles trieuses défigure un peu plus encore le V-Graphe. Les réels points bloquants proviennent à présent des machines aux extrémités avec le plus d'ancienneté : le dépalettiseur, l'encaisseuse et le palettiseur.

CHAPITRE 5. INSTALLATION, MONTÉE EN PUISSANCE ET SUIVI DES NOUVELLES TRIEUSES

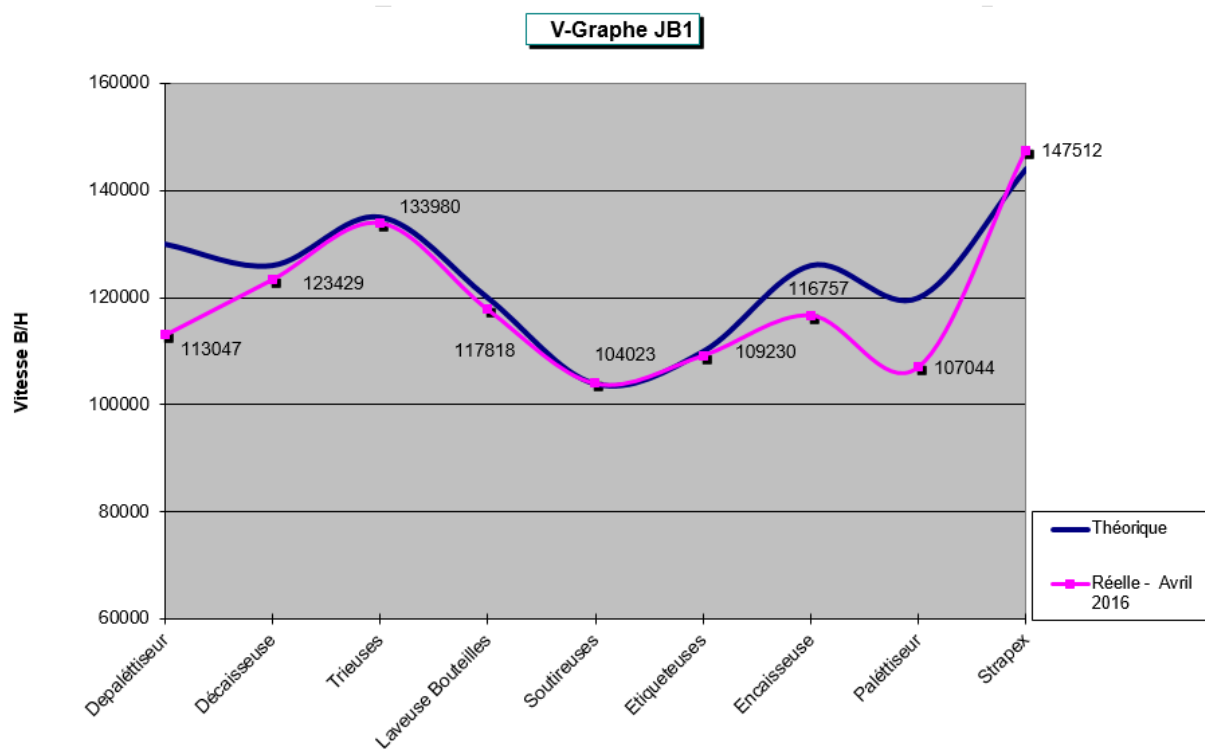
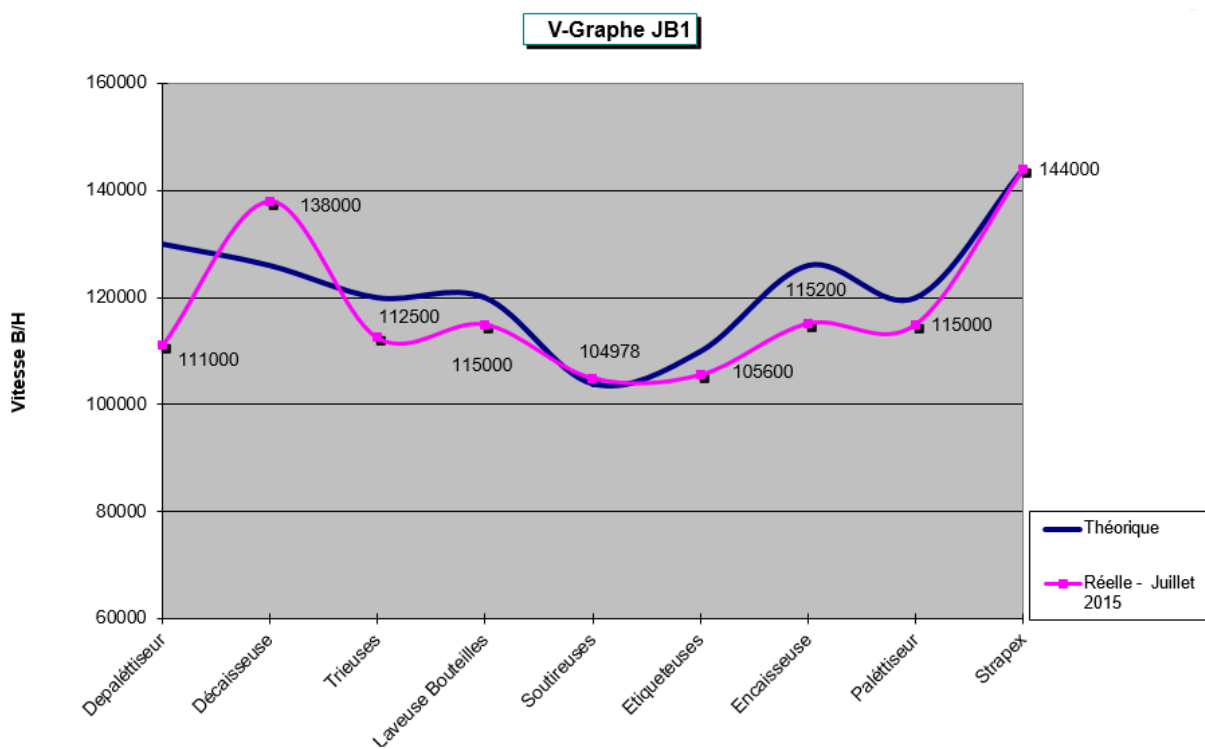


FIGURE 5.8 – V-Graphe du groupe 1 avant et après insertion des nouvelles trieuses - ABI Jupille

## 5.7 Conclusion

Le suivi de près de l'installation des nouvelles trieuses et les démarches effectuées afin de mettre à disposition les outils nécessaires à leur gestion (explication du fonctionnement, OPLs) ont été fructueuses. Il en est de même de la démarche adoptée pour résoudre efficacement les problèmes techniques survenus pendant et après la montée en puissance.

Ces constatations ont pour preuves les résultats qualitatifs et quantitatifs obtenus lors des diverses vérifications. Ainsi, elles sont en mesure de détecter fiablement les mauvais contenants, quel que soit leur défaut. Elles assurent une précision d'éjection suffisante pour ne pas impacter le format en cours et ont la capacité de traquer efficacement les bouteilles.

La cadence de 45.000 b/h, est, à présent, garantie puisque la possibilité de les atteindre a été démontrée. Les trieuses assurent l'allure en pente descendante du V-Grappe jusqu'à la soutireuse et ont une plus grande capacité encore que celle prescrite par les principes de design. Au regard des enjeux pour le travail d'amélioration sur la laveuse bouteilles, le projet des trieuses est un succès.

# Chapitre 6

## Etude et mise en place d'actions correctives sur les conditions de fonctionnement

*Ce chapitre couvre l'entière des actions et procédures établies afin de mettre dans de bonnes conditions le chargement des bouteilles dans la laveuse. La première partie traite de l'amélioration de la lubrification et plus particulièrement du contrôle de la glissance des bouteilles, des modifications, entretiens et remises en état des installations. La seconde partie apporte les instructions assurant le fonctionnement de la partie mécanique du chargement.*

### Sommaire

---

<b>6.1</b>	<b>Contrôle, remise aux normes et amélioration de la lubrification</b>	<b>62</b>
6.1.1	Intérêt et rôle de la lubrification . . . . .	62
6.1.2	Spécifités du produit . . . . .	63
6.1.3	Ajustement préliminaire du dosage . . . . .	64
6.1.4	Contrôle du coefficient de frottement . . . . .	67
6.1.5	Réglage de la temporisation de zone . . . . .	68
6.1.6	Uniformisation des gicleurs . . . . .	71
6.1.7	Amélioration de l'accessibilité des rampes . . . . .	72
6.1.8	Vérifications . . . . .	74
<b>6.2</b>	<b>Investigation et formalisation d'une procédure de réglage mécanique du chargement</b>	<b>75</b>
6.2.1	Prise par le doigt de chargement . . . . .	76
6.2.2	Insertion dans le godet . . . . .	77
6.2.3	Synchronisation temporelle des mécanismes . . . . .	78
6.2.4	Vérifications . . . . .	79
<b>6.3</b>	<b>Checklist</b>	<b>79</b>
<b>6.4</b>	<b>Conclusion</b>	<b>80</b>

---

## 6.1 Contrôle, remise aux normes et amélioration de la lubrification

### 6.1.1 Intérêt et rôle de la lubrification

Mettre tout en œuvre afin de disposer d'une lubrification optimale est d'une importance capitale pour la répartition des bouteilles sur la table. Le contact entre surfaces de deux corps en mouvement relatif fait, en effet, naître la friction. Il s'agit d'une interaction qui s'oppose au mouvement et provoque (dans une certaine mesure) l'adhérence des corps en les empêchant de glisser l'un par rapport à l'autre. La lubrification crée une couche fluide entre les deux corps ce qui permet leur glissement relatif. Les forces de frottement sont alors prises en charge par l'épaisseur de fluide qui se déforme sous l'effet du cisaillement. Moins de frottement implique moins d'usure de la chaîne et des stipules (stries faisant tout le contour sous la bouteille).

Quantitativement, la lubrification assure une diminution du coefficient de frottement entre la bouteille et la chaîne en inox. Si  $\mathbf{N}$  est la réaction normale de la bouteille sur le convoyeur, la force de frottement qui s'oppose au glissement est donnée par :

$$\mathbf{F}_f = \mu\mathbf{N} \quad (6.1)$$

Si le coefficient de frottement diminue, il est plus aisé d'obtenir le glissement du contenant. Ce coefficient ne dépend que de la nature des surfaces en contact. La solution lubrifiante agit comme un film entre les deux corps et anéantit le contact entre les plus petites aspérités des surfaces, si elle est efficace. Elle peut réduire considérablement le risque de chute de bouteilles. Lors d'une interaction extérieure (contact avec les autres bouteilles, les guides, les irrégularités du système de convoyage,...), elle assure que la force de friction qui s'oppose au mouvement soit suffisamment faible. Ainsi la bouteille peut se mouvoir plutôt que d'être déséquilibrée par l'énergie échangée lors de l'interaction.

### 6.1.2 Spécificités du produit

La lubrification est réalisée à partir d'une solution dosée en lubrifiant qui asperge les chaînes en inox des convoyeurs. Le principe est le même sur tous les groupes, excepté pour la section entre les soutireuses et le tunnel pasteurisateur du groupe 1. Les chaînes y ont été remplacées récemment par des chaînes en plastique ne nécessitant aucune lubrification.

Le produit utilisé est du Lubranol DWS 3G dont la fiche technique est reprise à l'Annexe D. C'est un lubrifiant synthétique à base de tensio-actifs cationiques et non ioniques. Il est, avant tout, respectueux des législations et normes en vigueur dans l'industrie alimentaire. Il pourrait, en effet, se retrouver au contact de la bière ou de certaines parties du contenant.

Ses propriétés physico-chimiques lui confèrent l'avantage d'une très grande durabilité sur les chaînes métalliques. Il a une énergie d'adhésion très élevée qui implique une tenue également élevée. On peut ainsi réduire fortement les temps d'aspersion et les séparer par des intervalles longs. Son affinité pour l'inox est bien plus importante que celle pour les autres matériaux (un film lubrifiant subsistera même après rinçage de la surface à l'eau). Cet aspect le rend idéal pour la lubrification dite "hybride", où la solution est pulvérisée sur les chaînes par intervalles très courts, séparés par une période de temporisation. Au cours de cette période la lubrification demeure efficace.

Grâce à son pouvoir rémanent, le produit est consommé en plus faibles quantités. Les études menées par SOPURA (entreprise extérieure responsable pour les produits chimiques) préconisent une concentration allant de 0,07 à 0,12% en volume. En dessous, la réduction suffisante du frottement entre bouteilles et convoyeurs (glissance) n'est pas assurée tandis qu'au delà, le produit est surconsommé.

L'avantage est évidemment la réduction drastique de consommation en eau (jusqu'à 80%). Il permet également de diminuer l'accumulation d'eau savonneuse au sol pour plus de confort et de sécurité aux opérateurs. Limiter l'humidité sur la ligne permet de réduire les risques de développement de micro-organismes indésirables.

Toutefois, il ne faut pas perdre de vue que l'eau est utilisée à des fins de nettoyage du hall de production et doit rester utile à celui des convoyeurs (résidus de bières, crasses et poussière). Un lubrifiant hygiénique et bactériostatique tel que le Lubranol DWS est un bon compromis puisque, moins consommateur en eau, il maintient la fonction d'assainissement des convoyeurs.

Étant donné l'intérêt principal du Lubranol DWS, nous allons contrôler le système de dosage et de temporisation mis en place sur la ligne. Si le premier n'est pas ajusté, le produit perd son intérêt tandis que les mauvaises conditions d'application peuvent être fatale à la glissance des bouteilles.



### 6.1.3 Ajustement préliminaire du dosage

Dans le but d'espérer être dans la norme prescrite pour la concentration en solution lubrifiante sur la ligne, nous devons assurer un fonctionnement correct de l'installation de dosage du savon. Chaque groupe de conditionnement dispose de son propre système de dosage et une conduite générale traverse l'entièreté de la ligne afin d'amener la solution lubrifiante dans les différentes zones.

Une pompe doseuse à membrane (ProMinent, modèle DLTA 0730, Figure 6.1) doit assurer de délivrer le Lubranol DWS afin de respecter la concentration (maximum) de 0,12%v. Nous avons eu connaissance que les paramètres de cette pompe sont constamment sujets à modification lorsque les conditions sur la ligne ne permettent pas de tourner et produire avec aisance.

Les paramètres qui déterminent la capacité et sur lesquels nous pouvons agir sont les suivants :

- la longueur de la course du piston qui impose le volume dosé à chaque impulsion, elle est exprimée en pourcentage par rapport au volume nominal ;
- la fréquence des impulsions en imp./minute qui détermine la vitesse à laquelle le lubrifiant est dosé dans l'eau ( $f_{max} = 200$  imp./min).



FIGURE 6.1 – Pompe doseuse à membrane assurant l'apport en Lubranol DWS 3G sur les groupes 1 et 3 - ABI Jupille

Nous connaissons le débit nominal de la pompe correspondant à sa fréquence maximale,  $Q_{nom} = 23,2$  l/h. Il est alors aisé de déduire le volume nominal, lorsque la course d'admission du piston est à 100% :

$$V_{nom} = \frac{Q_{nom}}{f_{max} \times 60} = 2,43 \text{ ml/imp.} \quad (6.2)$$

## CHAPITRE 6. ETUDE ET MISE EN PLACE D'ACTION CORRECTIVES SUR LES CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT

---

Il existe différents modes de dosage pour la pompe. Au cours de notre contrôle, nous l'avons trouvée en mode "manuel" sur le groupe 1. Il s'agit d'un dosage continu sur base d'un réglage de la course du piston et de la fréquence (nombre de coups de la pompe par minute). Il n'est adapté que si l'eau consommée a un débit constant et continu, c'est-à-dire si les convoyeurs sont en permanence aspergés de la même façon en tout endroit. Dans le cas contraire, la concentration obtenue sur la ligne est assurément erronée.

Ce mode de dosage est d'autant moins adapté qu'il y a eu instauration de temporisations dans l'application de la solution lubrifiante. De plus, les périodes de repos peuvent être relativement longues puisque c'est tout l'intérêt de la composition du produit (forte rémanence). La lubrification de certains convoyeurs dépend de l'état de la machine, s'arrête lorsque la machine est à l'arrêt. Il est dès lors impossible de supposer que l'eau est consommée à débit constant et le dosage en continu à partir de la pompe doit être proscrit. Il n'est utile que pour les procédures de nettoyage des conduites.

La conséquence de cette modification et surtout sa fréquence est notable sur le groupe 1 au cours des derniers mois. En effet, lors du titrage de la solution lubrifiante prélevée par le laboratoire, (tous les jours de la semaine excepté le mardi et le samedi), la concentration était au delà de la valeur prescrite dans plus de 2/3 des cas sur les 2 derniers mois (Annexe E). Ce contrôle permet d'alerter le conditionnement lorsqu'il y a surconsommation de Lubranol. Aucune considération n'est faite quant à l'état des convoyeurs et les conditions de glissance effectivement rencontrées.

Le mode de fonctionnement adapté aux conditions sur la ligne (temporisation) est celui dit par "contact". L'ajustement de la fréquence n'est plus d'aucune utilité puisque le lubrifiant est dosé en fonction du débit d'eau. La pompe ne réagit qu'aux impulsions externes transmises par un compteur d'eau. C'est un débitmètre placé sur la conduite d'eau qui envoie une impulsion à la pompe à chaque fois qu'un litre d'eau a été consommé. Une aube dans la conduite met en rotation l'aiguille du compteur dont les tours sont comptabilisés par un capteur magnétique (Figure 6.2).

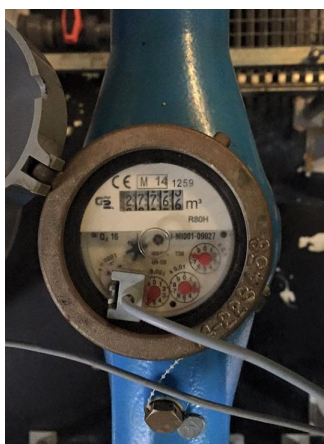


FIGURE 6.2 – Compteur d'eau envoyant une impulsion à la pompe doseuse pour chaque litre d'eau consommée - ABI Jupille

## CHAPITRE 6. ETUDE ET MISE EN PLACE D'ACTION CORRECTIVES SUR LES CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT

---

Nous avons réglé le multiplicateur d'impulsions de la pompe (ratio caractérisant le nombre de coups, de doses à envoyer pour une impulsion reçue du compteur d'eau). Ce facteur est compris entre 0,01 et 99,99 et est défini par la concentration désirée :

Nombre de doses envoyées = facteur x nombre d'impulsions externes reçues

Ce multiplicateur a été déterminé en considérant que nous utilisons l'entièreté de la course du piston (réglage sur 100% du bouton visible à la Figure 6.1). Il n'y a aucune contrainte sur ce paramètre, excepté qu'il est recommandé de ne pas descendre sous les 30% afin de ne pas désamorcer.

A chaque coup, la pompe envoie une quantité de 2,43ml dans la conduite. Chaque impulsion du compteur correspond à 1l d'eau dans lequel nous souhaitons avoir 0,0012l (1,2ml) de Lubranol si l'on considère la concentration maximale de 0,12%v. Dès lors le facteur d'impulsions devra être égal à  $\frac{1,2}{2,43} \simeq 0,5$ , soit 1 pulse envoyé par la pompe au circuit pour 2 stimulations externes reçues.

Nous avons donc réglé la pompe sur le mode de fonctionnement "contact" avec une course de 100% et un multiplicateur d'impulsions de 0,5. Ainsi, nous avons l'assurance, quel que soit le débit d'eau, que la solution lubrifiante envoyée sur la ligne n'a pas une concentration plus élevée que celle qui suffit à remplir sa fonction avec efficacité (étude menée par SOPURA).

La pompe envoie les quantités souhaitées de Lubranol dans une conduite raccordée immédiatement sur la conduite principale à travers laquelle s'écoule l'eau. Comme le montre la Figure 6.3, le raccord est équipé d'un clapet anti-retour, empêchant l'eau de s'infiltrer. Le mélange est assuré uniquement par la turbulence de l'eau. Afin de valider l'effectivité du dosage associé aux paramètres calculés, nous avons prélevé un échantillon de solution afin de vérifier que 0,12%v ne soient plus dépassés.

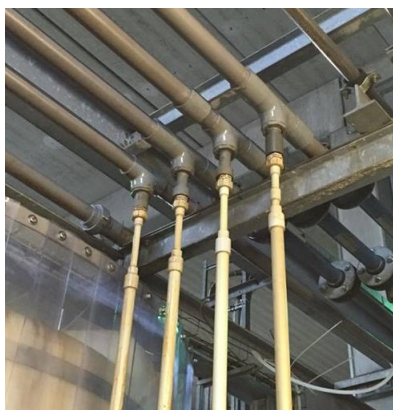


FIGURE 6.3 – Arrivée des conduites de Lubranol DWS 3G et raccord à la conduite d'eau pour le dosage - ABI Jupille

Régulièrement, lorsque la ligne ne tourne pas avec suffisamment d'aisance (chute bouteilles,...), il y a tentative de résoudre le problème en ajustant le dosage (passage en manuel, variation de la course,...). Ce réflexe est adopté notamment à cause de l'apparence sèche des convoyeurs, caractéristique du Lubranol DWS 3G. S'il mousse, il n'assure plus son rôle de film pour le glissement car le surplus réagit avec la crasse présente sur les convoyeurs (rôle d'un savon).

