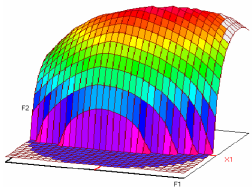
Université Sidi Mohammed Ben Abdellah
Faculté des Sciences et Techniques
www.fst-usmba.ac.ma

Année Universitaire : 2011-2012



Master Sciences et Techniques CAC Agiq
Chimiométrie et Analyse Chimique : Application à la gestion industrielle de la qualité

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES
Pour l'Obtention du Diplôme de Master Sciences et Techniques

METHODES STATISTIQUES APPLIQUEES DANS LA BRASSERIE ET ETUDE DE LA CAPABILITE DU CARBOBLENDER

Présenté par: **Mlle Pélagie TUYISHIMIRE**

Encadrée par: **- Mr Benoît SIBOMANA** **BRALIRWA Ltd.**
- Mr Abdeslem BEN-TAMA **FST Fès**

Soutenue le 20 Juin 2012 devant le jury composé de:

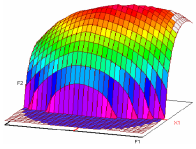
- Mr Abdeslem BEN-TAMA	**FST Fès**
- Mr Bouchaib IHSSANE	**FST Fès**
- M^{r} El Houssine ALILOU	**FST Fès**
- M^{r} El Houssine EL GHADRAOUI	**FST Fès**

Stage effectué à la BRALIRWA Ltd.

Faculté des Sciences et Techniques - Fès
B.P. 2202 – Route d'Imouzzer – FES
212 (0) 35 60 29 53 Fax : 212 (0) 35 60 82 14

Université Sidi Mohammed Ben Abdellah
Faculté des Sciences et Techniques
www.fst-usmba.ac.ma

Stage effectué à la BRALIRWA Ltd.



Master ST CAC Agiq

Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de Master Sciences et Techniques

Présenté par**: Pélagie TUYISHIMIRE**

Année Universitaire **: 2011/2012**

METHODES STATISTIQUES APPLIQUEES DANS LA BRASSERIE ET ETUDE DE LA CAPABILITE DU CARBOBLENDER

Résumé

Ce stage effectué au département contrôle technologique de la Bralirwa, brasserie de Gisenyi, s'est généralement basé sur l'évaluation de la performance des laboratoires via les méthodes statistiques robustes appliquées par Heineken, l'étude de la variabilité des systèmes de mesures et de la capabilité des procédés. Nous avons calculé le ZZ% de la Bralirwa pour les analyses des HARA d'avril 2011 jusqu'en Mars 2012 et nous avons trouvé qu'elle excelle. L'étude de l'évaluation des systèmes de mesure pour les équipements qui accompagnent le Carboblender nous ont révélé que seul le DMA peut fournir des résultats acceptables et le c-DGM ne le peut pas. La capabilité du carboblender évalué en ne se basant que sur l'extrait primitif a montré qu'il n'est pas capable de fournir des résultats respectant les spécifications des produits car les Cp et Cpk étaient inférieur à 1,33. Nous recommandons à la Bralirwa de faire des amélioration le système de mesure de CO_2 et d'instaurer les cartes de contrôles pour tous les mesures effectués dans le domaines du contrôle de la qualité afin de pouvoir détecter facilement les causes de variation de leurs procédés.

Mots clés: Z-score, R&R, capabilité du procédé.

DEDICACES

- Je dédie ce travail à mes chers parents jamais je ne saurais m'exprimer quant aux sacrifices et aux dévouements que vous consacrés à mon éducation et mes études.

Je dédie spécialement ce travail aux personnes suivantes puisqu'elles le méritent :

- Mon frère Concorde HABINEZA, ton amour et ta fraternité m'a montré qu'on peut tout faire pour une famille unie et soudé.
- Mon chéri Eugène UWIRAGIYE, pour ton amour envers moi, ce travail a été comme le tien et ton inquiétude et ton aide ont été capital pour moi.
- Mon frère Jean Francis Régis et ma sœur Claudine, que ce travail soit pour vous comme un souvenir que vous allez imiter dans votre vie à venir.
- Mes cousins Valens et Noël, pour le temps que nous avons passé ensemble à Gisenyi, vous m'avez été comme des parents.
- Tous ce qui mon soutenu par la prière notamment Frère Ismaël et Pasteur Paradoxe.
- Tous mes Compatriotes et mes collègues de Master CAC : Agiq.

REMERCIEMENTS

Premièrement je rends grâce à Dieu qui me prête vie et qui continue à réaliser des bonnes choses dans ma carrière.