A défaut de l'aspect de la lubrification, le seul véritable indicateur des conditions requises sur la ligne est la glissance des bouteilles. Elle est caractérisée par la mesure du coefficient de frottement. Il est possible que la glissance obtenue ne soit pas satisfaisante malgré l'assurance d'une bonne concentration. Dans ce cas, il est nécessaire de chercher l'origine du problème ailleurs.

#### 6.1.4 Contrôle du coefficient de frottement

Afin de poursuivre avec la méthodologie PDCA, nous allons contrôler le résultat du réglage du dosage et, s'il est en dessous des valeurs idéales, planifier d'autres actions pour améliorer les conditions. La valeur de référence du coefficient de frottement d'une bouteille sur un convoyeur est de 0,15 selon les recommandations faites par SOPURA. Cette valeur théorique assure à la bouteille de glisser sans chuter.

Nous avons effectué la mesure de ce coefficient sur les convoyeurs d'entrée de la laveuse. Un dynamomètre permet cette action, la procédure étant décrite par la SOP à l'Annexe F. La grandeur mesurée en grammes représente, en intensité, le frottement qui s'oppose au glissement. Grâce à l'évaluation préalable de la masse de la bouteille (balance calibrée), nous déduisons le coefficient de frottement :

$$\text{Coefficient de frottement} = \text{valeur du dynamomètre} / \text{masse de la bouteille}$$

Le coefficient de frottement n'étant fonction que de la nature des matériaux en mouvement relatif, nous avons voulu considérer les disparités qu'il peut y avoir en fonction du fournisseur de bouteilles neuves et celles dans le degré d'usure des vidanges. Il est difficile d'estimer ce degré au sein d'un même lot de bouteilles puisqu'elles peuvent avoir un nombre de retour à l'usine très variable. Or c'est principalement le traitement chimique subit lors du conditionnement qui altère l'état de surface du verre. Nous avons réalisé les mesures à plusieurs reprises sur plusieurs contenants différents pesés au laboratoire. Pour se mettre dans les conditions réelles, nous avons pris en compte les résidus de bière que peuvent contenir certaines vidanges à cet endroit de la ligne.

Les lots de bouteilles neuves introduites à intervalles réguliers proviennent essentiellement de 3 fournisseurs différents : Ardagh Group, Saint-Gobain Verallia et Owens-Illinois (O-I). Le "coating" du verre peut être différent, selon le traitement ou le produit appliqué. De plus, le poids de la bouteille peut varier sensiblement (les spécifications du format APO 25cl se trouvent à l'Annexe G). Nous avons donc effectué les mesures pour 3 bouteilles de chaque type. Les résultats sont repris dans la Table 6.1.4.

Type	Masse [g]	Mesure dynamom. [g]	Coef. de frottement [-]
<b>Returnable</b>	237	60	0,253
	237	48	0,202
	238,6	58	0,243
	243,3	50	0,205
	252,3	62	0,246
			<b>0,23</b>
<b>Ardagh</b>	238,6	46	0,193
	239	44	0,184
	239,1	45	0,188
			<b>0,188</b>
<b>Verallia</b>	241,8	46	0,19
	242,1	42	0,173
	242,5	39	0,16
			<b>0,175</b>
<b>O-I</b>	238,4	44	0,184
	237,1	42	0,176
	238,8	44	0,183
			<b>0,181</b>

TABLE 6.1 – Résultats de mesures du coefficient de frottement sur la ligne pour différents types de bouteilles

Les valeurs moyennes obtenues sont plus élevées que celle prescrite. Comme attendu lorsqu'il y a usure, le frottement entre anciennes bouteilles et convoyeurs est plus important que celui observé pour les nouveaux contenants. Puisque cette mesure est la seule indication fiable des conditions de glissance, nous devons chercher ailleurs les actions qui permettront encore d'améliorer la lubrification. Nous allons donc passer en revue à présent ce qui touche à l'application de la solution.

### 6.1.5 Réglage de la temporisation de zone

La conduite principale du groupe 1 part du local à l'étage où le Lubranol lui est adjoint par la pompe doseuse. Des conduites secondaires dotées d'électrovannes s'insèrent sur elle dans le but de subdiviser le groupe en zones. Laes lubrifications des convoyeurs de ces zones sont régulées par les électrovannes respectives qui alimentent une ou plusieurs conduites ramifiées débitant dans les rampes dotés d'orifices de pulvérisation.

La table d'accumulation ainsi que les convoyeurs d'entrée de la laveuse bouteilles ont une lubrification régulée par l'électrovanne 20 (Figure 6.4). Celle-ci est pilotée par un automate qui instaure la durée de la temporisation lorsque la zone est réglée en mode "automatique". Les rampes ne sont alors alimentées que pendant une certaine période du cycle de temporisation. Au cours de cette période, le détendeur de l'électrovanne assure la pression qui alimente chaque conduite. Ce mode de lubrification est celui adapté à l'emploi du Lubranol DWS 3G.

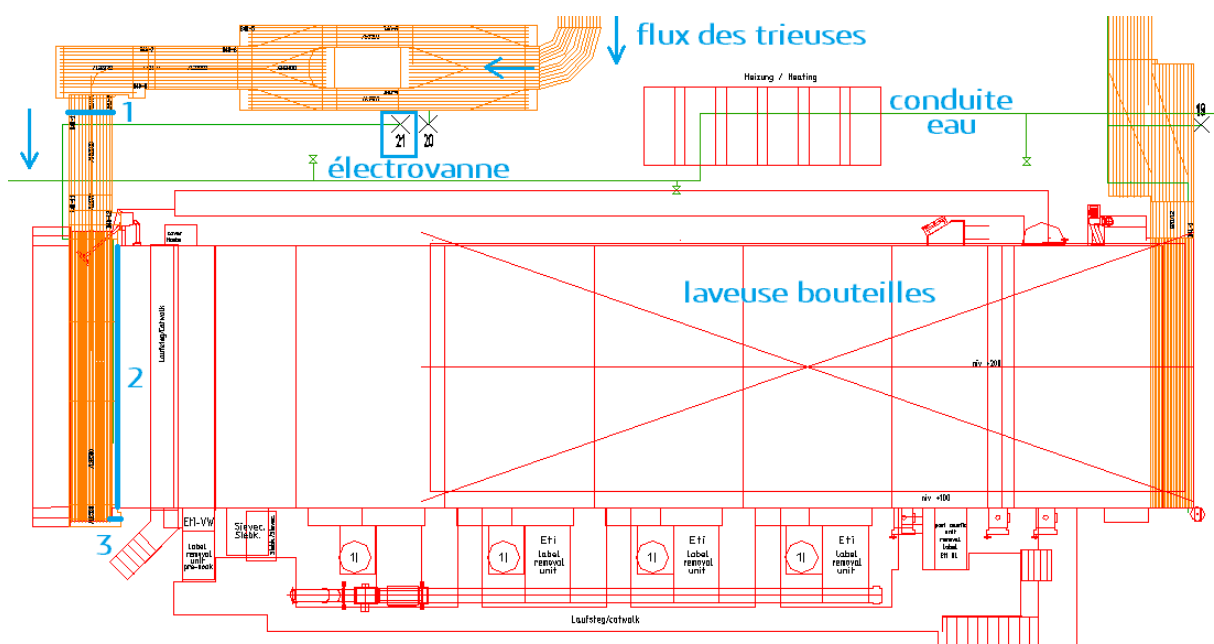


FIGURE 6.4 – Zone de lubrification réglée par l'électrovanne 20 (entrée laveuse bouteilles) du groupe 1 - ABI Jupille

La lubrification peut également être réglée en mode "manuel" pour chaque zone. La vanne débite continuellement et les chaînes sont lubrifiées en permanence. Ceci est à proscrire pour cause de surconsommation d'eau et de produit. De plus, ce mode augmente fortement le risque de chute de pression dans les autres parties de ligne, niveau et uniformité de la lubrification sont mis en péril. Les vannes ont été modifiées afin que leur ouverture ne puisse plus être forcée mécaniquement. Le passage en alimentation continue n'est possible qu'à partir de l'écran tactile (PLC) située au bureau des FLMs. C'est cette interface qui permet de modifier la durée des périodes de temporisation (ON/OFF) par zone.

Nous avons vérifié que chaque rampe de lubrification soit raccordée à la conduite adéquate. Les rampes (1), (2) et (3) sur la Figure 6.4 sont toutes les 3 alimentées en première ligne par la conduite provenant de l'électrovanne. Elles assurent respectivement la lubrification des convoyeurs d'entrée sur la Figure 6.5, des chaînes individuelles sur toute la largeur du chargement et du convoyeur "reverse" sur la Figure 6.5.

La zone d'entrée de la laveuse comprend 2 rampes supplémentaires. Il s'agit des plus apparentes que l'on distingue sur la Figure 6.5. Elles n'ont pas pour fonction d'appliquer un film sur le convoyeur mais d'asperger les bouteilles afin de leur assurer un glissement suffisant lorsqu'elles entrent au contact l'une de l'autre.

Lors de la vérification, nous avons constaté que la première était raccordée sur l'électrovanne. Vu leur fonction, l'alimentation sur le circuit d'eau est suffisant. Afin de palier à la surconsommation en Lubranol, nous avons effectué la modification dans le raccord. Cela évite également d'épancher des quantités supplémentaire de lubrifiant sur les convoyeurs.



FIGURE 6.5 – Rampes de lubrification en entrée de la laveuse bouteilles du groupe 1 - ABI Jupille

L'application de la solution doit être active le temps pour le convoyeur le plus long de faire un tour complet. Toutefois les valeurs recommandées effectivement ont été étudiées par SOPURA en tenant compte de la rémanence du produit. Elles sont reprises pour chaque zone dans le tableau à l'Annexe H. Ces temporisations ont été ajustées dans les réglages de la PLC (Figure 6.6) et nous nous sommes assurés que le mode "automatique" soit activé. Dans la zone 20, l'électrovanne est pilotée par un signal provoquant son ouverture durant 30 secondes (T ON), avant de bloquer la lubrification pendant les 40 secondes suivantes (T OFF).

Cette temporisation n'est pas adéquate pour la rampe (2) sur la Figure 6.4. Les petites chaînes des couloirs qui alimentent directement le chargement des bouteilles n'ont pas une avance continue mais par saccades. Elles sont synchronisées avec le chargement pour avancer d'une vingtaine de centimètres lors de chaque insertion de bouteilles. Ce type de mouvement est susceptible de déstabiliser la bouteille lors du redémarrage si la lubrification n'opère pas suffisamment son rôle en réduisant l'adhésion par frottement. Pour palier à la lubrification trop importante, nous avons ajouté une électrovanne avant la rampe. Elle est pilotée de manière à assurer la lubrification continue lorsque la machine tourne et ferme l'arrivée lors d'un arrêt.

Lors de nos observations, nous avons constaté que la lubrification n'était appliquée que trop peu souvent et avec irrégularité dans le temps. L'électrovanne est fermée lors d'un arrêt de la machine. Au moment du redémarrage, la lubrification est à nouveau effective à condition d'être en phase avec la période d'application régulée pour la zone 20. C'est pourquoi nous avons suggéré le placement d'une nouvelle conduite alimentée avant l'électrovanne 20 afin de ne pas être sous son influence. La modification a été effectuée par l'entreprise extérieure Minox en charge de ce type de travaux sur les lignes. Ce changement nous semble d'autant plus pertinent que les chaînes des couloirs sont de longueur bien moins importantes que les convoyeurs d'entrée. Dès lors, les soumettre à la temporisation d'application pour la zone 20 n'a que très peu de sens globalement.

The screenshot shows a supervision interface for 'CIRCUIT SAVON GROUPE 1'. At the top, it displays the date '26/05/16', the title 'Vitesse groupes 1&3', the time '08:06:00', and a 'DECONNECTION' button. The main table lists 20 valves with their status (all 'AUTO') and various timing parameters. At the bottom, there are control buttons for 'JB 1', 'JB 3', 'PID VANNES SAVON', 'VANNES SAVON', and 'CIP VANNES SAVON'.

N° vanne	Status	T ON	T OFF	T ACT	PAS POUR CIP	PAS ACT CIP	T PAS ACT CIP
11	AUTO	30	20	6	11	0	0
12	AUTO	30	40	30	12	0	0
13	AUTO	30	40	5	13	0	0
14 GROISIL	AUTO	30	20	0	0	0	0
15	AUTO	30	25	26	15	0	0
16	AUTO	30	25	9	16	0	0
17	AUTO	30	25	29	17	0	0
18	AUTO	30	25	25	18	0	0
19	AUTO	30	40	21	19	0	0
20	AUTO	30	40	14	20	0	0

FIGURE 6.6 – Ecran de supervision du circuit de lubrification du groupe 1 - ABI Jupille

Une application de la lubrification uniquement lorsque les chaînes avancent ne nous semble pas non plus adaptée. La période d’insertion des bouteilles est de 2,3 secondes, c’est aussi celle du mouvement des chaînes. Lorsque la vanne s’ouvre, la montée de pression n’est pas instantanée dans la rampe, de même que la puissance du jet. Il est donc raisonnable de penser que l’efficacité de la lubrification sera affectée au vu de la fréquence importante d’ouverture et de fermeture impliquée.

### 6.1.6 Uniformisation des gicleurs

La pulvérisation se fait au moyen de buses (gicleurs, voir Figure 6.7) placées sur des orifices dans la rampe. La rampe doit être configurée de sorte à ce qu’il y ait un gicleur par chaîne (à l’exception des petites chaînes des couloirs, plus étroites). La pulvérisation peut se faire au dessus du convoyeur ou en dessous à l’endroit où il s’enroule autour de l’axe du pignon. Cette dernière demande une orientation correcte de la rampe mais avant tout nécessite une pression suffisante pour permettre à un jet franc d’atteindre la chaîne.

La pression est dictée en première ligne par le détendeur de l’électrovanne (contrôle par un manomètre pour assurer 2 bars). Toutefois, il faut également assurer que les buses aient un débit adéquat et ne soient pas bouchées. Des pertes de charges peuvent être observées s’il y a des fuites dans les tuyauteries ou par les orifices (manque d’étanchéité de l’écrou dans lequel est inséré le gicleur).



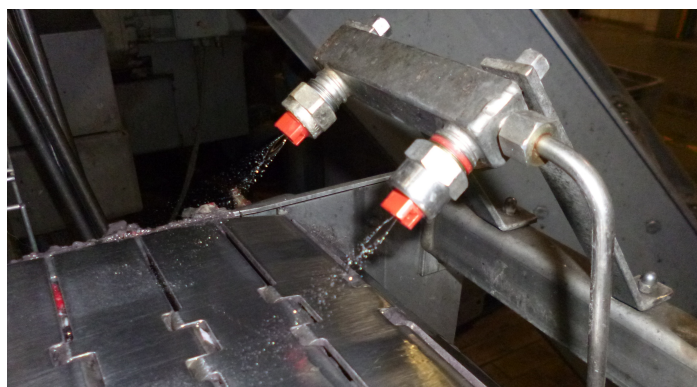


FIGURE 6.7 – Rampe de pulvérisation de solution lubrifiante par buses - ABI Jupille

Le problème majeur que nous avons constaté dans le système de lubrification vient du très grand nombre de gicleurs cassés ou bouchés par les glaires. Ces agrégats proviennent de l'activité micro-bactériologique du lubrifiant au cours du temps, malgré la présence d'additifs. Le glissement des bouteilles ne peut qu'en être affecté, d'autant plus que la situation est permanente : ils ne sont nettoyés et/ou remplacés que lors des révisions (2 fois par an). Les arrêts pour nettoyage ne sont pas concentrés sur les rampes de lubrification.

De plus, comme c'est le cas sur la Figure 6.5, le type de gicleurs placés sur une même rampe n'est pas uniforme. Ils se distinguent par leur couleur qui donne une indication sur le débit. Cette information est généralement méconnue des opérateurs et il n'y a pas d'information disponible sur le type de buse à placer sur chaque rampe. Il a été décidé en accord avec SOPURA qu'il était satisfaisant de placer des buses rouges (débit de 4,8l/h sous une pression de 2 bars) pour la lubrification par le dessus tandis que des bleues (6,6l/h) sont préconisées lorsqu'on pulvérise par en dessous. Cette uniformité est importante dans la mesure où deux chaînes côte à côte ne peuvent avoir un niveau de lubrification différent, au risque de voir chuter la bouteille lorsqu'elle passe d'une à l'autre.

Afin de pouvoir contrôler une amélioration de la glissance à court terme, nous avons inspecté, nettoyé et au besoin remplacé les gicleurs défectueux ou du mauvais type. Cette action a été réalisée au cours d'un arrêt planifié. Nous avons donc passé l'électrovanne en mode "manuel", ce qui permet de traquer les fuites et placer des joints en caoutchouc. Les gicleurs doivent être orientés parallèlement au convoyeur afin de pulvériser sur toute la largeur de la chaîne. Nous avons constaté principalement que les rampes toutes entières étaient encrassées et en partie bouchées par les glaires.

### 6.1.7 Amélioration de l'accessibilité des rampes

Après s'être rendu compte de la difficulté de la tâche du nettoyage, nous avons remis en question l'accessibilité des rampes. Parmi la lubrification des convoyeurs de la zone 20, seule la (3) sur la Figure 6.4 est une pulvérisation par le dessus. Dans l'idéal, d'un point de vue efficacité, nous aimerions que les convoyeurs soient tous alimentés par le dessus.

Les convoyeurs d'entrée (1) prennent en charge le flux de bouteilles après le tournant, empêchant tout placement d'un système de lubrification des chaînes à cet endroit. L'autre extrémité est libre de bouteilles mais s'enroule pour partir en dessous de la table et perdrait dès lors au sol toute solution aspergée. La faible largeur et la possibilité de démonter la rampe facilement à l'aide d'une clé à molette ne la rendent pas inaccessible au nettoyage.

La configuration des petites chaînes et leur séparation par des guides métallique ne permet pas le déplacement de la rampe (2) pour une lubrification par le dessus. L'accessibilité de cette rampe est beaucoup plus problématique à cause de sa longueur (6m) et de sa localisation (Figure 6.9). Elle se situe sous la table d'accumulation, là où beaucoup de saletés et d'humidité s'accumulent à cause des vidanges et des vannes de mise à l'égout. Les nombreuses fixations à desserrer à l'aide d'outils ne rendent pas la tâche aisée.

La lubrification des chaînes est mise à mal car les gicleurs sont rapidement bouchés par les glaires et leur nettoyage n'est pas assuré pour manque d'accessibilité. De plus, c'est un tuyau à air comprimé flexible qui raccorde la rampe à l'électrovanne par seul souci de palier au manque d'espace lors du retrait de la rampe. Ce type de tuyau est proscrit pour la lubrification puisque source potentielle de fuite. En cas de chute de pression, la longueur de la rampe est pénalisante également.

Dans le but d'améliorer la situation et de palier à la majorité des problèmes cités, nous avons effectué plusieurs modifications sur la rampe. Afin de pouvoir retirer la conduite plus facilement, nous avons demandé à Minox de la concevoir en plusieurs parties : pour palier aux pertes de charges dues à la longueur, elle a été coupée en 2 conduites distinctes non raccordées. Nous avons demandé à placer une seconde alimentation et électrovanne à l'extrémité droite. Ainsi la pulvérisation de la moitié des couloirs fonctionne indépendamment de celle de l'autre moitié (utile lors d'un nettoyage).

Nous avons également profité de la modification afin de placer avant chaque électrovanne un filtre en "Y" permettant de réduire efficacement l'arrivée des glaires jusqu'aux gicleurs (un premier filtrage est déjà opéré en amont). Ces filtres ont l'avantage d'être directement accessibles, il suffit de dévisser un bouchon pour les extraire (Figure 6.8).

Pour plus de facilité, nous avons amélioré le système de fixation de la rampe au moyen d'un collier de serrage avec papillon (voir Figure 6.9). Celui-ci peut être desserré facilement sans besoin d'outils supplémentaires tandis que les 2 morceaux de conduites au milieu y sont simplement déposés.

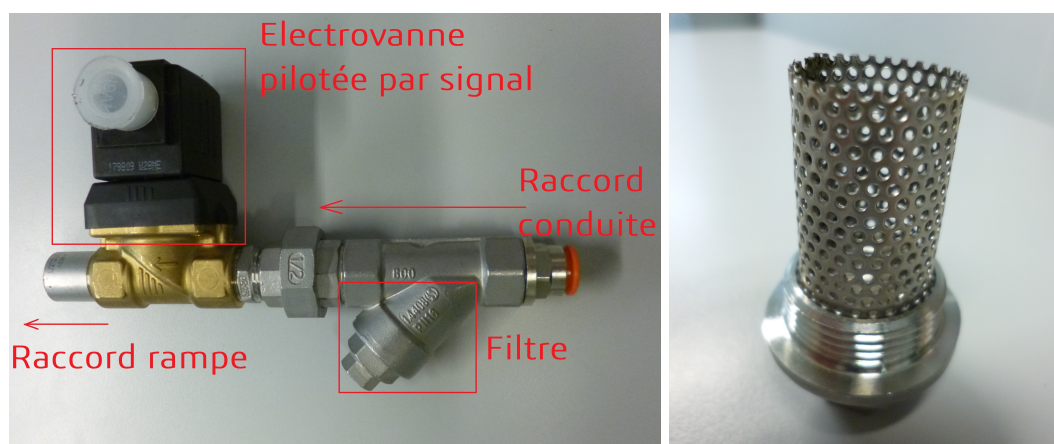


FIGURE 6.8 – Filtre et électrovanne pilotée alimentant la rampe de lubrification sous la laveuse bouteilles du groupe 1 - ABI Jupille

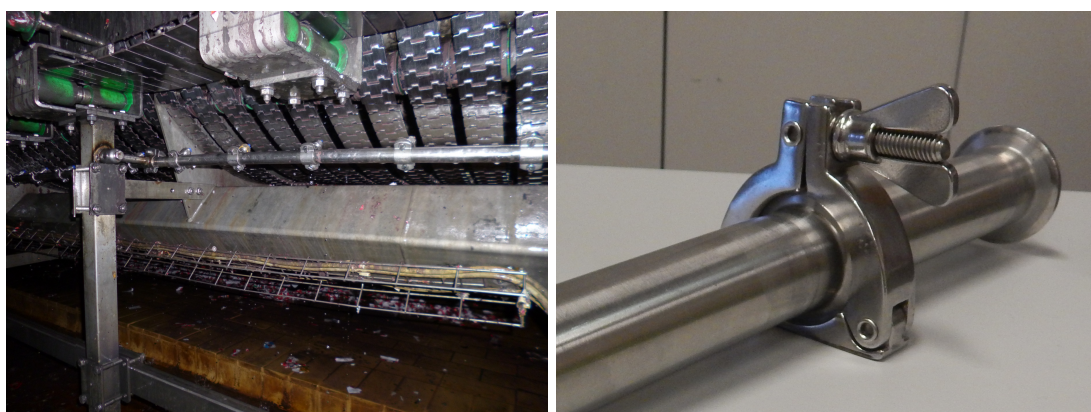


FIGURE 6.9 – Nouvelle rampe de lubrification de la laveuse du groupe 1 et système de fixation - ABI Jupille

### 6.1.8 Vérifications

Lorsque toutes les modifications et vérifications ont été mises en place, il est évidemment important de mesurer qu'elles ont pu améliorer la glissance des bouteilles en entrée de la laveuse. Nous avons donc procédé à nouveau à la mesure du coefficient de frottement sur la ligne. Le résultat est repris dans le tableau 6.1.8.

On constate dès lors que les modifications apportées ont permis de réduire le frottement entre le convoyeur et les bouteilles et ainsi augmenter l'efficacité. C'est donc au niveau de l'application de la lubrification que se trouvent les lacunes. Elle n'est pas assurée lorsque l'aspersion n'a pas une durée adéquate dans le temps ou pire lorsque l'entretien des conduites et gicleurs ne peut être réalisé.

Type	Masse [g]	Mesure dynamom. [g]	Coef. de frottement [-]
<b>Returnable</b>	237	50	0,21
	237	43	0,18
	238,6	46	0,194
	243,3	39	0,16
	252,3	54	0,214
			<b>0,192</b>
<b>Ardagh</b>	238,6	32	0,136
	239	37	0,154
	239,1	36	0,15
			<b>0,147</b>
<b>Verallia</b>	241,8	39	0,162
	242,1	31	0,13
	242,5	31	0,126
			<b>0,139</b>
<b>O-I</b>	238,4	39	0,162
	237,1	35	0,146
	238,8	32	0,132
			<b>0,146</b>

TABLE 6.2 – Résultats de mesures du coefficient de frottement pour différents types de bouteilles après modifications apportées sur la ligne

## 6.2 Investigation et formalisation d'une procédure de réglage mécanique du chargement

Nous avons souhaité assurer le réglage de l'entraînement du chargement des bouteilles en entrée de la laveuse. Ce réglage est actuellement très variable et rien ne permet d'en assurer la régularité, il n'est conditionné que par le bon sens des techniciens intervenant sur la machine. Toutefois, si celui-ci est conforme à une bonne introduction des contenants depuis la table d'accumulation, nous pouvons retirer ce facteur des incertitudes liées aux crashes de la machine.

Nous avons identifié les points essentiels à certifier et avons effectué les réglages qui y correspondent. Dans l'esprit de la méthodologie PDCA, nous avons procédé à un essai sur un échantillon du système (insertion d'une ou plusieurs rangées de bouteilles) afin de constater le comportement et la conformité à l'effet désiré, pour réitérer au besoin. Lorsque le bon compromis nous a semblé atteint, nous avons relevé les grandeurs utiles.

Finalement, la procédure à suivre a été formalisée par l'écriture d'une SOP (Standard Operating Procedure) qui peut être consultée à l'Annexe I. Il s'agit d'un document retraçant de façon imagée les étapes afin d'arriver au réglage investigué. Il n'est pas figé et pourra être utile lors d'interventions des services techniques ou à des fins d'améliorations ultérieures si des changements sont opérés sur le chargement.

Les 3 points qui doivent être assurés pour un bon chargement et les réglages pour y arriver font l'objet des sous-sections suivantes.

### 6.2.1 Prise par le doigt de chargement

L'avance des chaînes de la table d'accumulation est synchronisée avec la prise de la bouteille. Nous avons tout d'abord voulu assurer le bon placement du doigt de chargement à la fin de chaque pas des chaînes. Le spécialiste machine recommande à 16mm la distance verticale entre le doigts et la table afin de permettre à la bouteille de s'incliner correctement contre les guides noirs (1, Figure 6.11). Cet instant correspond à l'instant et la position de référence du chargement.

L'arbre supportant les doigts est entraîné par un moteur synchrone à aimants permanents. Le système arbre-bielle que l'on peut voir à la Figure 6.10 assure le mouvement elliptique pour soulever et pousser la bouteille. La position de référence est celle pour laquelle la bielle est alignée selon le diamètre de l'arbre. Elle est marquée de deux flèches entre lesquelles nous avons amené l'axe de la bielle. Pour ce faire, l'ensemble de l'entraînement a été enclenché manuellement (chaînes, tablier et porteurs de godets) avec le bouton de commande.

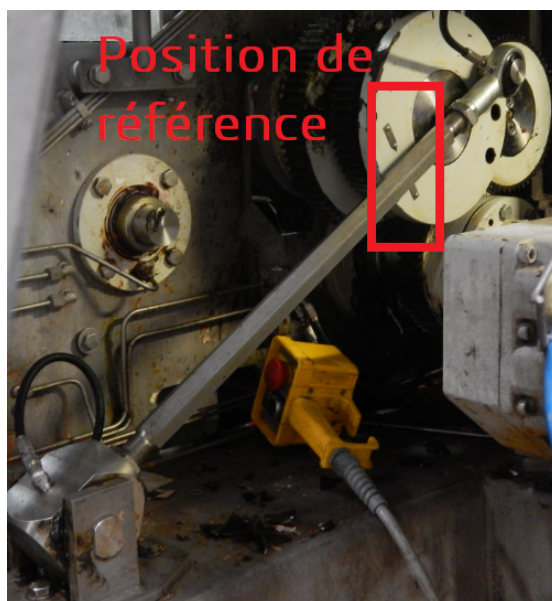


FIGURE 6.10 – Système arbre-bielle de l'entraînement de la laveuse bouteilles du groupe 1 - ABI Jupille

Nous avons ajusté la distance de 16mm en faisant tourner uniquement le moto-réducteur de cet entraînement. Le frein peut être débloqué manuellement et la rotation du moteur est obtenue à l'aide d'une clé hexagonale insérée dans l'orifice du ventilateur. Ainsi, nous redéfinissons la position de référence selon notre besoin et le reste de l'entraînement devra être calibré en conséquence.

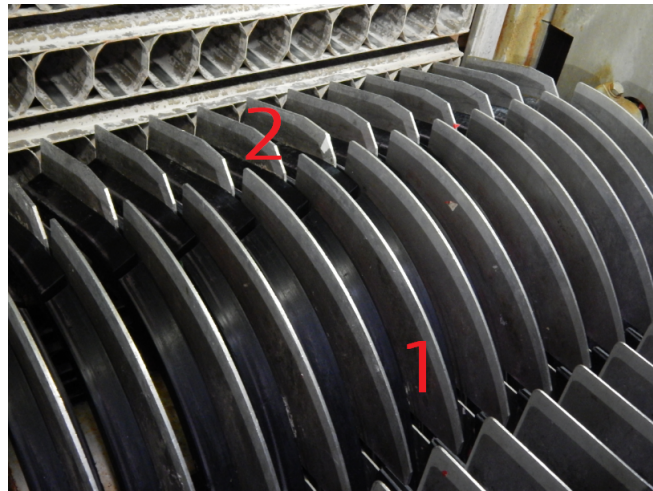


FIGURE 6.11 – Guides d'insertion des bouteilles dans la laveuse du groupe 1 - ABI Jupille

### 6.2.2 Insertion dans le godet

La seconde partie des guides noirs est mobile (2, Figure 6.11). Elle s'incline de haut en bas pour suivre le godet lors de l'introduction. Le mouvement est transmis par un système de bielle entraînée par le moto-réducteur (Figure 6.12). Si l'on considère l'instant de référence, la position de référence correspond au point le plus bas. Cette inclinaison peut être réglée en ajustant la longueur de la tige filetée à gauche et à droite. Le critère de réglage est l'alignement des profilés avec le bord inférieur des godets lorsqu'ils se trouvent en position horizontale haute, c'est à dire lorsque les bouteilles sont en passe d'entrer dans les godets.

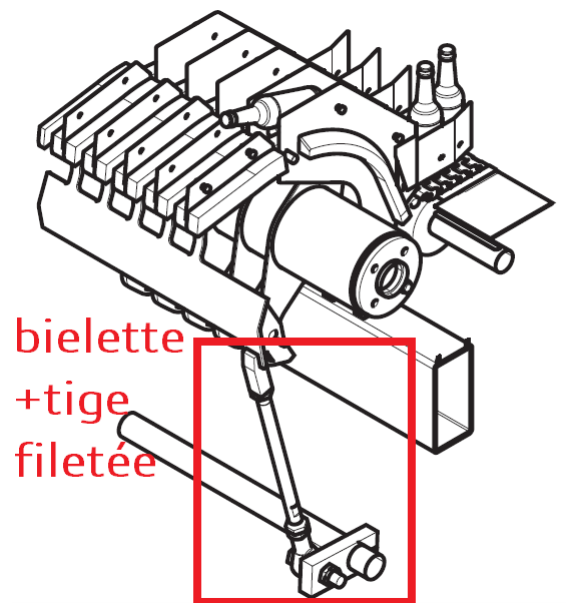


FIGURE 6.12 – Entraînement mécanique de la partie mobile des guides d'insertion de la laveuse du groupe 1 - ABI Jupille

En tenant compte des ajustements réalisés jusqu'ici, il faut encore assurer la profondeur du mouvement elliptique des doigts. Celle-ci est dictée par la longueur de la bielle principale (Figure 6.10). Elle est réglée en trouvant le compromis adéquat : il faut empêcher les bouteilles de retomber le long des guides (retrait trop rapide des doigts), mais il faut également veiller à ce que ceux-ci ne poussent pas la bouteille trop loin (risque de heurt ou de blocage du chargement).

### 6.2.3 Synchronisation temporelle des mécanismes

Comme le montre la Figure 6.13, le moto-réducteur du chargement est synchronisé avec ceux qui entraînent les porteurs de godets. Lorsque nous avons fait tourner le moteur manuellement sans entraîner l'entièreté du chargement, l'encodeur absolu qui lui est adjoint a tourné également et ne correspond plus à la position de référence (une différence de bits apparaît à l'écran). Avant de pouvoir enclencher le chargement et effectuer les essais, nous devons donc assurer de faire disparaître ce décalage entre les encodeurs en ramenant celui du moto-réducteur à la valeur avant réglage.

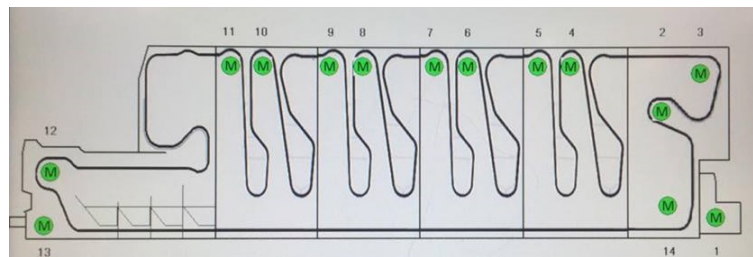


FIGURE 6.13 – Schéma de l'emplacement des moto-réducteurs de la laveuse bouteilles du groupe 1 - ABI Jupille

Le retour à la valeur de référence est réalisé en faisant tourner le pignon cranté du capteur absolu (Figure 6.14). Ainsi la nouvelle position des doigts est prise en compte dans la synchronisation des mouvements qui interviennent. Cela assure de pouvoir mener à bien les tests d'insertion sans être induit en erreur en cas de mauvaise insertion.

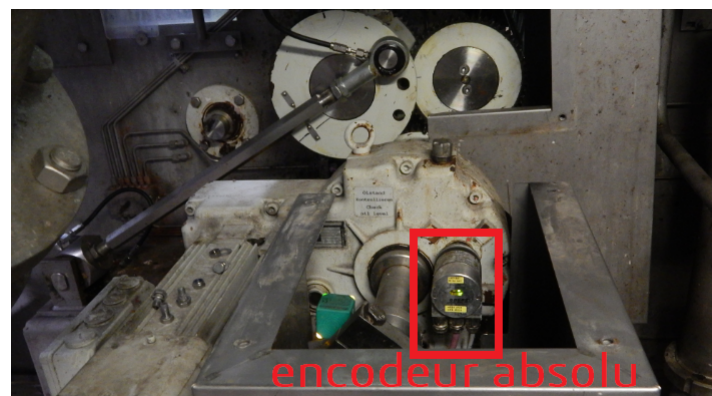


FIGURE 6.14 – Moto-réducteur et encodeur absolu de l'entraînement du chargement de la laveuse - ABI Jupille

#### **6.2.4 Vérifications**

Lorsque le chargement est embrayé, nous avons vérifié pour une série de rangées que toutes les bouteilles s'inclinent en fin de table avant d'être prises sans chuter. Nous avons débrayé le chargement lorsque la bague de la bouteille rentre juste dans le panier. A cet instant, nous devons avoir un alignement entre le bord inférieur du godet et les profilés d'insertion qui sont en position horizontale. Afin d'assurer un centrage correct des bouteilles dans les godets et réduire la probabilité d'un récipient coincé, nous avons jugé bon d'assurer une distance de 20-25mm entre la bague et le bord du panier.

Tous les réglages décrits ne doivent être effectués qu'en cas d'intervention sur la machine ou de remplacements de pièces (périodes de révisions). L'intérêt dans la formalisation de cette procédure est d'avoir à disposition des valeurs de référence, auxquelles il n'est plus nécessaire de toucher, une fois ajustées.

Le travail a dû être réalisé en prenant en compte la flèche de 20mm à laquelle sont soumis actuellement les porteurs de godets en leur centre. Ce défaut a été rapporté au constructeur avec qui une solution doit être trouvée. Lors de notre travail nous avons donc constamment cherché à trouver un compromis dans les réglages permettant d'insérer aussi bien les bouteilles aux extrémités que celles au centre.

De plus, les mesures prises sont également soumises à l'incertitude sur l'état des matières d'usure. Les doigts de chargement en plastique interchangeables ainsi que les profilés d'insertion ont été pris en compte dans des plans préventifs afin d'être remplacés lors des révisions.

### **6.3 Checklist**

Afin de contribuer encore un peu plus à créer un environnement favorable au chargement des bouteilles, nous avons ajouté une procédure de nettoyage obligatoire en début de pause. Elle concerne le nettoyage systématique des couloirs afin d'y enlever les étiquettes collées qui font chuter les bouteilles. La procédure a été insérée dans la Checklist de l'opérateur en charge de superviser la laveuse (Annexe J).



## **6.4 Conclusion**

Les améliorations traitées au cours de ce chapitre permettent de se rendre compte des nombreux facteurs qu'il faut prendre en compte dans le procédé d'accumulation et de chargement des bouteilles dans la laveuse.

Lorsque nous considérons la lubrification, certains éléments contribuant à la glissance des bouteilles peuvent être mis en place et vérifiés de façon rigoureuse. C'est le cas notamment du dosage efficace par la pompe pour conserver la concentration prescrite. Vouloir augmenter à tout prix la quantité de produit pulvérisée ne facilite pas le glissement, au contraire, ça le dégrade.

Tandis que d'autres éléments ne peuvent pas être assurés de façon tout aussi rigoureuse, mais des améliorations efficaces peuvent être apportées. En agissant sur les conditions d'applications du produit (temps de pulvérisation, gain de pression et de débit par modification des raccords et facilitation des actions de nettoyage), nous avons, en effet, obtenu des meilleures conditions de glissance.

La réglage mécanique du chargement était, jusqu'à présent, également une incertitude. La procédure établie permet d'assurer une répétabilité et surtout de formaliser les besoins par rapport au positionnement de la bouteille aux différentes étapes et ainsi réduire les risques que le chargement soit bloqué, entraînant des arrêts de la machine.

# Chapitre 7

## Modélisation par éléments discrets de la répartition des bouteilles

*Ce dernier chapitre vise le développement d'un modèle numérique par éléments discrets du flux de bouteilles sur la table d'entrée de la laveuse.*

### Sommaire

---

<b>7.1</b>	<b>Ojectifs</b>	<b>82</b>
<b>7.2</b>	<b>Adéquation de la méthode au problème</b>	<b>83</b>
7.2.1	Principes de modélisation et de calculs	84
7.2.2	Le logiciel YADE	87
<b>7.3</b>	<b>Construction du modèle de la laveuse bouteilles</b>	<b>87</b>
7.3.1	Définition de la géométrie et hypothèses	87
7.3.2	Détermination des paramètres numériques de contact	89
<b>7.4</b>	<b>Validation du comportement</b>	<b>91</b>
<b>7.5</b>	<b>Modifications géométrique</b>	<b>94</b>

---

## 7.1 Ojectifs

Le problème fondamental dans le processus d'accumulation et de chargement des bouteilles est l'incapacité régulière à remplir certains couloirs de la table d'accumulation. Cette répartition est conditionnée par la poussée qui s'exerce entre les bouteilles dans certaines zones en particuliers, bloquant systématiquement une partie des couloirs.

A cela, s'ajoute les conditions très variables de l'environnement de la machine. Lors des multiples heures passées au contact de celle-ci, nous avons pu constater que son bon fonctionnement est soumis à très grande variabilité. Elle peut tourner plus ou moins bien selon les éléments. La plupart des facteurs dont il est question interviennent pour contraindre l'arrivée des bouteilles : les incertitudes sur l'état de glissance, celles sur la propreté de la machines et d'autres encore liées à l'homme.

Il est dès lors très difficile d'établir un scénario unique quant à l'arrivée des bouteilles pour leur chargement. Malgré tout, le blocage qu'induit la pression en certains endroits est réel. Force est de constater qu'en bout de table d'accumulation, l'entraînement des bouteilles et la géométrie font que la poussée est très mauvaise et les récipients s'agglutinent en entrée des couloirs en subissant une pression élevée du lot qui les entoure.

Le nombre élevé de bouteilles présentes sur la table rendent difficile de prédire quelles modifications pourraient être effectuées afin de réduire cette pression et plus particulièrement à quel endroit. Pourtant, travailler à rendre plus aisée l'insertion des bouteilles peut, en plus de réduire les crashes de la machine, avoir rapidement un impact non négligeable pour le GLY.

A peine 7 couloirs bloqués représentent 11.350 bouteilles non-traitées en une heure si l'on considère la cadence nominale de la machine (120.000 b/h). Dès lors, tout calcul fait, c'est 10% de cette cadence que nous perdons. Dans le meilleur des cas, les soutireuses sont alimentées à hauteur de 108.000 b/h alors qu'elles tournent elles-même à une cadence de 104.000 b/h. Toutefois, il est plus fréquent qu'à cause des crashes au chargement, la cadence de la laveuse soient réglée à une valeur encore inférieure.

En regard de ces aspects, un modèle prédictif des interactions et déplacements résultants sur la table d'accumulation pourrait s'avérer utile afin d'étudier le comportement du lot de bouteilles. D'autant plus que la mise en place d'éléments de solution, à priori simplistes, afin d'améliorer l'insertion dans les couloirs ont été tentées par ZBS et se sont révélées infructueuses et inefficaces.

Le recours à une modélisation numérique de ce type de système peut paraître peu commun, toutefois lorsque l'on épluche la littérature, on constate qu'il existe bel et bien quelques exemples de simulations numériques par éléments discrets représentant le transport de bouteilles. En plus des raisons pour lesquelles le modèle pourra être jugé pertinent ultérieurement, cette dernière reconforte dans l'idée d'en réaliser l'implémentation.

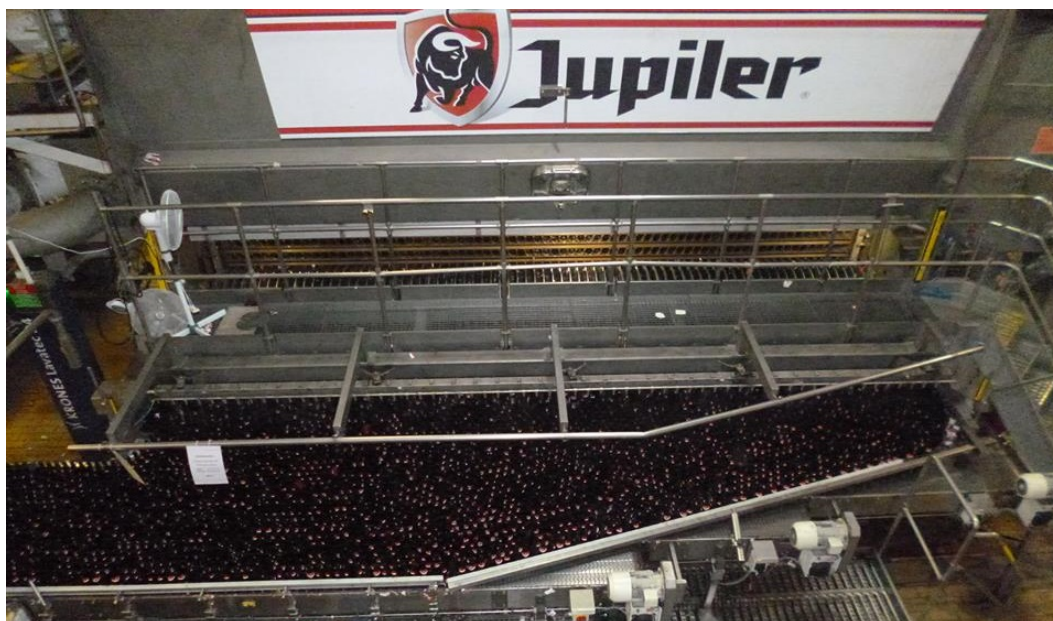


FIGURE 7.1 – Vue du dessus de la table d’accumulation et entrée de la laveuse bouteilles du groupe 1 - ABI Jupille

## 7.2 Adéquation de la méthode au problème

La méthode par éléments discrets est une méthode numérique permettant d’étudier et prédire le mouvement et le comportement d’un grand nombre de particules au sein d’un système. Elle est utilisée notamment pour l’étude cinématique et dynamique de milieux granulaires et discontinus. Elle permet de modéliser les comportements rigides/déformables en prenant en compte la gravité, le frottement et le contact lorsque deux éléments interagissent ou entrent en collision. Elle permet, en outre, de déterminer le comportement macroscopique d’un système en modélisant ses composants individuels.

Ce type de modélisation pousse donc à considérer le flux de bouteilles comme un système de particules. Cette vision ne semble pas dénuée de sens pour autant que les éléments essentiels à la description du comportement du système soient pris en compte. Les interactions et collision entre bouteilles peuvent être traitées de façon adéquate grâce à une loi de contact adaptée, les effets de la gravité sont modélisés et, très important, les phénomènes de friction (tangentielle pour les contacts entre bouteilles et normale pour ceux entre convoyeur et bouteilles) sont représentés. Il n’y a pas lieu de s’inquiéter outre-mesure de la forme géométrique non représentative des éléments, le frottement ne dépendant pas de la forme ou taille des surface en contact, uniquement de leur nature.

Toutefois, en modélisant chaque bouteille par un élément discret unique (plus particulièrement un élément de sphère), il n’est évidemment pas possible de prendre en compte la capacité de la bouteille à chuter (liée à sa géométrie et son centre de gravité). Comme annoncé, le recours aux éléments discrets n’a d’intérêt que l’étude de la répartition des bouteilles soumises aux interactions entre-elles et avec les convoyeurs.

Il est bien évidemment possible d'approximer de façon plus fidèle la forme des bouteilles avec la même méthodes, en utilisant les éléments non-sphériques. Ceux-ci regroupent des géométries plus complexes, obtenues par agrégats de particules élémentaires (les sphères) et le temps de calcul qui s'y rapporte devient rapidement très élevé. Dans une application comme celle-ci, nous ne nous y intéresserons pas.

### 7.2.1 Principes de modélisation et de calculs

La première étape de la méthode est la création des corps (ou particules) de la simulation. On distingue deux types d'éléments :

- **les éléments discrets (sphères)** : leur mouvement et comportement sont caractérisés par la seconde loi de Newton et une loi de contact. Dans le cas présent d'éléments 3D sphériques, on assigne à ce type de particules les coordonnées du centre, le rayon et la loi matérielle (forces et vitesses peuvent également leur être imposées dans le modèle). Les paramètres matériaux sont la masse volumique ainsi que les paramètres de contact qui seront définis ultérieurement. L'avantage des éléments sphériques se situe dans l'exactitude avec laquelle le contact peut facilement être déterminé.
- **les éléments frontières (facettes)** : le mouvement de ceux-ci n'est pas gouverné par les lois de Newton mais défini explicitement. Il s'agit de facettes triangulaires qui servent d'éléments de maillage et auxquelles peuvent être données des vitesses. Ces éléments serviront à modéliser les convoyeurs et autres limites géométriques.

La première étape de la procédure des éléments discrets est la détermination des forces d'interaction entre deux éléments sphériques ou entre une sphère et une facette. La loi de contact permet le calcul de ces forces. Toutefois, la détection des contacts est nécessaire et la méthodologie en est importante. Elle peut, en effet, rapidement faire grimper le temps de calcul en raison du nombre élevé de particules que peut contenir une simulation classique par éléments discrets. Le principe fondamental et coûteux en temps de la détection de contact, consiste à vérifier et mesurer la distance entre les centres de deux sphères et particulièrement le chevauchement qui est autorisé par l'emploi d'une loi de contact régulière.

Dans la plupart des cas et dans le cas présent, un algorithme de détection de contact numérique est utilisé dans le but de réduire le temps de calcul. Il s'agit de l'algorithme de "Sweep and prune". Il limite le nombre de paires d'éléments pour lesquels la collision (le recouvrement) doit être déterminée. Chaque élément est englobé d'une frontière virtuelle parallélépipédique alignée avec le système d'axes. Dans le cas particulier de l'élément sphérique, c'est le diamètre de celui-ci qui limite les dimensions du parallélépipède. Les limites de chaque volume virtuel selon chaque orientation sont triées dans une liste par rapport à celles des autres. A chaque pas de temps, elles sont réévaluées et l'algorithme met la liste à jour. Il y a début ou fin de collision si deux éléments de cette liste doivent être intervertis. Dès lors, grâce au référencement des éléments de la, le recouvrement sera vérifié uniquement dans ce cas. La mise à jour préalable des listes est peu coûteuse en temps de calcul si on admet l'hypothèse de la cohérence temporelle (le pas de temps est

suffisamment petit pour ne pas autoriser d'énormes modifications dans les configurations).

Le modèle de loi de contact régulier admet le recouvrement entre deux éléments en collision (le contact non-régulier est utilisé en quasi-statique ou pour les phénomènes dynamiques lents). Celle utilisée fréquemment pour les éléments discrets est une loi linéaire modélisée par l'association en parallèle d'un ressort et d'un amortisseur. De plus, un élément de glissement permet de représenter la friction tangentielle entre les particules.

Plus globalement, Grâce aux composantes tangentielles de cette loi (Figure 7.2), il est possible de représenter la rotation des sphères (donc celle des bouteilles autour de leur axe). Le glissement des bouteilles l'une par rapport à l'autre est pris en compte par la force de friction de Coulomb qui limite la composante tangentielle d'interaction. Au delà, le glissement apparaît.

Dans le cas d'une collision de deux sphères, la composante normale de la force de contact est donnée par (Figure 7.2) :

$$F_n = k_n \Delta x + c_n v_n \quad (7.1)$$

avec

- $v_n = -\mathbf{u}_n \mathbf{v}_c$ , la composante normale de la vitesse relative des deux sphères au point de contact ( $\mathbf{u}_n = \frac{\mathbf{x}_2 - \mathbf{x}_1}{\|\mathbf{x}_2 - \mathbf{x}_1\|}$  est le vecteur unitaire normal au plan tangent entre les 2 sphères et pointant vers le centre de la seconde et  $\mathbf{v}_c = \dot{\mathbf{x}}_2 - \dot{\mathbf{x}}_1 + \mathbf{u}_n \times (\tilde{r}_1 \omega_1 + \tilde{r}_2 \omega_2)$  la vitesse relative au point de contact avec  $\tilde{r}_i = \|C_i C\|$ );
- $\Delta x$  la valeur du recouvrement entre les deux sphères;
- $k_n$ , la raideur normale équivalente du ressort linéaire;
- $c_n$ , le coefficient d'amortissement normal équivalent de l'amortisseur;

La composante tangentielle de la force d'interaction est obtenue à partir de la pondération de la composante normale par le coefficient de frottement de Coulomb. Sa définition dépend de l'énergie emmagasinée par l'élément de ressort due au mouvement tangentiel (terme intégral) :

$$F_t = \min \left( \mu F_n, k_t \int v_t dt + c_t v_t \right) \quad (7.2)$$

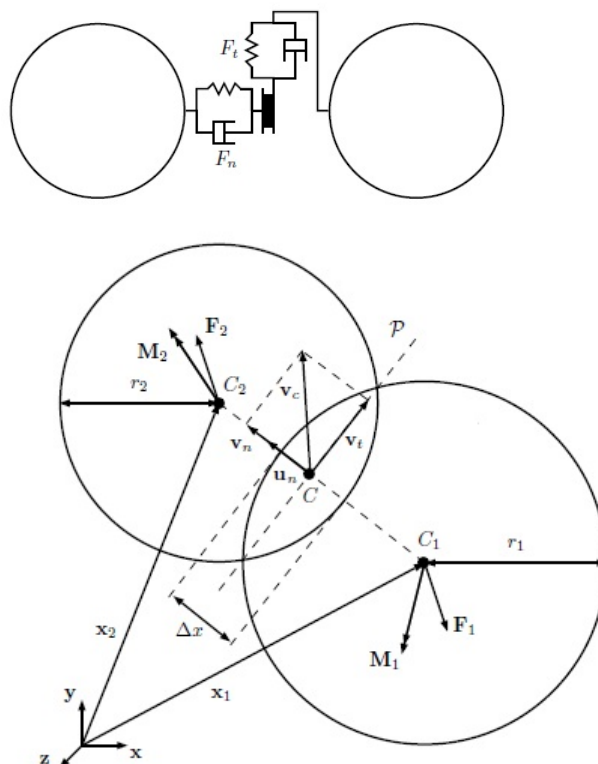


FIGURE 7.2 – Représentation schématique du contact associant ressort linéaire, amortisseur, élément de glissement tangential et permettant de dériver la force d’interaction (source : [20]).

Les paramètres de contact qui interviennent dans la modélisation sont donc :

- la raideur normal,  $k_n$  ;
- la raideur tangentielle,  $k_t$  ;
- le coefficient d’amortissement normal,  $c_n$  ;
- le coefficient d’amortissement tangential,  $c_t$  ;
- le coefficient de frottement,  $\mu$ .

L’étape suivante du formalisme des éléments discrets, lorsque la force de gravité est ajoutée à celles d’interaction, est la dérivation des vitesses et positions à chaque pas de temps. Un schéma d’intégration numérique des équations d’équilibre dynamique (seconde loi de Newton) est employé. Les méthodes par éléments discrets on recourt à des schémas d’intégration explicites (celui de Leapfrog qui utilise la vision lagrangienne). Ils sont conditionnellement stables, ce qui implique qu’il existe un pas de temps critique au delà duquel l’erreur d’intégration augment indépendamment du pas de temps). Le choix du pas de temps de la simulation est donc crucial.

Pour la sphère  $i$ , les accélérations sont déduites de la seconde loi de Newton en faisant intervenir les forces d'interaction à chaque pas de temps, grâce à la loi de contact :

$$\begin{cases} \ddot{\mathbf{x}}_i = \frac{\mathbf{F}_i}{m_i} \\ \dot{\omega}_i = \frac{\mathbf{M}_i}{I_i} \end{cases} \quad (7.3)$$

avec

- $m_i$ , la masse de la sphère  $i$  ;
- $I_i = 2m_i \frac{r_i^2}{5}$ , l'inertie de la sphère  $i$ .

Le schéma de la méthode explicite permet alors de déterminer les nouvelles vitesses et positions des sphères à partir de celles obtenues à l'itération  $n$  (pour un pas de temps constant  $\Delta t$ ) :

$$\begin{cases} \dot{\mathbf{x}}_{n+1/2} = \dot{\mathbf{x}}_{n-1/2} + \dot{\mathbf{x}}_n \Delta t \\ \mathbf{x}_{n+1} = \mathbf{x}_n + \dot{\mathbf{x}}_{n+1/2} \Delta t \end{cases} \quad (7.4)$$

La vitesse instantanée est donnée par :

$$\dot{\mathbf{x}}_n = \frac{\dot{\mathbf{x}}_{n+1/2} + \dot{\mathbf{x}}_{n-1/2}}{2} \quad (7.5)$$

### 7.2.2 Le logiciel YADE

Le solveur employé afin de lancer la simulation est le solveur YADE dont le code source est accessible pour modifications par l'utilisateur. Les algorithmes de résolution sont implémentés en C++ tandis que le modèle et la simulation est contrôlé à partir de scripts Python (programmation orientée objet). C'est la possibilité d'adaptation de ses fonctionnalités au besoin particulier d'un problème qui en font l'intérêt (en comparaison avec des solveurs commerciaux).

## 7.3 Construction du modèle de la laveuse bouteilles

### 7.3.1 Définition de la géométrie et hypothèses

Il est évident que des hypothèses simplificatrices doivent être faites dans la géométrie du modèle. Celle-ci est définie (à l'échelle 1 :1) dans le script Python (Annexe K). Les convoyeurs d'entrée (1),(2) et (3) ainsi que le convoyeur en sens inverse (4) (Figure 7.3) sont faits d'éléments frontières ou facettes. Deux facettes triangulaires sont ainsi placées côte à côte pour modéliser un convoyeur. Dans un premier temps, une loi matérielle unique est assignée à tous les types d'éléments. Une vitesse de déplacement constant est imposée afin de simuler l'avance des convoyeurs. Ainsi, le transport est simulé par des plans "infinis" en mouvement. Par simplicité, un plan unique sera destiné à représenter l'avance transversales et continue des chaînes dans les couloirs (5).



Tous les guides plans verticaux, délimitant la zone de transport des bouteilles, sont également créés à partir de deux facettes. Les profils des guides courbes et ceux des couloirs en forme de "S" ont été dessinés et extrudés dans le module surfacique (Wireframe and Surface Design) de CATIA V5. La géométrie surfacique est exportée au format .step et le maillage de la surface à partir d'éléments triangulaires est réalisé par le logiciel GMSH. Il est finalement importé par lignes de commandes dans le script de la simulation et a un comportement de type facette. Dans une simulation par éléments discrets, le maillage surfacique sert à approximer la géométrie et n'est pas critique comme c'est le cas pour les éléments finis classiques (il y fait partie intégrante de l'interpolation du champ de déplacements). Une taille moyenne d'éléments est simplement définie dans GMSH.

Pour rappel, les facettes ne sont pas soumises à la dynamique des corps (inertie nulle). Elles sont immobiles dans l'espace et aucune force ne peut provoquer leur déplacement. Des déplacements (translation et/ou rotation) prescrits peuvent toutefois leur être imposés à partir de sous-routines qui régissent la simulation.

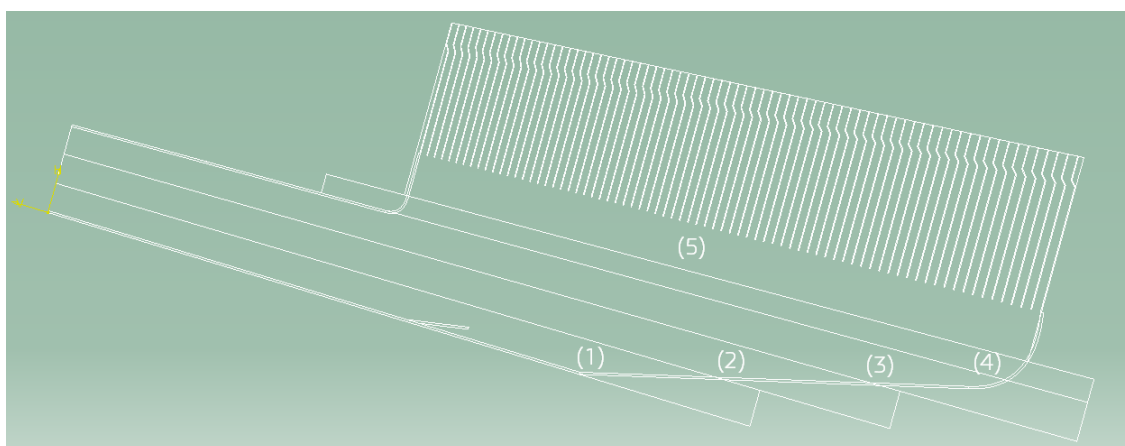


FIGURE 7.3 – Modélisation géométrique de l'entrée de la laveuse bouteilles du groupe 1 - ABI Jupille

Les bouteilles sont modélisées par autant d'éléments discrets sphériques d'un diamètre de 50mm. Leurs positions initiales sont définies en évitant le contact avec les facettes en début de simulation. Ainsi à chaque fois que de nouveaux éléments sont insérés pour simuler l'arrivée des bouteilles, ceux-ci entrent en collision avec les facettes des convoyeurs une fois la gravité du modèle les y ayant entraînés. Ils se voient également attribuer la loi matérielle et de contact définie précédemment. Les degrés de liberté en rotation autour des axes du plan parallèle aux convoyeurs sont bloqués pour chaque objet sphérique. La bouteille n'est autorisée qu'à subir une rotation autour de son axe, le modèle étant développé à titre prédictif uniquement pour la répartition des bouteilles.

### 7.3.2 Détermination des paramètres numériques de contact

Le recouvrement admis lors du contact entre deux éléments dépend de la raideur normale de ceux-ci. Afin d'être représentatif de la réalité, ce recouvrement doit être limité. Toutefois lorsqu'il diminue, la raideur normale augmente et dès lors le pas de temps doit diminuer menant à des temps de calculs plus élevés. Selon les valeurs classiques recommandées dans la littérature, le pourcentage de recouvrement (rapport entre le recouvrement et le diamètre de la sphère) sera limité à 1%. Le recouvrement maximal pour une collision entre deux sphères est déterminé par :

$$\Delta x_{max} = v_r \sqrt{\frac{m}{2k_n}} \quad (7.6)$$

avec  $v_r$ , la vitesse relative et  $m$  la masse de chacune des deux sphères.

En introduisant le pourcentage de recouvrement maximal  $p_{\Delta x} = \frac{\Delta x_{max}}{d}$  ( $d$  étant le diamètre des sphères), une expression pour la raideur normale peut être déduite :

$$k_n = \frac{v_r^2 m}{d^2 p_{\Delta x}^2} \quad (7.7)$$

L'estimation de la raideur normale d'une sphère (code Matlab, Annexe K) est obtenue en évaluant le quotient de la force équivalente agissant sur cette sphère et du recouvrement maximal. Son estimation, en limitant le pourcentage de recouvrement à 1% est de l'ordre de  $10^6 N/m$ .

La raideur tangentielle  $k_t$  est prise égale à la raideur normale (il est recommandé de multiplier la raideur normale par un facteur compris entre 2/3 et 1).

Le coefficient d'amortissement normal est relié au coefficient de restitution normal  $\epsilon_n$  (rapport entre la vitesse relative des sphères avant et après la collision). Pour le modèle de contact avec éléments de ressort, d'amortisseur et de glissement, il est donné par ([20]) :

$$c_n = -2 \ln(\epsilon_n) \sqrt{\frac{m_{eff} k_n}{\pi^2 + \ln^2(\epsilon_n)}} \quad (7.8)$$

avec  $m_{eff} = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}$  ( $= \frac{m}{2}$ , dans notre cas), la masse effective du système des deux particules.

On suppose le coefficient de restitution,  $\epsilon_n$ , égal à 0.8.

De même que pour la raideur, le coefficient d'amortissement tangentiel sera pris égal à sa valeur normale étant donné qu'il n'existe que très peu de méthodes consistantes pour le calculer.

Puisque les équations dynamiques sont intégrées numériquement par un schéma explicite, il est important de déterminer le pas de temps critique  $\Delta t_c$ . Si le pas de temps du modèle est inférieur à cette valeur, l'erreur commise est bornée et n'augmente pas lors des itérations successives. Dans le cadre d'une simulation 3D avec une loi de contact modélisée par un élément de ressort linéaire, il peut être défini de façon suivante (O'Sullivan et Bray) :

$$\Delta t_c \leq 0.22 \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (7.9)$$

avec  $m$ , la masse minimale de la particule et  $k = \min(k_n, k_t)$ .

Le pas de temps critique associé à la raideur normale  $k_n = 10^6 \text{N/m}$  déterminée plus tôt, et pour le pourcentage de recouvrement donné  $p_{\Delta x} = 1\%$ , vaut  $\Delta t_c = 10^{-4}$ . Au delà de cette valeur, la stabilité de l'intégration numérique n'est pas assurée. La raideur est inversement proportionnelle au pourcentage de recouvrement tandis que le pas de temps critique y est proportionnel.

Le pas de temps de la simulation a une influence importante sur le coefficient de restitution. Lorsqu'il augmente, le recouvrement entre les deux sphères en collision augmente également. Ceci est dû au caractère explicite de l'intégration qui utilise les forces d'interaction déterminées au pas de temps actuel pour évaluer les vitesses et mettre à jour les positions (équations 7.4). Or, si le pas de temps est plus élevé, les incréments de position seront plus élevés également avant que la collision des deux sphères ne soit freinée. Un recouvrement plus élevé implique des forces plus élevées lors de la séparation des particules, puisque le recouvrement est proportionnel à la force d'interaction créée par l'élément de ressort normal (et inversement proportionnel à la raideur normale). La vitesse relative après collision est donc sous l'influence de la taille du pas de temps. Elle augmente avec lui et il y a accroissement de l'erreur réalisée sur le coefficient de restitution.

En vertu de cela, le pas de temps adéquat peut être déterminé comme le rapport entre le temps de contact théorique entre deux sphères et le nombre de pas de temps par collision. Par définition, deux particules entrent en collision lorsque la distance entre leur centre devient inférieur à la somme de leurs rayons représentée par  $z_0$ . A partir de cet instant, le temps de contact est le temps après lequel la distance entre particules est à nouveau  $z_0$ . L'expression analytique de la loi de contact avec association de ressort, amortisseur et élément de glissement, définit le temps de contact par :

$$t_c = \frac{\pi}{\omega_d} \quad (7.10)$$

avec

- $\omega_d = \omega_0 \sqrt{1 - \zeta^2}$  ;
- $\omega_0 = \sqrt{\frac{k_n}{m_{eff}}}$ , la fréquence propre du système ;
- $\zeta = \frac{c_n}{2\sqrt{k_n m_{eff}}}$ , le taux d'amortissement.

En supposant de façon raisonnable que le nombre de pas de temps par collision,  $\#\Delta t_{col}$ , soit égal à 20, le pas de temps est déterminé selon :

$$\Delta t = \frac{t_c}{\#\Delta t_{col}} = 8 \cdot 10^{-5} s \quad (7.11)$$

Finalement, le coefficient de frottement limite la force d'interaction tangentielle entre les sphères. S'il est élevé, les éléments auront moins tendance à glisser les uns par rapport aux autres. Ce paramètre est important dans l'étude de la répartition des bouteilles sur les convoyeurs. Il sera pris égal à 0.2 initialement puisqu'il s'agit du frottement qui doit être mesuré expérimentalement entre bouteille et convoyeur.

## 7.4 Validation du comportement

Le déroulement de la simulation YADE est gérée dans le script Python au moyen d'un ensemble de sous-routines (appelées engines). Ce sont elles qui gèrent notamment la détection de collisions, la loi de contact, les intégrations temporelles et les conditions limites de vitesses appliquées aux facettes et sphères.

Un première simulation est lancée afin d'obtenir un état initial et stationnaire de la laveuse bouteilles, c'est à dire lorsque la table d'accumulation et les couloirs sont remplis d'éléments de bouteilles. Pour ce faire, afin de ne pas utiliser de l'espace de stockage inutilement, il n'est pas nécessaire de traquer et sauvegarder périodiquement les positions et vitesses des éléments, c'est uniquement l'état final de la simulation qui nous intéresse. Lorsque le temps de simulation est écoulé, le script ouvre alors un fichier texte où sont écrits les coordonnées de chaque élément sphérique introduit au cours de la simulation.

L'arrivée de nouvelles bouteilles pour remplir la laveuse, est gérée par un algorithme d'empaquetage défini dans YADE. Il renvoie une liste d'objets sphériques qui peuvent être ajoutés à la simulation. Ainsi les bouteilles sont introduites par paquets arrangés comme un réseau hexagonal compact. Dès que l'entièreté des sphères d'un paquet quitte une zone prédéfinie, un nouveau paquet est inséré dans la simulation. Afin d'obtenir de pouvoir écrire la position de toutes les sphères à la fin de la simulation et vérifier si elles ont quitté la zone d'insertion, chacune d'entre elle se voit assigner un identifiant.

Les positions des bouteilles à l'état stationnaire peuvent ainsi être chargée dans un second script Python et les éléments sphériques correspondant y être créés. Cette démarche permet de lancer une simulation représentative afin d'en extraire les résultats intéressants. Un temps de simulation doit être défini et l'enlèvement périodique des bouteilles en fin de couloir doit être simulé. Comme pour l'ajout des bouteilles, celui-ci est traité au moyen d'une sous-routine de type "engine". Une fonction va être périodiquement appelée par la sous-routine pour vérifier les coordonnées de chaque objet sphérique afin de supprimer ceux se trouvant en bout de couloir. Leur identifiant est également retiré de la liste des objets. Pour chaque objet supprimé, la routine incrémente dans une liste d'entrées le nombre de bouteilles enlevées dans le couloir correspondant.

Il est à présent possible de lancer une simulation en partant d'une situation semblable à celle rencontrée sur la ligne (table d'accumulation préalablement remplie de bouteilles, vitesses imposées aux convoyeurs et enlèvement périodique des bouteilles en fin de couloir). Toutefois, afin de déterminer la capacité du modèle à représenter les interactions et le comportement du flux de bouteilles ainsi que l'influence des paramètres numériques, il est nécessaire de pouvoir le valider.

La validation et/ou le calibrage du modèle est généralement réalisé au moyen de données expérimentales comparées aux résultats de la simulation. De telles données ne sont pas explicitement à disposition dans le cadre de cette étude peu commune. En se recentrant sur l'intérêt de la mise en place d'une telle simulation, il apparaît que l'objectif est de pouvoir améliorer l'entrée des bouteilles dans les couloirs. Il serait dès lors intéressant d'étudier la dispersion du pourcentage d'insertion des bouteilles d'un couloir à l'autre de la laveuse ou, plus particulièrement de la comparer avec celle réellement observée sur la machine.

Les données doivent être mesurées lorsque les conditions de production sur la ligne sont les plus favorables possibles (conditions climatiques de glissance, contrôle et nettoyage des étiquettes).

Comme déjà mentionné, les conditions de fonctionnement sont sous l'influence d'un tel nombre de facteurs que la situation observée peut varier relativement fort. Toutefois, nous savons que dans de bonnes conditions, une partie significative des couloirs centraux sont alimentés en continu sans problème. Ce sont donc les couloirs d'extrémités, fréquemment bloqués, qui présentent un intérêt d'observation sur la ligne.

Le but est de comparer l'allure générale des courbes obtenues afin de déterminer si le modèle (et ses paramètres) rend bien comptes des effets de répartition rencontrés. Il sera nécessaire également de s'assurer que le modèle numérique ne dépende pas en trop grande mesure (variation dans les résultats obtenus) de la durée de simulation imposée.

Nous savons que les couloirs d'extrémités gauches sont régulièrement vides, mais à cause du manque d'alimentation du flux de bouteilles dans la zone cette fois. Puisque cette condition ne dépend que de la répartition induite par les interactions entre bouteilles ou bouteilles et convoyeurs, il peut s'avérer intéressant d'étudier ces entrées en particulier afin de déterminer si les éléments de la simulation sont soumis aux mêmes conditions.

Les 20 premiers couloirs dans le sens d'arrivée des bouteilles seront donc considérés. Lorsque l'on connaît la durée (de la simulation ou du comptage expérimental), il suffit de diviser cette durée par la période d'insertion des bouteilles. Bien que ce soit plus contraignant pour la simulation en terme de longueur, il est important de considérer une durée suffisamment longue pour avoir un nombre d'insertion représentatif. Les couloirs de la simulation étant déjà alimentés dans une certaines mesures par les bouteilles à l'état stationnaire, la durée doit être plus longue que le nombre de bouteilles pouvant entrer simultanément dans un couloir, soit 25).

## CHAPITRE 7. MODÉLISATION PAR ÉLÉMENTS DISCRETS DE LA RÉPARTITION DES BOUTEILLES

Etant donné que la mesure expérimentale a du être répétée à 2 voir 3 reprises pour chaque couloir, le temps d'observation a été choisi à 120s par couloir. Imposer une simulation de 120 secondes, avec les paramètres de contact déterminés à la section précédente (Tableau 7.4) implique plusieurs longues heures de temps de calculs étant donné le nombre d'éléments de la simulation. Ceux-ci ont toutefois été réalisés afin de déterminer la dépendance des résultats numériques en la durée de simulation.

Paramètres de contact	$k_n$ [N/m]	$k_t$ [N/m]	$c_n$	$c_t$	$\mu$ [-]	$\Delta t_c$ [s]
	$10^6$	$10^6$	67	67	0.2	$10^{-4}$

TABLE 7.1 – Paramètres de contact initiaux déterminés pour une loi de contact avec éléments de raideur, d'amortissement et de glissement

Pour les deux durées de simulation différentes, on constate que l'allure des courbes de pourcentage d'insertion est très semblable (Figure 7.4). Le remplissage initial des couloirs à l'état stationnaire semble déjà représentatif de leur propension à admettre des bouteilles.

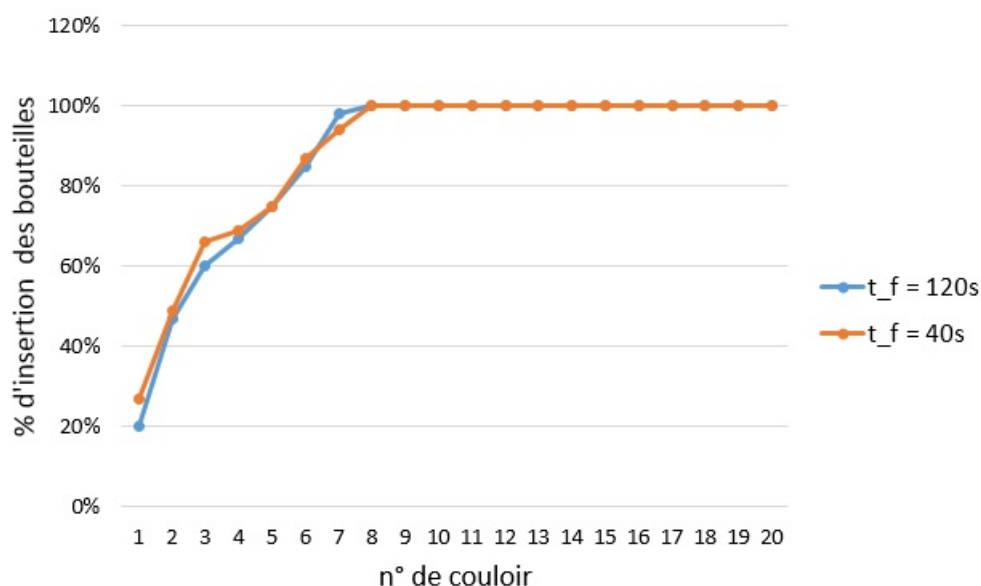


FIGURE 7.4 – % d'insertion des bouteilles dans les couloirs obtenus pour deux simulations par éléments discrets (YADE) aux durées différentes

Les résultats numériques obtenus pour plusieurs valeurs du coefficient de frottement sont repris à la Figure 7.5. La courbe de pourcentage obtenue en comptant les bouteilles dans les couloirs s'y trouve également. On constate principalement que la courbe obtenue en choisissant la valeur 0.3 pour le coefficient de frottement possède un pourcentage d'insertion extrêmement faible et relativement constant. Après investigation des positions des sphères lors de la simulation, il s'avère qu'elles restaient coincées dans presque chaque couloir à hauteur du déviateur en "S", certaines se débloquent parfois sous la poussée des bouteilles suivantes. Après avoir revu à la baisse le coefficient de frottement, il s'avère

qu'au dessus de 0.25 la friction entre éléments sphériques et facettes est trop élevée pour représenter le comportement réel. Actuellement une seule loi a été attribuée à chaque type d'élément. Les sphères adhèrent donc sur les parois dans les simulations en question.

L'allure de la courbe expérimentale, bien que plus élevée, présente une forme qui peut être considérée qualitativement semblable à celle obtenue avec le coefficient de frottement initial de 0.2. Le taux d'insertion de la courbe expérimentale peut être attribué au piocheur qui réalise un mouvement de va et vient à hauteur d'un couloir sur deux afin de faciliter encore l'insertion. Par soucis de simplicité, il n'a pas été pris en compte dans la modélisation.

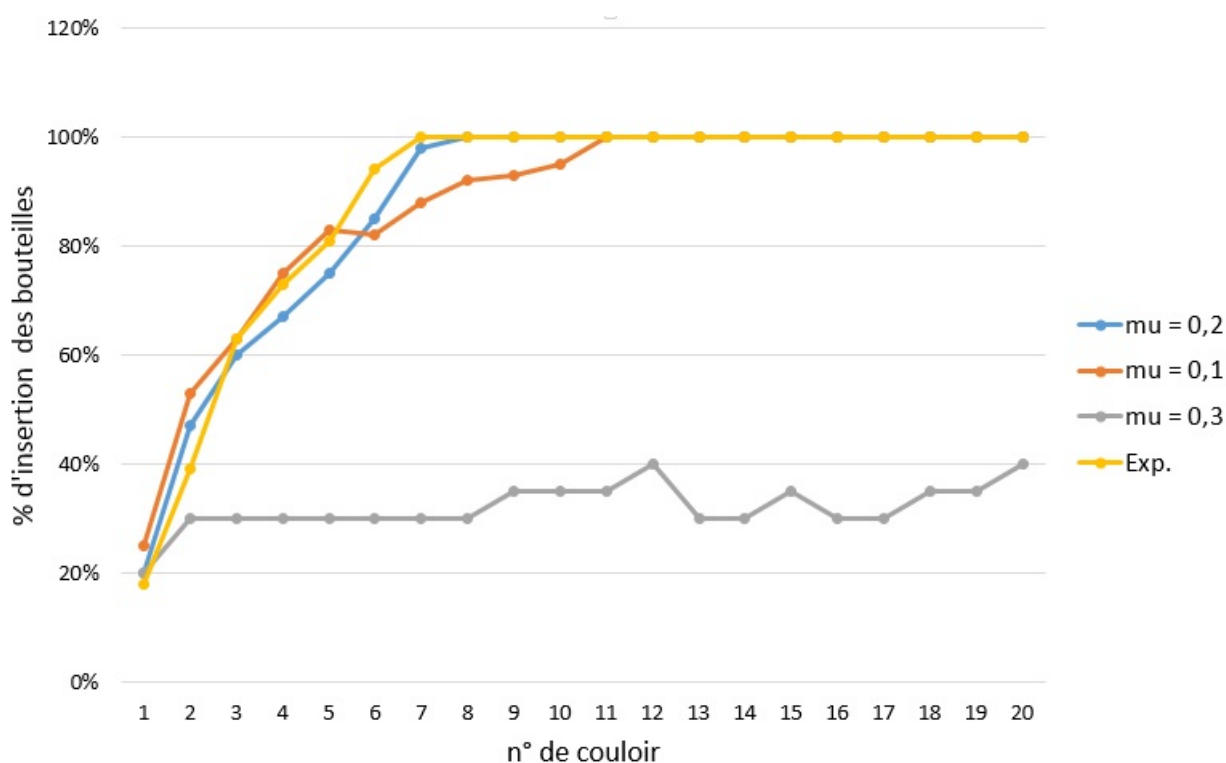


FIGURE 7.5 – % d'insertion des bouteilles dans les couloirs - comparaison des résultats numériques pour différents coefficients de frottement avec le résultat expérimental

Finalement, la Figure 7.7 représente le pourcentage de bouteilles insérées dans chaque couloir en augmentant le pourcentage de recouvrement. Lorsque celui-ci augmente, pour rappel, la raideur diminue et le pas de temps critique augmente. Ces valeurs ont pour les 2 cas été redéfinies pour la nouvelle valeur du pourcentage de recouvrement maximum. Le nombre de bouteilles insérées est également plus élevé.

## 7.5 Modifications géométrique

L'absence de données expérimentales plus rigoureuses ne permet pas de valider le modèle par éléments discrets de façon toute aussi rigoureuse actuellement. Toutefois, la comparaison qualitative des comportement obtenus pour les paramètres de contacts déterminés

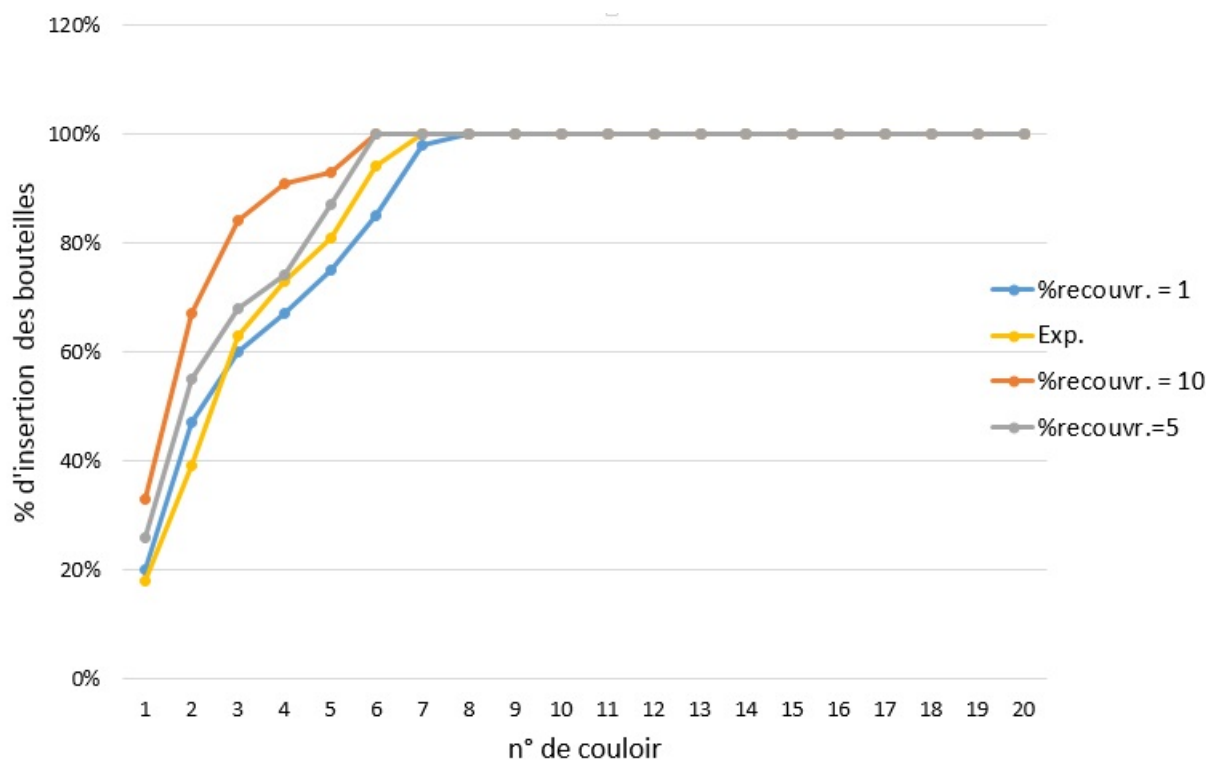


FIGURE 7.6 – % d'insertion des bouteilles dans les couloirs - comparaison des résultats numériques pour différents pourcentages de recouvrement avec le résultat expérimental

initialement laisse à penser que la simulation ne fournit pas des résultats absurdes. Dans le cadre du problème posé, le simple fait de disposer d'un outil approximatif dont les résultats semblent physiques peut être suffisant afin d'investiguer certaines pistes de solutions simples ne nécessitant pas des résultats d'une précision extrêmement pointue.

Dès lors, avec un peu plus d'investigation encore, le modèle pourrait, par exemple, permettre de prédire à quel endroit de la table placer un guide en "v" (pressure breaker, Figure 7.7), dont le rôle serait de réduire la pression imposée par le flux de bouteilles en redirigeant les contenants vers les couloirs les plus proches.

A cette fin, l'outil de simulation pourrait trouver toute son utilité. L'expérience a montré qu'il n'est pas aisé de déterminer comment dévier le flux de bouteilles afin d'améliorer les conditions d'entrées des couloirs d'extrémités. En effet, ZBS (Zone Brewery Support) a tenté en collaboration avec les services techniques de placer des éléments triangulaires le long de la barre transversale oblique. Ceux-ci ne se sont malheureusement pas montrés efficaces.



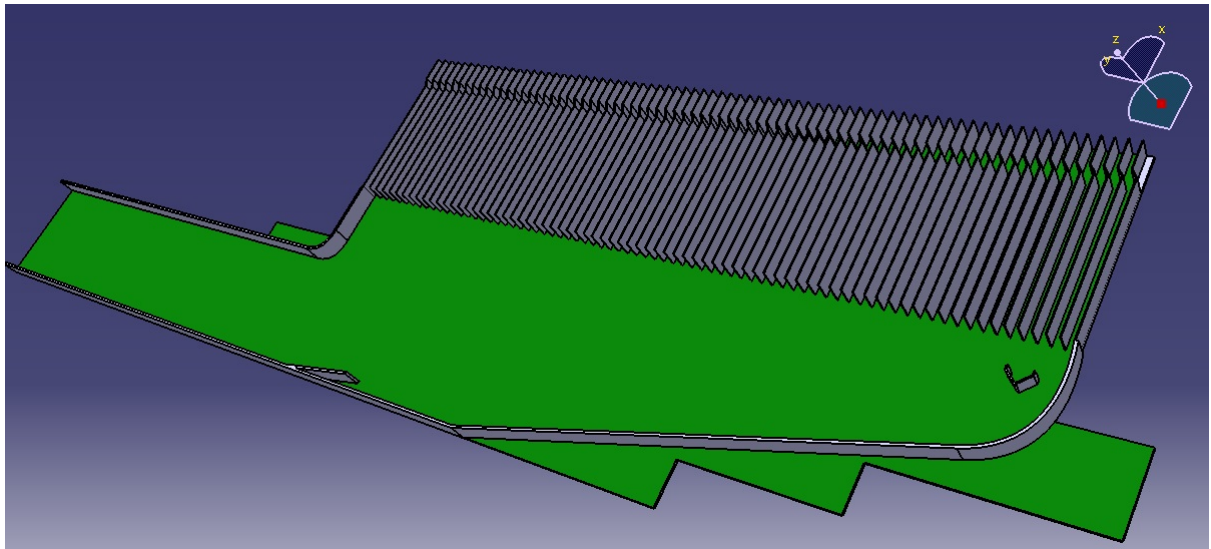


FIGURE 7.7 – Pressure breaker sur la table d'entrée de la laveuse bouteilles du groupe 1 -  
ABI Jupille

## Conclusion et perspectives

Ce travail a été réalisé afin d'apporter une contribution à la tâche continue de l'amélioration de la productivité de la ligne d'embouteillage JB1.

Lors de la première étape, nous avons mis à contribution divers outils afin de mettre en place la méthode PDCA qui devait servir de fil rouge tout au long du travail. L'analyse des données relatives aux causes impactant le plus fortement la productivité (ou rendement brut) du groupe 1 ont permis de mettre en lumière les pannes machines. Parmi celles-ci, la laveuse bouteilles s'est avérée être, par ses crashes, source de problèmes à hauteur d'une fréquence deux fois supérieure à celle des autres machines de la ligne.

Une démarche aussi pertinente que possible a été adoptée afin d'identifier avec précisions les causes racines des arrêts les plus fréquents de la machine. Grâce à des données mesurées directement sur la ligne mais également à la contribution forte apportée par le personnel AB InBev lors des meetings, la conduite du projet a été définie plus précisément. L'objectif était de s'attaquer à l'environnement global dans lequel est plongé l'entrée de la laveuse et le nombre impressionnant de bouteilles qui y affluent pour être insérées. Nous nous sommes, en effet rapidement rendus compte des nombreux facteurs qui font des arrêts pour chargement en défaut, les plus complexes à solutionner.

La première contribution apportée l'a été lors du suivi réalisé afin d'assurer la bonne mise en place de nouvelles machines trieuses de bouteilles sur la ligne. Celles-ci visaient essentiellement des objectifs de qualité mais au travers les assurances que nous avons pu fournir pour ces machines se cache, avant tout, la cadence importante qu'elles réalisent actuellement. Cette capacité prouvée permet d'assurer dans tous les cas l'alimentation du chargement, si problématique, de la laveuse de bouteilles.

Ensuite, des actions ont été mises en œuvre aux abords du chargement même. Afin de faciliter celui-ci, des vérifications et redressements adéquats ont été assurés dans le système de lubrification. Le dosage correct du produit a été mis en place, mais avant tout l'entretien des systèmes de distribution ont été passés au crible. Des modifications de raccordements ont permis d'améliorer l'accessibilité pour le nettoyage et d'assurer à chaque chaîne de la zone une application efficace et suffisante pendant un temps adéquat. Ces mesures ont permis d'améliorer les conditions de glissance.

Dans un souci d'éliminer les incertitudes, nous avons créé une procédure de réglage mécanique des divers éléments mécaniques entraînés par le moteur synchrone. Les mesures assurant un transfert adéquat des bouteilles ont été relevées et l'ensemble a été formalisé par l'écriture d'un document répondant à des critères internes du groupe.

Finalement, il s'avère que toutes les démarches décrites jusqu'ici ont été appliquées afin de mettre dans les meilleures conditions possibles le transport des bouteilles déjà fortement impacté par le problème technique le plus flagrant : la poussée importante subie par les contenants. Celle-ci relève de la géométrie mais de bien d'autres facteurs encore. AB InBev étant à court d'idées afin de résoudre cette problématique, l'utilité d'une simulation numérique dans ce contexte a été jugée pertinente. Le but étant d'en valider le comportement une fois développée, afin de déterminer précisément comment agir sur des aspects géométriques de l'entrée (actuellement investigués à tâtons et sans grand succès). C'est dans ce cadre que nous avons eu recours à une modélisation par éléments discrets du flux de bouteilles. L'absence de données expérimentales afin de valider le modèle n'a permis que d'en apprécier le résultat qualitatif. Toutefois la méthode s'est révélée avoir le potentiel de répondre aux attentes de ce types de phénomènes.

Selon nous, les deux aspects principaux mis en lumière dans le cadre de ce travail et pour lesquels une investigation est nécessaire, sont :

- une validation plus rigoureuse du modèle des éléments discrets développé au cours du travail. De plus, il y a une carte à jouer sur l'implémentation de lois matérielles (de contact) distinctes dans le but de prendre en compte la différence relativement importante qu'il peut y avoir entre un lot de bouteilles neuves insérées au contact de vidanges. Lors de telles insertions, la pression devient excessive sur la table et les crashes ainsi que les explosions de bouteilles ne se font pas attendre. Le glissement tangentiel de ces bouteilles peut être mesuré expérimentalement grâce à des procédures ABI afin de déterminer le "slip angle". Celui-ci s'avère très variable à cause des produits de traitement de surface apposés sur le verre neuf par le fournisseur. Ces problèmes très complexes impactent fortement le groupe périodiquement au cours d'une même année lorsqu'il est nécessaire d'insérer d'importantes quantités de bouteilles neuves.
- Les problèmes de glissance que nous avons traités sont des problèmes récurrents à divers endroits de la ligne. Pourtant des améliorations et vérifications simples peuvent changer la donne comme démontré au cours de ce travail. Dès lors, nous pensons que les majeurs problèmes viennent du manque d'information du personnel ABI quant aux bonnes pratiques en matière de lubrification. Le manque de temps vient évidemment s'imbriquer également. Cet axe est un des axes sur lesquels nous pensons qu'il y a beaucoup à gagner chez Anheuser-Busch InBev à Jupille, la productivité et la qualité en étant directement impactées.

# Bibliographie

- [1] Anheuser-Busch INBEV. *Rapport annuel 2015 du groupe*.
- [2] Anheuser-Busch INBEV. *Voyager Plant Optimisation. Het bedrijfseigen zorgstysteem van AB-Inbev*. 05/05/2015.
- [3] Logistique Conseil. *PDCA, la roue de Deming*. Consulté le 09/03/15. URL:<http://www.logistiqueconseil.org/Articles/Methodes-optimisation/Pdca-roue-deming.htm>.
- [4] Techniques de l'Ingénieur. *Mettre en œuvre le principe d'amélioration continue PDCA au niveau du système de management de la qualité (SMQ)*. Fiche pratique. Référence 0558. Consulté le 09/03/15. URL:<http://www.techniques-ingenieur.fr/>.
- [5] Julien JAQMIN. *DMAIC Tollgate Review - Improving GLY on bottling line 1 in Jupille*. Green Belt. 2014
- [6] Département Qualité d'Anheuser-Busch INBEV Jupille. *Consumer Complaint Records*. Document interne à AB INBEV. 2015.
- [7] VPO. *Consumer Complaints KPI Road Map*. Document interne à AB INBEV. 2015-2016.
- [8] AB INBEV Jupille. Rapport suivi crashes conditionnement par semaine. Rapport interne à AB INBEV. Septembre 2015 - février 2016.
- [9] AB INBEV Jupille. Weekly Overview New GLY Time. MES Reporting Sabin. Rapport interne à AB INBEV. Septembre 2015 - février 2016.
- [10] AB INBEV University. *Packaging. Lesson 2 - Global Bottle Soaker*. Document interne de formation d'AB INBEV.
- [11] Robert KYSELA. KRONES Academy. *Laveuse de bouteilles KD - LAVATEC K682-327/InBev Jupille*. Documentation technique fournisseur.
- [12] KRONES Academy. *General Operating Procedures*. Documentation technique fournisseur.
- [13] PEPPERL+FUCHS. *Rotary Encoder Catalog*. Support technique fournisseur. 2007.
- [14] Daniel DEBART. *Schéma PID des installations JB1*. Plans AUTOCAD. Mise à jour : 17/03/16. AB INBEV Jupille.
- [15] Christophe NEYRINCK. SOPURA Lubrification. *Training Conveyor Lubrication*. Document de formation interne. 2015.

- [16] Pierre STACHURA. SOPURA Lubrification *Conveyor Lubrication In A Sustainable World*. Rapport d'études interne à SOPURA. 2015.
- [17] HEUFT Systemtechnik GMBH. *Operator's Manual HEUFT SPECTRUM SX Sorting Unit*. InBev Belgium NV 2FG063112. Documentation technique fournisseur.
- [18] ZBS Packaging EU. *Status Line Control Audit JB1*. Rapport d'Audit de Zone Brewery Support pour AB INBEV Jupille. 23/06/15.
- [19] YADE Open Source Discrete Element Method. *User's manual. DEM Background. Class reference*. URL:<https://yade-dem.org/doc/>.
- [20] Dominik BOEMER. *Discrete Element Method Modeling of Ball Mills - Linear Wear Evolution*. Master thesis. Academic year 2014-2015.

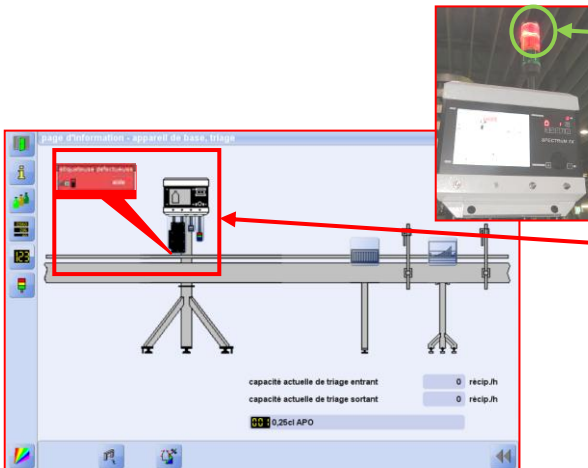
Annexe **A**

One Point Lesson - Trieuses Heuft  
Spectrum

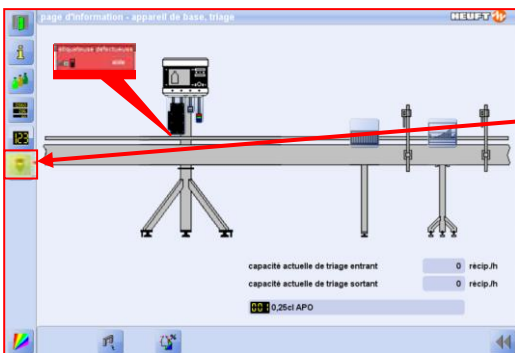
## Description

## Comment acquitter un défaut sur le système Heuft

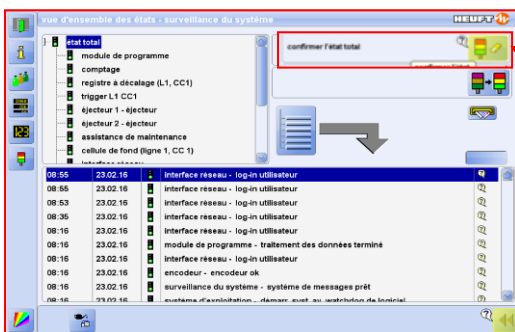
Actions à réaliser : 1. Un message d'erreur s'affiche sur l'écran, arrêt de la machine et témoin lumineux allumé en rouge.  
2. Sélectionner l'onglet vue d'ensemble des états et messages.  
3. Sélectionner l'onglet confirmer l'état total et appuyer sur la gomme pour effacer l'alarme.



1. Message d'erreur s'affiche à l'écran avec le témoin lumineux allumé rouge et le sékamats est à l'arrêt.



2. Sélectionner l'onglet vue d'ensemble des états et messages.



3. Cette page s'affiche pour effacer le message, utiliser l'onglet confirmer l'état total et appuyer sur le pavé pour effacer l'alarme.

## Rappel : Utiliser les E.P.I



Réalisé par : Schroeder Stéphanie

Date: 23/02/2016

Validé par : P.E/B.Q.C.M/E.S.M/PACK.M

Date:

Revue par :

Date:

Location fichier : Livelink/OPL/3.Packaging/JB1/Sékamats/Acquittement d'un défaut « HEUFT ».

Numérotation : 2 (V1)

Page : 1

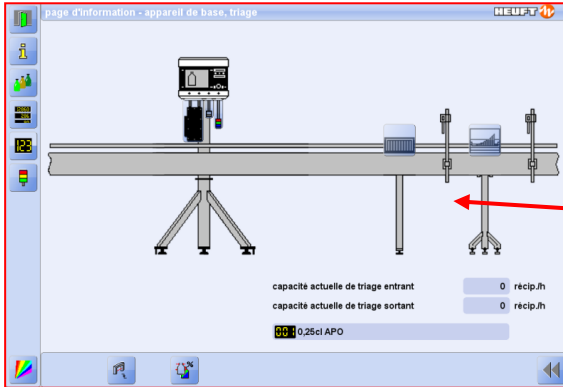
Reference SOP # :

## Description

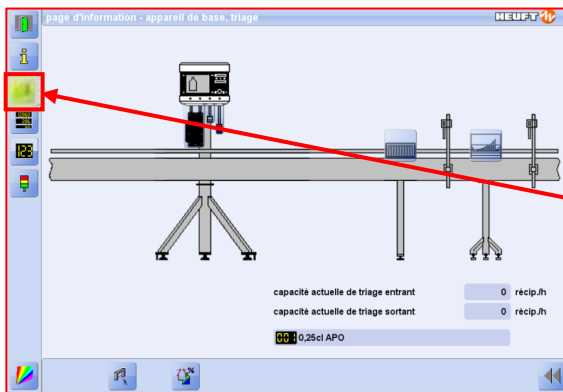
## Comment effectuer de changement de type de bouteilles

Actions à réaliser : 1. Vue d'écran principal.  
2. Sélectionner l'onglet  
3. Les différentes valeurs s'affichent

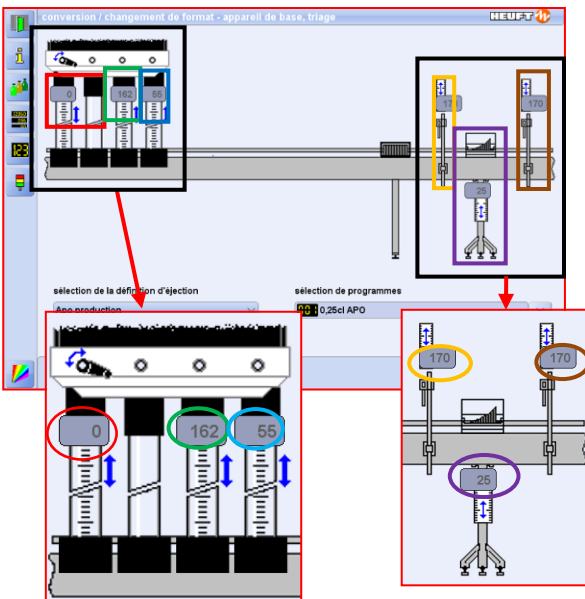
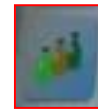
4. Effectuer le réglage en hauteur des différents contrôle à la de la manivelle.  
5. Effectuer le réglage en hauteur du pusher et des trigger.  
6. Passage des bouteilles test.



1. Vue d'écran principal.



2. Sélectionner l'onglet



3. Sur l'écran les valeurs s'affichent pour le format APO 25cl.

1. Détection par caméra
2. Détection capsules
3. Détection couleur
4. Première cellule trigger
5. Deuxième pusher
6. Deuxième cellule trigger

**Rappel : Utiliser les E.P.I**



Réalisé par : Schroeder Stéphanie

Date: 24/02/2016

Validé par: P.E/B.Q.C.M/E.S.M/PACK.M

Date:

Revu par :

Date:

Location fichier : Livelink/OPL/3.Packaging/JB1/Sékamats/Changement du type de bouteilles.

Numérotation : 4 (V1)

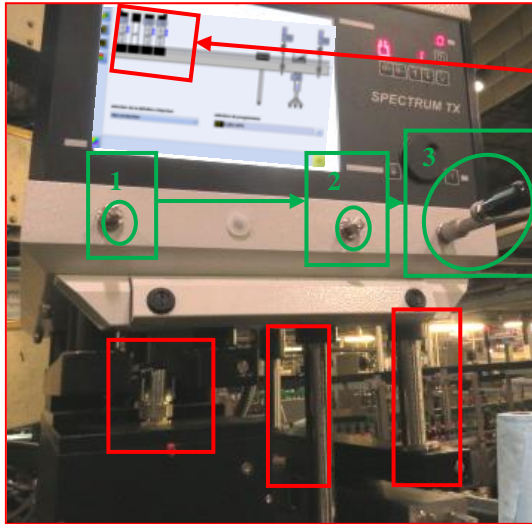
Page : 1 de 2

Reference SOP # :



## Description

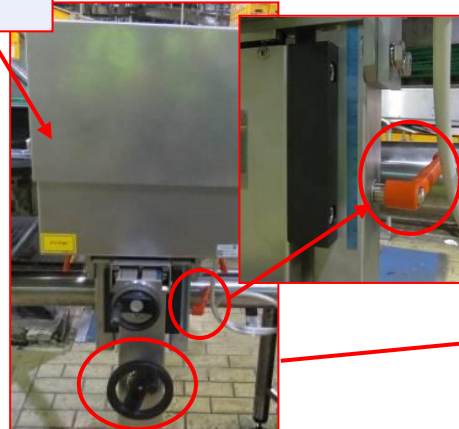
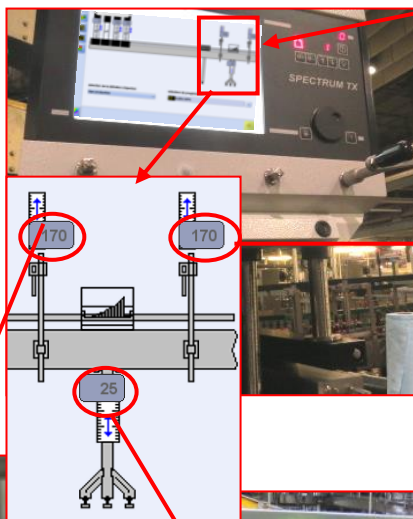
Comment effectuer le type de changement de bouteilles



4.

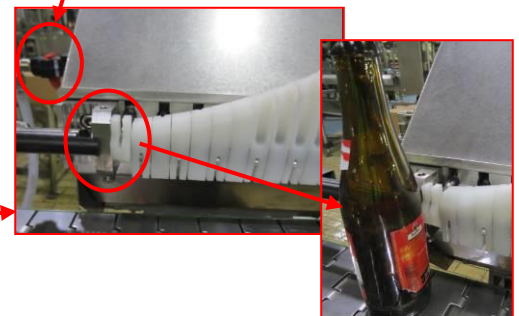
- A l'aide de la manivelle, monter ou descendre sur les 3 points repris en vert, le système de contrôle pour être à la valeur affichée sur l'écran au niveau des réglettes.

5. Effectuer les réglages en hauteur des deux cellules trigger et le pusher.



Arrivée d'air

Débloquer et effectuer le réglage en hauteur.



Débloquer et effectuer le réglage en hauteur

Débloquer et à l'aide de la manivelle et effectuer le réglage en hauteur.

Après le réglage couper l'air et contrôler la hauteur avec une bouteille

**6. Après avoir effectué les différents réglages en hauteur, passer les bouteilles test, ce contrôle est obligatoire avant de redémarrer la production et contrôler si le réglage est OK.**

**Rappel : Utiliser les E.P.I**



Réalisé par : Stéphanie Schroeder

Date: 24/02/2016

Validé par: P.E/B.Q.C.M/E.S.M/PACK.M

Date:

Revue par :

Date:

Location fichier : Livelihood/OPL/3.Packaging/JB1/Sékamats/Changement du type de bouteilles.

Numérotation : 4 (V1)

Page : 2 de 2

Reference SOP # :

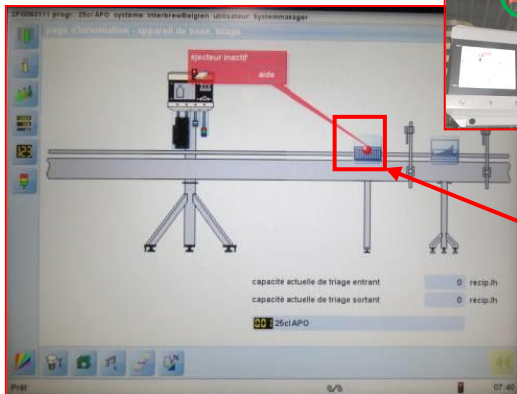
## Description

### Comment désactiver le premier pusher

Actions à réaliser : 1. Appuyer sur le stop pour couper le pusher  
 2. Un message d'erreur s'affiche sur l'écran, arrêt de la machine et le témoin lumineux allumé en rouge.  
 3. Pour remettre le pusher en fonction retirer le stop et le défaut disparaît automatiquement.



1. Appuyer sur le stop à côté du contrôleur bouteilles.



2. Message d'erreur s'affiche à l'écran avec le témoin lumineux allumé rouge et le sékamats tourne toujours.



3. Retirer le stop pour remettre le pusher en fonction, le message s'acquiesce automatiquement et le témoin lumineux redevient vert.



## Rappel : Utiliser les E.P.I



Réalisé par : Stéphanie Schroeder

Date: 24/02/2016

Validé par : P.E/B.Q.C.M/E.S.M/PACK.M

Date:

Revue par :

Date:

Location fichier : Livelink/OPL/3.Packaging/JB1/Sékamats/Désactiver le premier pusher« HEUFT ».

Numérotation : 5 (V1)

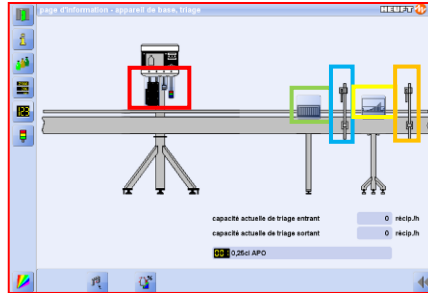
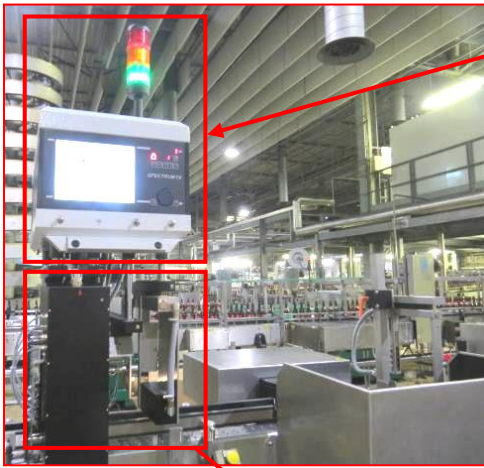
Page : 1

Reference SOP # :

## Description

Sékamats JB1 : Descriptif du système des différents contrôles.

### 1. Pupitre de commande du système des différents contrôles.



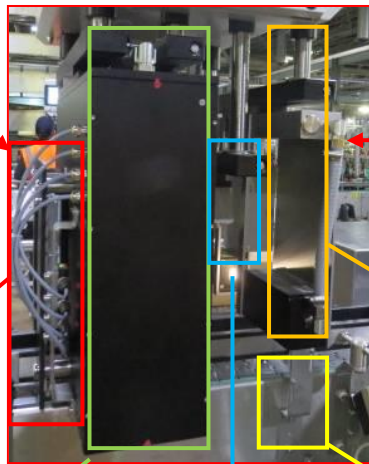
#### Vue de l'écran

- Différents types de détections.
- Premier pusher.
- Cellule trigger
- Deuxième pusher
- Cellule trigger.

Pupitre de commande de la mise en marche des manutentions



### 2. Descriptif des différents contrôles.



Cellule de présence bouteilles



Détection par caméra du type de bouteilles



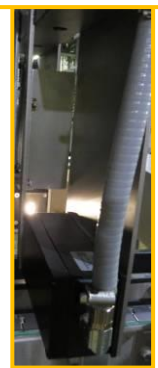
Détection présence capsule



cellule présence bouteille couchée



Détection couleur



## Rappel : Utiliser les E.P.I



Réalisé par : Stéphanie Schroeder

Date: 23/02/2016

Validé par: P.E/B.Q.C.M/E.S.M/PACK.M

Date:

Revue par :

Date:

Location fichier : Livelink/OPL/3.Packaging/JB1/Sekamats/Descriptif de la machine Heuft.

Numérotation : 1 (V1)

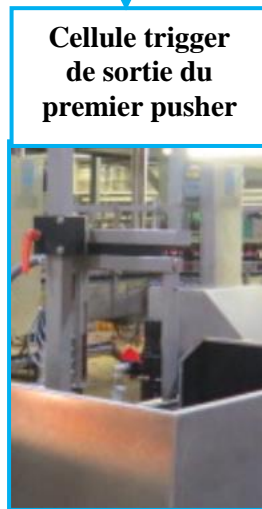
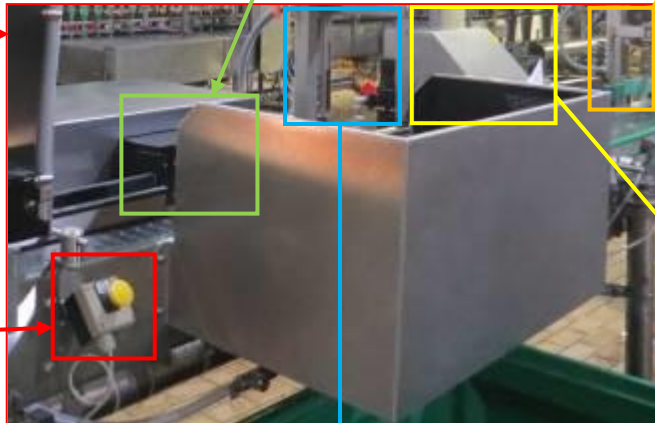
Page : 1 de 2

Reference SOP # :

# Description

Sékamats JB1 : Descriptif du système des différents contrôles.

## 3. Descriptif des pushers et des triggers.



## Rappel : Utiliser les E.P.I



Réalisé par : Stéphanie Schroeder	Date: 23/02/2016
Validé par: P.E/B.Q.C.M/E.S.M/PACK.M	Date:
Revue par :	Date:
Location fichier : Livelink/OPL/3.Packaging/JB1/Sekamats/Descriptif de la machine Heuft.	
Numérotation : 1 (V1)	Page : 2 de 2
Reference SOP # :	

Annexe **B**

Action Log - Suivi d'installation des  
trieuses



# Action Log

## Trieuses HEUFT Spectrum TX



Participants : FLM's packaging + Stagiaire packaging

Meeting :

Version :

Fréquence :

#	Date	JB1	Machine	Sujet (description du problème)	Action	Commentaire	Responsable	Date de réalisation proposée	Status
3	01-mars-16	JB1	Trieuses 1, 2 et 3	Très mauvais alignement des bouteilles lors du redémarrage, beaucoup de crashes en entrée	Vérifier la concentration en savon car vanne passée en automatique		Stéphanie	3-03-16	Complete
4	01-mars-16	JB1	Trieuse 3	Bouteilles s'arrêtent à hauteur des cellules de sortie lors d'un arrêt, pas de redémarrage de la machine	Contacter De Jongh Engineering pour la régulation - A confirmer		De Jongh	4-03-16	Complete
5	01-mars-16	JB1	Trieuses 1,2 et 3	En rotation pleine vitesse, manque de bouteilles -> accélérations et chutes + crash en sortie pour éjections trop fortes	Vérifier la concentration en savon car vanne passée en automatique		Stéphanie + FLM	3-03-16	Complete
7	01-mars-16	JB1	Trieuses 1, 2 et 3	Entrées pas alimentées bien que bouteilles présentes sur convoyeur T5 (opérateur doit pousser le palpeur toutes les 10 minutes)	Vis du palpeur à resserrer provisoirement + voir avec De Jongh		Stéphanie/De Jongh	4-03-16	Complete
8	01-mars-16	JB1	Trieuses 1, 2 et 3	Ne se mettent pas en défaut lorsque le second bac d'éjection est pleins (cellules de détection du remplissage ne fonctionnent pas)	Remettre en ordre, vérifier les capteurs		Maintenance	3-03-16	Complete
9	03-mars-16	JB1	Trieuse 3	Chaîne T25 tourne trop vite (ou T26 pas assez), les bouteilles sont trop proches l'une de l'autre la machine se met en défaut pour bouteilles pas éjectées. Résolu provisoirement en diminuant la vitesse du désaligneur	Diminuer la vitesse du désaligneur pour résolution provisoire, régulation à faire par De Jongh		De Jongh	4-03-16	Complete
10	03-avr.-16	JB1	Trieuse 1	Ejections de bonnes bouteilles en série constamment, 3-4% d'éjections	Régler les paramètres de détection	Largeur du scan light, détection des bouteilles voisines	Stéphanie + Heuft	4-04-16	Complete
11	15-avr.-16	JB1	Trieuses 1, 2 et 3	Bouteilles non éjectées par le second pusher lorsque la consigne de pression air comprimé n'est pas atteinte, convoyeurs continuent de tourner	Ajouter un pressostat qui arrête les convoyeurs, matériel livré - Attente arrêt sur JB1		Heuft		Complete

#	Date	JB1	Machine	Sujet (description du problème)	Action	Commentaire	Responsable	Date de réalisation proposée	Status
14	15-avr.-16	JB1	Trieuse 2	Vitesse diminue rapidement lorsqu'il n'y a pas encore d'accumulation en sortie, palpeur trop sensible	Placer une temporisation		De Jongh		In Progress

Annexe **C**

Tests d'éjection - Bouteilles tests



## Bouteilles tests trieuses bouteilles JB1 - JB3

Bouteille blanche	Bouteille verte	Bouteille Maes	Bouteille 33cl APO	Bouteille 33cl APO (OW)	Bouteille Rising star 25cl	Bouteille Star verte 25cl	Bouteille Jupiler 25cl	Bouteille BNR 30cl	Bouteille capsulée	Bouteille Tauro 33cl	Bouteille verte 30cl	Bouteille Long Neck 25cl
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13



Si une bouteille test est manquante, s'adresser au laboratoire conditionnement pour avoir une bouteille de rechange qui se trouve dans leur stock.

Annexe **D**

Lubranol DWS - Fiche technique

# LUBRANOL DWS

1125/25/02/09/A1

---

<i>PRESENTATION</i>	Liquide limpide jaune.
<i>APPLICATION</i>	Lubrifiant synthétique avec pouvoir hygiénique pour chaînes transporteuses de bouteilles, utilisé avec des installations à distribution automatique par aspersion.
<i>COMPOSITION</i>	Produit à base de tensio-actifs cationiques et non ioniques.
<i>PROPRIETES</i>	<p>Le LUBRANOL DWS possède un très bon pouvoir lubrifiant, même à basses concentrations et est spécialement conçu pour des vitesses de chaîne dépassant les 40.000 bouteilles/heure.</p> <p>Etant donné sa durabilité unique, la temporisation de pulvérisation peut être fortement diminuée (5 à 10 secondes de temps de pulvérisation par minute), de sorte que la consommation en eau peut être réduite jusqu'à 85%.</p> <p>Le LUBRANOL DWS a un très bon pouvoir hygiénique.</p> <p>Ce produit convient pour l'utilisation en industrie alimentaire (brasserie, soft drink, etc.) et répond aux législations nationale et européenne relatives en vigueur aujourd'hui.</p>
<i>CONCENTRATIONS D'EMPLOI</i>	0,75 - 1,5 % v/v suivant l'installation. Le pH de la solution d'emploi est idéalement situé entre 7 et 9.
<i>REMARQUE IMPORTANTE</i>	<p>Avant de commencer un essai pratique :</p> <p>Si le lubrifiant antérieur est un savon, il est indispensable de bien nettoyer les conduites et d'éviter tout contact entre ce nouveau lubrifiant et le lubrifiant antérieur.</p>
<i>DOSAGE</i>	<p><u>Méthode de dosage au moyen d'un test kit.</u></p> <p>De plus amples informations sur la méthode et le test kit peuvent être obtenues auprès du responsable technique Sopura en charge de votre région.</p> <p>Poids spécifique : 1,000 +/-0,015.</p>
<i>STOCKAGE</i>	Ce produit craint le gel (point de cristallisation : ca 0°C).
<i>EMBALLAGE</i>	Jerricane - fût - GRV (IBC).

# LUBRANOL DWS

1125/25/02/09/A2

---

## *PREMIERS SECOURS*

Enlever immédiatement tout vêtement souillé.

Peau : laver la partie atteinte à grandes eaux pendant au moins 15 minutes en évitant de contaminer le reste.

Yeux : laver immédiatement à grandes eaux pendant 15 minutes, consulter un spécialiste.

## *PREPARATION DANGEREUSE*

Voir fiche de données de sécurité.

## *TRANSPORT*

ADR-RID :

IMO : Voir fiche de données de sécurité.

Annexe **E**

Concentration en Lubranol DWS 3G -  
Prélèvements et titrages

# Prélèvements et titrages - JB1

Date	Heure	0,07 < Lubranol DWS - %v < 0,12
09-05-16	20:44:58	0,1368
08-05-16	01:10:28	0,2508
02-05-16	20:50:50	0,1596
30-04-16	22:10:07	0,1596
28-04-16	20:12:06	0,3192
27-04-16	21:27:39	0,3192
25-04-16	21:10:55	0,114
22-04-16	19:24:42	0,1596
20-04-16	19:17:58	0,114
19-04-16	13:56:13	0,1596
18-04-16	18:12:36	0,1824
18-04-16	13:12:52	0,0228
15-04-16	19:52:21	0,0228
14-04-16	08:07:56	0,5016
12-04-16	04:11:49	0,2052
12-04-16	03:45:02	0,114
04-04-16	20:58:58	0,1368
03-04-16	04:03:09	0,114
31-03-16	21:48:43	0,0912
30-03-16	04:47:06	0,114
29-03-16	20:05:18	0,114
26-03-16	22:21:07	0,2736
24-03-16	13:48:03	0,1824
21-03-16	19:25:10	0,114
20-03-16	23:40:15	0,1368
18-03-16	21:59:55	0,0912
17-03-16	20:00:02	0,1596
14-03-16	19:17:32	0,1824
12-03-16	23:50:31	0,1368
11-03-16	18:07:20	0,114
10-03-16	18:43:14	0,2052
09-03-16	00:47:34	0,2508

Annexe **F**

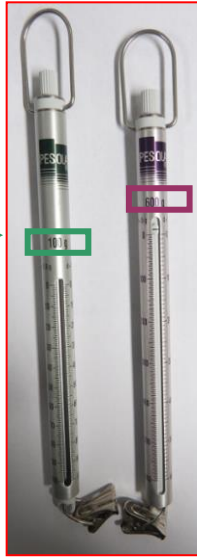
SOP - Contrôle du coefficient de frottement

## Description

Comment contrôler le coefficient de friction lubrifiant sur les transporteurs bouteilles

Le contrôle s'effectue à l'aide d'un dynamomètre

Dynamomètre groupes ¼  
**100g**



Dynamomètre groupes 3/4  
**600g**



Attacher la bouteille au dynamomètre à l'aide d'un élastique ou d'une fine corde en faisant 2 tours autour de la bouteille

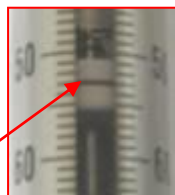
Mettre la bouteille sur la chaîne et maintenir le bout du dynamomètre

Attendre que la valeur sur dynamomètre se stabilise et prendre la valeur.

**Formule du calcul du coefficient de friction :**

$$\text{Coefficient de friction} = \frac{\text{Valeur du dynamomètre (gr)}}{\text{Poids de la bouteilles (gr)}}$$

Le coefficient de friction doit-être **0,15 ( ± 0,02 )**



Exemple d'une valeur sur le dynamomètre



Deux bouteilles ont été pesées au labo et leur poids est notée sur les bandes adhésives

**Rappel : Utiliser les E.P.I**



Réalisé par : Jofe	Date: 3/12/2013
Validé par: P.E/B.Q.C.M/E.S.M/PACK.M	Date: 4/12/2013
Revue par :	Date:
Location fichier :	
Numérotation :	Page : 1
Reference SOP # :	



Annexe **G**

Bouteilles APO 25cl - Spécifications



## Specification

BOTTLE 25CL APO BROWN RETURN

24-Apr-2011

Specification Number: 15628\_EERP

Revision: 2

Page 1 of 3

### Confidential

### Specification

#### Functional Characteristics

	Value
Concept OW/RET	RET
Bottle suitable for Carbonation Level	
Closure Type	Pry Off
Reference of the Finish Spec	Tall Crown CETIE GME 13.01
Recess Label Panel	No
Capacity Definition	At nominal fillheight
Allowed Production Process	BB and NNPB
Colour	

#### Functional Specifications

	UOM	LSL	NORM	USL
Dominant Wavelength	nm			
Purity	%			
Luminosity	%			
Weight	g		239	
External Diameter of the Finish	mm	26,3	26,55	26,8
Bore Diameter between 1,5 and 3,0 mm	mm	15,6		16,6
Minimum Bore Diameter	mm	15,5		
Bottle Height	mm	210,5	212	213,5
Parallellism Finish / Base	mm		0	0,6
Bottle Diameter	mm	55,1	56,3	57,5
Ovality	mm			
Verticality	mm			2,36
Height of the Label Recess	mm			
Capacity of the individual Bottle	ml	244	250	256
Average Capacity <X>	ml	248	250	252
Filling Height	mm		50	
Brimful Capacity	ml		266	
Pressure Resistance	bar	12		
Average Pressure Resistance	bar	25		
Thermal Shock Test	# broken			0
Vertical Load Test	# broken			0
Impact Resistance	cm/s	145		
Annealing Strain	Temper			4
Residual Stress	nm/cm			100
Hot End Coating Thickness - Body	CTU	30		60
Hot End Coating Thickness - Finish	CTU		0	20
Cold End Coating Slip Angle	°	10		20

#### Note

The minimum Pressure Resistance of the individual bottle must be adapted to the highest expected carbonation level of the filled liquid.

#### Internal Pressure Resistance

Carbonation Levels (g/l)	Min. Pressure Resistance (bar) - Non-refillable	Min. Pressure Resistance (bar) - Refillable
3 g/l < CO2 <= 6 g/l	12	12
6 g/l < CO2 <= 7 g/l	12	14
7 g/l < CO2 <= 9 g/l	14	16
Draughtflow product	16	

Annexe **H**

Temporisations des zones du groupe 1

ZONES EV	Description zone JB1 CHECK 03/05/16	Pression sur la descente	Temporisation	
			On	Off
Zone 0	Conduite d'eau au local Sopura 1 <sup>er</sup> étage	2,0	/	/
zone 1	De la décaisseuse jusqu'au début de la distribution des bouteilles	1,5	30	40
Zone 2	DEPAL nouvelles bouteilles jusqu'à la distribution des bouteilles	1,5	30	40
Zone 3	1 <sup>ère</sup> zone de tri	1,5	30	20
Zone 4	1 <sup>ère</sup> zone de tri	1,5	30	20
Zone 5	2 <sup>ème</sup> zone de tri	1,5	30	20
Zone 6	2 <sup>ème</sup> zone de tri	1,5	30	20
Zone 7	3 <sup>ème</sup> zone de tri	1,5	30	20
Zone 8	3 <sup>ème</sup> zone de tri	1,5	30	20
Zone 9	Entrée machine d'étiquetage	1,5	30	40
Zone 10	Sortie machine d'étiquetage	1,5	30	40
Zone 11	Sortie soutireuses jusqu'aux machines d'étiquetage	1,5	30	20
Zone 12	Entrée étiqueteuses 2	1,5	30	40
Zone 13	Sortie étiqueteuses 2	1,5	30	40
Zone 14	<i>Retour bouteilles jusqu'à la trieuse bouteilles AUTRE PLC</i>	1,5	0	0
Zone 15	Sortie soutireuse 1 jusqu'à début zone 11	1,5	30	25
Zone 16	De la zone 19 (sortie laveuse bouteille) à l'entrée soutireuse 1	1,5	30	25
Zone 17	De la zone 19 (sortie laveuse bouteille) à la sortie soutireuse 2	1,5	30	25
Zone 18	Sortie soutireuse 2 jusqu'au début zone 11	1,5	30	25
Zone 19	Sortie laveuse bouteilles	1,5	30	40
Zone 20	Entrée laveuse bouteilles	1,5	30	40
Zone 21	<i>Entrée laveuse bouteilles AUTRE PLC</i>	1,5	∞	0
Zone 22	Entrée emballage	1,5	30	30
Zone 23	Des étiqueteuses à l'emballer	1,5	30	30
Zone 24	<i>Entrée emballage AUTRE PLC</i>	1,5	0	0

<b>Group</b>	<b>JB1</b>
<b>Signal</b>	contact
<b>Pulse ratio (water:lubricant)</b>	1:0,5
<b>Stroke volume</b>	100%
<b>Frequency</b>	80
<b>Concentration</b>	0,114-0,136
<b>Pressure (in locale CIP)</b>	2 bar

Annexe **I**

## SOP - Réglage du mécanisme de la laveuse bouteilles

Description	Comment effectuer le réglage et la synchronisation du chargement de la laveuse bouteilles.
-------------	--



1. Outils nécessaires pour la réalisation de cette OPL :

. Clé (desserrage des boulons)

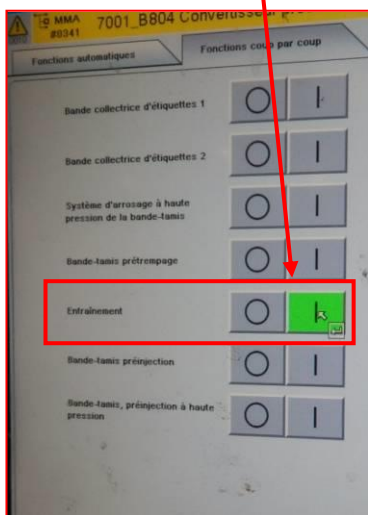


. Clé hexagonale



2. Desserrer les boulons et enlever le garant central, les garants latéraux et le garant protégeant l'encodeur du moteur.

3. Enclencher manuellement l'entraînement du tablier et à l'aide de la commande manuelle amener la bielle à la position de référence (entre les deux flèches)

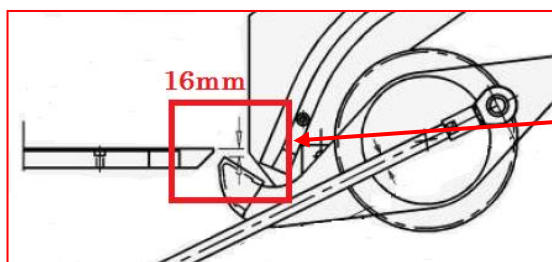


**Rappel : Utiliser les E.P.I**

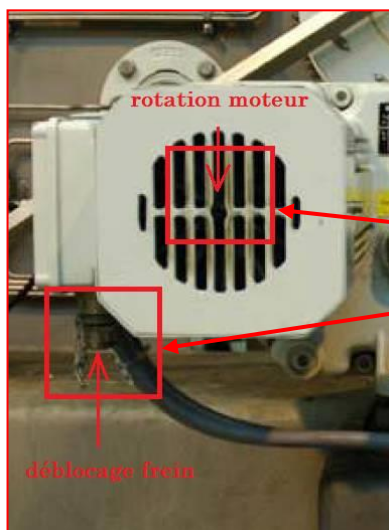
Réalisé par : Schroeder Stephanie	Date: 09/05/2016
Validé par : P.E/B.Q.C.M/E.S.M/PACK.M	Date:
Revue par :	Date:
Location fichier :	
Numérotation :	Page : 1 de 4
Reference SOP # :	

## Description

Comment effectuer le réglage et la synchronisation du chargement de la laveuse bouteilles.



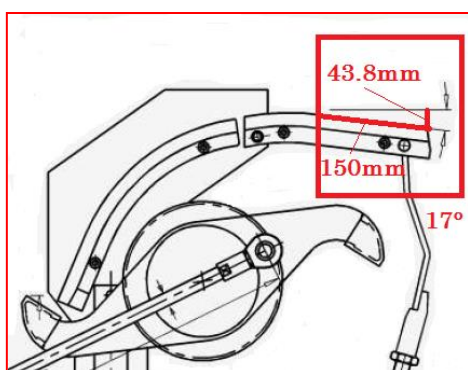
4. Mesurer la distance verticale entre le doigt de chargement en plastique et la table.



5. Ajuster cette distance à 16mm par rotation du moteur ;

Débloquer le frein par l'orifice à gauche du moteur et faire tourner celui-ci à l'aide de la clé hexagonale (à insérer dans le ventilateur).

6. Vérifier l'angle que fait le guide d'insertion métallique avec l'horizontal ; placer une tige métallique (latte) sur la partie horizontale et prendre la distance verticale de cette tige à l'extrémité inclinée du guide (43.8 mm  $\leftrightarrow$  17°).



**Rappel : Utiliser les E.P.I**



Réalisé par : Schroeder Stephanie

Date: 09/05/2016

Validé par: P.E/B.Q.C.M/E.S.M/PACK.M

Date:

Revue par :

Date:

Location fichier :

Numérotation :

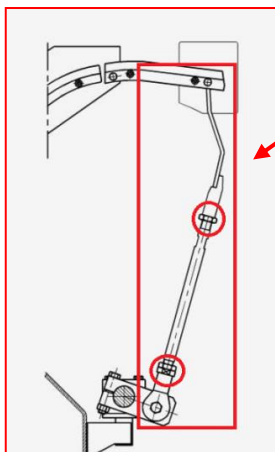
Page : 2 de 4

Reference SOP # :

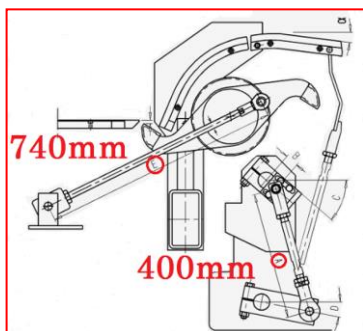


## Description

Comment effectuer le réglage et la synchronisation du chargement de la laveuse bouteilles.

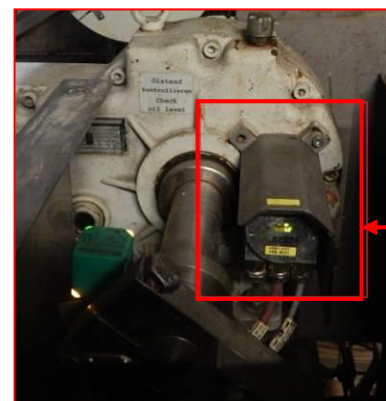
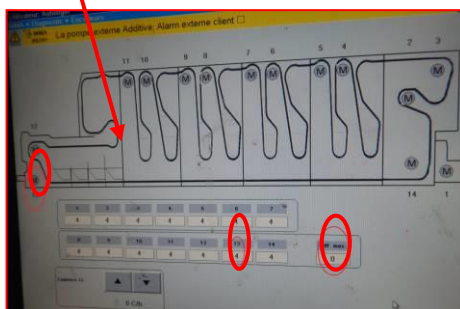


7. Ajuster l'angle d'inclinaison des guides d'insertion en resserrant ou desserrant les axes filetés à gauche et à droite (au nombre de 6, accessibles sous la machine).



8. Lorsque les conditions précédentes sont satisfaites, vérifier et ajuster les longueurs suivantes (A = 400mm ; E = 740mm)

9. Assurer la synchronisation des moteurs par ajustage de l'encodeur ; démonter le covercle de protection de l'encodeur, déserrer les vis de fixation du capteur d'angle absolu, tirer dans la direction de son axe et le faire tourner délicatement autour du pignon cranté de sorte à le ramener à sa valeur d'origine (0 bit de différence avec les autres encodeurs à l'écran).



**Rappel : Utiliser les E.P.I**



Réalisé par : Schroeder Stephanie

Date: 09/05/2016

Validé par: P.E/B.Q.C.M/E.S.M/PACK.M

Date:

Revue par :

Date:

Location fichier :

Numérotation :

Page : 3 de 4

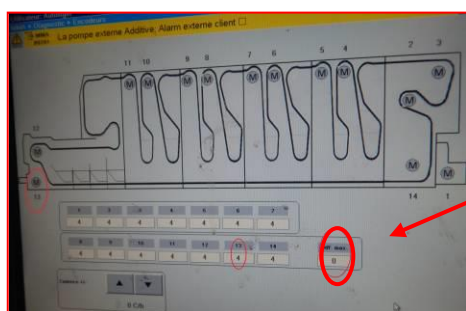
Reference SOP # :

## Description

Comment effectuer le réglage et la synchronisation du chargement de la laveuse bouteilles.



10. Vérifier le chargement : à l'aide des touches « embrayer/débrayer », déplacer une bouteille vers le haut jusqu'à ce que le boulot n'amorce l'entrée dans le godet. Le guide d'insertion doit être aligné avec le bord inférieur du godet (la bague de la bouteille doit être à 2-2,5cm du bord).



11. Si le chargement est bon : faire marcher la machine à la vitesse la plus lente, observer les valeurs dans le menu d'écran « capteurs angulaires », si un nouvel écart apparaît, répéter les réglages. Si aucun résultat n'est obtenu, faire vérifier le capteur.

12. Remettre les capots/couvercles du capteurs et les carters du chargement.

**Rappel : Utiliser les E.P.I**



Réalisé par : Schroeder Stephanie

Date: 09/05/2016

Validé par: P.E/B.Q.C.M/E.S.M/PACK.M

Date:

Revue par :

Date:

Location fichier :

Numérotation :

Page : 4 de 4

Reference SOP # :

Annexe **J**

Checklist - Laveuse bouteilles du groupe 1

# Checklist laveuse bouteilles JB1

## Laveuse bouteilles

HEURE	6/14		14/22		41812		LIMITES	
	8	12	16	20	24	4	MIN	MAX
<b>Température</b>							MIN	MAX
Pré-trempage 1							30	35
Pré-trempage 2							43	49
Lessive 1							60	70
Lessive 2							70	80
Lessive 3							70	80
Lessive 4							60	73
Post caustique							50	57
Eau chaude 1							48	52
Eau chaude 2							42	46
Rinçage final							< ou =	35
Eau fraîche							15	18
<b>Concentration</b>								
Lessive 1							60	80
Lessive 2							60	80
Lessive 3							60	80
Lessive 4							60	80
Poste caustique							5	15
Nettoyage des tamis								
Contrôle présence barre à mine							Voir OPL n° 7	
Nettoyage tamis et extracteurs 3fois par pause	7h		15h		23h		Contrôle présence du matériel de première intervention pour produit chimique	OK/NOK
	10h		18h		2h			
	13h		21h		5h			
Controle de la propreté des toles de sortie par pause								
Nettoyage des couloirs d'entrée en début de pause afin d'éviter les blocages des bouteilles (retirer les morceaux d'étiquettes, plastiques,...)								
Remmettre les grilles d'égout en place								
Conservation à faire uniquement fin de semaine lors du nettoyage (voir OPL " nettoyage laveuse bouteilles " )								
<b>OK / NOK</b>								

REMARQUES

Date: ____/____/____						
Pause	Heure	Pause 6/14	Heure	Pause 14/22	Heure	Pause 22/06
Opérateur						
FLM						

# Annexe **K**

## Modélisation par éléments discrets - Scripts (Python, Matlab)

```
1
2 #
3 #####
4 # Title:
5 # Entry region of the bottle washer
6 #
7 # Author:
8 # Stephanie Schroeder (stephanie.schroeder@student.ulg.ac.
9 # be)
10 # Date:
11 # June 2016
12 #
13 #
14 #####
15
16 #
17 #####
18
19 # INPUT
20 #
21 # Material
22 rho = 3.636e+3 # [kg/m^3] density (of the balls)
kn = 1.0e6 # [N/m] equivalent normal stiffness
```

ANNEXE K. MODÉLISATION PAR ÉLÉMENTS DISCRETS - SCRIPTS (PYTHON, MATLAB)

---

```
23 cn = 70.85 # [Ns/m] equivalent normal damping
    coefficient (equiv. en = 0.3)
24 kt = kn # [N/m] equivalent tangential stiffness
25 ct = cn # [Ns/m] equivalent tangential damping
    coefficient
26 mu = 0.2 # [-] Coulomb friction coefficient
27
28 # Filling
29 r = 0.025 # [m] ball radius
30
31 # Simulation
32 tEnd = 40 # [s] total simulation time
33 tAdd = 0.01 # [s] add bottle period
34 tRemove = 2.3 # [s] remove bottle period
35 O.dt = 1e-4 # [s] fixed time step
36
37
38 #
    #####
39 # IMPORT
40 #
41
42 from yade import ymport, export
43 import math, os
44
45 if os.path.exists('output'):
46     print 'Delete old "output" directory.'
47     exit()
48 else:
49     os.makedirs('output')
50
51
52 #
    #####
53 # MATERIAL
54 #
55
56 mat = O.materials.append(SprSldDmpMat(knEl=2*kn, ktEl=2*kt,
    cnEl=2*cn,
57                                     ctEl=2*ct, muEl=mu))
58
59
60 #
    #####
```

```
61 # CONVEYOR
62 #
63
64 l1 = 100
65 l2 = -300
66 l3 = -300
67
68 f1 = 0.bodies.append(utils.facet([(0,l1,0),(0.32,l1,0)
69 , (0.32,-7.23,0)],material=mat))
70 f2 = 0.bodies.append(utils.facet([(0.32,-7.23,0)
71 , (0,-7.23,0),(0,l1,0)],material=mat))
72 f3 = 0.bodies.append(utils.facet([(0.32,l1,0),(0.64,l1,0)
73 , (0.64,-8.38,0)],material=mat))
74 f4 = 0.bodies.append(utils.facet([(0.64,-8.38,0)
75 , (0.32,-8.38,0),(0.32,l1,0)],material=mat))
76 f5 = 0.bodies.append(utils.facet([(0.64,l1,0),(0.96,l1,0)
77 , (0.96,-10.080,0)],material=mat))
78 f6 = 0.bodies.append(utils.facet([(0.96,-10.080,0)
79 , (0.64,-10.080,0),(0.64,l1,0)],material=mat))
80 f7 = 0.bodies.append(utils.facet([(0.96,-3.050,0)
81 , (1.150,-3.050,0),(1.150,l2,0)],material=mat))
82 f8 = 0.bodies.append(utils.facet([(1.150,l2,0),(0.96,l2,0)
83 , (0.96,-3.050,0)],material=mat))
84 f9 = 0.bodies.append(utils.facet([(l3,-3.862,-0.001)
85 , (2.850,-3.862,-0.001),(2.850,-9.586,-0.001)],material=
86 mat))
87 f10 = 0.bodies.append(utils.facet([(2.850,-9.586,-0.001),(
88 l3,-9.586,-0.001),(l3,-3.862,-0.001)],material=mat))
89
90 0.bodies.append(utils.facet([(0.96,10,0),(0.96,10,0.1)
91 , (0.96,-3.760,0.1)],material=mat))
92 0.bodies.append(utils.facet([(0.96,-3.70,0.1)
93 , (0.96,-3.760,0),(0.96,10,0)],material=mat))
94
95 0.bodies.append(utils.facet([(1.150,-3.950,0)
96 , (1.150,-3.950,0.1),(1.570,-3.950,0.1)],material=mat))
97 0.bodies.append(utils.facet([(1.570,-3.950,0.1)
98 , (1.570,-3.950,0),(1.150,-3.950,0)],material=mat))
99
100 0.bodies.append(utils.facet([(0,10,0),(0,10,0.1)
101 , (0,-4.4,0.1)],material=mat))
102 0.bodies.append(utils.facet([(0,-4.4,0.1),(0,-4.4,0)
103 , (0,10,0)],material=mat))
104
105 0.bodies.append(utils.facet([(0,-4.4,0),(0,-4.4,0.1)
106 , (0.07,-4.86,0.1)],material=mat))
```

```
89 O.bodies.append(utils.facet([(0.07, -4.86, 0.1)
    ,(0.07, -4.86, 0), (0, -4.4, 0)], material=mat))
90
91 O.bodies.append(utils.facet([(0, -4.4, 0), (0, -4.4, 0.1)
    ,(0, -6.030, 0.1)], material=mat))
92 O.bodies.append(utils.facet([(0, -6.030, 0.1), (0, -6.030, 0)
    ,(0, -4.4, 0)], material=mat))
93
94 O.bodies.append(utils.facet([(0, -6.030, 0), (0, -6.030, 0.1)
    ,(0.8172, -9.208, 0.1)], material=mat))
95 O.bodies.append(utils.facet([(0.8172, -9.208, 0.1)
    ,(0.8172, -9.208, 0), (0, -6.030, 0)], material=mat))
96
97 O.bodies.append(utils.facet([(1.15, -9.574, 0)
    ,(1.15, -9.574, 0.1), (1.570, -9.574, 0.1)], material=mat))
98 O.bodies.append(utils.facet([(1.570, -9.574, 0.1)
    ,(1.570, -9.574, 0), (1.15, -9.574, 0)], material=mat))
99
100 O.bodies.append(utils.facet([(2.85, -3.91, 0), (2.85, -9.534, 0)
    ,(2.85, -9.534, 0.05)], material=mat))
101 O.bodies.append(utils.facet([(2.85, -9.534, 0.05)
    ,(2.85, -3.91, 0.05), (2.85, -3.91, 0)], material=mat))
102
103
104
105 surface = O.bodies.append(ympart.gmsh('s1.mesh', material=
    mat, color=(1, 1, 1), scale=1e-3))
106 surface = O.bodies.append(ympart.gmsh('s2.mesh', material=
    mat, color=(1, 1, 1), scale=1e-3))
107 surface = O.bodies.append(ympart.gmsh('s3.mesh', material=
    mat, color=(1, 1, 1), scale=1e-3))
108
109
110 #
    #####
111 # BOTTLES
112 #
113
114 # Load initial positions
115 file = open('input/initialPositions', "r")
116 lines = file.readlines()
117 file.close()
118
119 global bottlesId
120 bottlesId = list()
121
```



```

122 for line in lines:
123     data = line.split()
124     x     = float(data[0])
125     y     = float(data[1])
126     z     = float(data[2])
127     bottle = O.bodies.append(utils.sphere(center=(x,y,z),
128         radius=r,\
129         material=mat,color
130         =(1,1,1)))
131     bottlesId.append(bottle)
132
133 for i in bottlesId:
134     O.bodies[i].state.blockedDOFs='XY'
135
136 #
137 #####
138
139 # SIMULATION
140 #
141
142 global entries
143 entries = [0] * 74
144
145 #
146 #####
147
148 # SIMULATION
149 #
150
151 # Conveyor speed [m/s]
152 v1 = -0.13
153 v2 = -0.13
154 v3 = -0.1158
155 v4 =  0.1667
156 v5=0.247
157
158 # Conveyor acceleration factor [-]
159 k=1
160
161 O.engines=[
162     ForceResetter(),
163     InsertionSortCollider([Bo1_Sphere_Aabb(),Bo1_Facet_Aabb()
164         ,Bo1_Wall_Aabb()]),
165     InteractionLoop(
166         [Ig2_Sphere_Sphere_ScGeom(),

```

```

162     Ig2_Facet_Sphere_ScGeom(),
163     Ig2_Wall_Sphere_ScGeom()],
164     [Ip2_SprSldDmpMat_SprSldDmpMat_SprSldDmpPhys()],
165     [Law2_ScGeom_SprSldDmpPhys_Basic()]
166 ),
167 NewtonIntegrator(damping=0,gravity=[0,0,-9.81]),
168 TranslationEngine(ids=[f1,f2],translationAxis=(0,1,0),
169     velocity=v1*k),
170 TranslationEngine(ids=[f3,f4],translationAxis=(0,1,0),
171     velocity=v2*k),
172 TranslationEngine(ids=[f5,f6],translationAxis=(0,1,0),
173     velocity=v3*k),
174 TranslationEngine(ids=[f7,f8],translationAxis=(0,1,0),
175     velocity=v4*k),
176 TranslationEngine(ids=[f9,f10],translationAxis=(1,0,0),
177     velocity=v5*k),
178 PyRunner(command='addBottles()',iterPeriod=int(math.ceil(
179     tAdd/0.dt))),
180 PyRunner(command='removeBottles()',iterPeriod=int(math.
181     ceil(tRemove/0.dt))),
182 PyRunner(command='removeBottles2()',iterPeriod=int(math.
183     ceil(tRemove/0.dt))),
184 PyRunner(command='removeBottles3()',iterPeriod=int(math.
185     ceil(tRemove/0.dt))),
186 PyRunner(command='writeEntries()',iterPeriod=int(math.
187     ceil(tEnd/0.dt)))]
188
189
190 #
191 #####
192
193 # FUNCTIONS
194 #
195
196 def addBottles():
197     global bottlesId
198     add = 1
199     for b in bottlesId:
200         if 0.bodies[b].state.pos[1] > -0.6:
201             add = 0
202
203     if add:
204         eps = 0.01*r
205         region = pack.inAlignedBox((0,-0.5,0),(0.96,5,0.05));
206         bottles = pack.regularHexa(region,r,eps,material=mat,
207             color=(1,1,1))

```

```

196     bottlesId = bottlesId+O.bodies.append(bottles)
197     for i in bottlesId:
198         O.bodies[i].state.blockedDOFs='XY'
199
200
201 def removeBottles():
202     global entries
203     for b in bottlesId:
204         if O.bodies[b].state.pos[0] > 2.81:
205             entry = int(math.ceil((-3.91-O.bodies[b].state.pos
206                 [1])/0.076))
207             entries[entry-1] = entries[entry-1] + 1
208             O.bodies.erase(b)
209             bottlesId.remove(b)
210
211 def removeBottles2():
212     global entries
213     for b in bottlesId:
214         if O.bodies[b].state.pos[0] > 2.81:
215             entry = int(math.ceil((-3.91-O.bodies[b].state.pos
216                 [1])/0.076))
217             entries[entry-1] = entries[entry-1] + 1
218             O.bodies.erase(b)
219             bottlesId.remove(b)
220
221 def removeBottles3():
222     global entries
223     for b in bottlesId:
224         if O.bodies[b].state.pos[0] > 2.81:
225             entry = int(math.ceil((-3.91-O.bodies[b].state.pos
226                 [1])/0.076))
227             entries[entry-1] = entries[entry-1] + 1
228             O.bodies.erase(b)
229             bottlesId.remove(b)
230
231 def writeEntries():
232     out=open(os.getcwd()+'/output/entries','w')
233     output = ''
234     global entries
235     for e in entries:
236         output+=('%g\n'%(e))
237     out.write(output)
238     out.close()
239
240 #
241 #####

```

```
239 # RUN
240 #
241
242 O.trackEnergy = True
243 O.run(int(math.ceil(tEnd/O.dt))+1)

1 % Contact parameters, critical time step, time step and
  equivalent density
2 % determination
3
4 m = 0.239; % [kg] mass of a bottle
5 g = 9.81; % [m/s2] gravity acceleration
6 n = 1000; % [-] number of bottles
7 mu = 0.2; % [-] friction coefficient
8 d = 0.05; % [m] diameter of a bottle
9 op = 0.01; % [%] overlap percentage
10 nt = 20; % [-] number of time steps during a collision
11 en = 0.8; % [-] coefficient of restitution
12
13
14 %% Stiffness coefficient
15
16 F = m*g*n*mu; % [N] equivalent force acting on one bottle/
  sphere
17 o = d*op; % [m] absolute overlap
18 kn = F/o; % [N/m] normal stiffness
19
20
21 %% Damping coefficient
22
23 meff = m;
24 cn = -2*log(en)*sqrt((meff*kn)/(pi^2+log(en)^2));
25
26
27 %% Critical time step
28
29 deltat_c = 0.22*sqrt(m/kn);
30
31
32 %% Time step
33
34 kt = kn;
35 ct = cn;
36
37 omega0 = sqrt(kn/meff); % natural frequency of the spring-
  slider-damper system
```

```
38 zeta    = cn/(2*sqrt(kn*meff)); % damping ratio
39 omegad = omega0*sqrt(1-zeta^2); % damped frequency
40
41 tc = pi/omegad;
42
43 deltat = tc/nt;
44
45
46 %% Equivalent density
47
48 v = 4/3 * pi * (d/2)^3;
49 rho = m/v;
```