Je tiens à remercier tout particulièrement et à témoigner toute ma reconnaissance aux personnes suivantes, pour l'expérience enrichissante et pleine d'intérêt qu'elles m'ont fait vivre durant ces quatre mois au sein de l'entreprise BRALIRWA Ltd. :

- La direction de Bralirwa, Brasserie de Gisenyi, qui m'a donnée cette chance d'y apprendre la vie professionnelle et y appliquer mes connaissances théoriques.
- Mon maître de stage, Monsieur Benoît SIBOMANA, Chef du département Contrôle Technologique de la Bralirwa Ltd. Pour sa confiance, ses conseils et son suivi quotidien dans la réalisation de ce travail.
- Messieurs Jean Marie Vianney NARABAMENYE et François Xavier NAHIMANA pour leur aide et conseils.
- L'ensemble du personnel de la Bralirwa, brasserie de Gisenyi pour son précieux accueil ainsi que sa sympathie. Il a favorisé mon intégration dans l'entreprise.

Ce travail a été rendu possible à cause de mon baguage académique, raison pour laquelle je remercie vivement:

- Tout le corps professoral de la Faculté des Sciences et Techniques Fès du Master Chimiométrie et Analyse Chimique.
- Professeur Abdeslem BEN-TAMA d'avoir accepté à m'encadrer. Nous étions dans les situations géographiques différentes mais Dieu nous a aidés à arriver à la fin du travail avec des bons résultats.
- Professeur Bouchaib IHSSANE, par ses conseils qui m'ont permis de surpasser les obstacles d'avoir une espérance que je peux faire des prodiges dans la vie à venir.
- Tous les professeurs, membres du jury qui m'ont fait l'honneur de juger mon travail.

Je remercie également toute personne ayant participé, de près ou de loin, à rendre mon stage enrichissant et motivant.

Table des matières

INTRODUCTION GENERALE 1

PARTIE THEORIQUE 2

CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA BRALIRWA Ltd. 3

1. Historique de la Bralirwa Ltd. 3
2. Lieu de stage 4
3. Organigramme de BRALIRWA Ltd, Brasserie de Gisenyi 5
4. Processus de fabrication de la bière a la Bralirwa Ltd. 6
   - 4.1. Définition de la bière 6
   - 4.2. Les matières premières 6
5. Les étapes de la fabrication de la bière 7
   - 5.1. Le brassage 7
   - 5.2. Fermentation de la bière 7
   - 5.3. Conditionnement de la bière 7

CHAPITRE II : APERCU SUR LE CARBO-BLENDER 8

1. Position du Carbo-Blender dans la Bralirwa Ltd. 8
2. Fonctionnement du CarboBlender 8
   - 2.1. Séquence de mesure de CO_2 par c-AGM 8
   - 2.2. Coupage de la bière (Blending of beer) 9

CHAPITRE III : Z-SCORE, INDICATEUR DE PERFORMANCE 11

1. Etude de performance du laboratoire 11

1.1. Valeur cible 11

1.2. Le Z-score 11

2. HARA comme indicateur de performance de la BRALIRWA 12

2.1. Les statistiques utilisées en analyses de groupe 12

2.2. Calcul de la valeur moyenne X 12

2.3. Calcul de l'écart-type σ 13

2.4. Statistique de performance 13

2.5. Interprétation des résultats 14

2.6. Action corrective et feedback 14

2.7. Les causes de l'insatisfaction de la performance 15

3. Autoévaluation de l'entreprise 15

CHAPITRE IV: EVALUATION DES SYSTEMES DE MESURE 16

1. Les erreurs du système de mesure 16

2. Application de l'étude de R&R de l'instrumentation 18

3. Calcul de Gage R&R avec Minitab 18

3.1. Méthode ANOVA 18

3.2. Résultats sous forme graphique 22

CHAPITRE V : ETUDE DE LA CAPABILITE 25

1. Les règles d'échantillonnage 25

2. Les hypothèses pour la réalisation de l'étude de la capabilité du processus 26

3. La performance du procédé, Pp et Ppk 26

4.1. Capabilité intrinsèque du procédé Pp 26

4.2. Indicateur de déréglage Ppk 27

5. Evaluation de la capabilité en production Cp et Cpk 29

5.1. Première méthode 29

5.2. Deuxième méthode 29

6. Des indicateurs liés à la valeur cible : le Cpm et le Ppm 30

7. La chute des capabilités 31

PARTIE PRATIQUE 32

CHAPITRE I : INTERPRETATION DE HARA ET ETUDE DE LA JUSTESSE DES RESULTATS FOURNIS AVEC LE DMA 34

1. Interprétation de HARA 34

1.1. Calcul de ZZ et ZZ% 35

1.2. Etude de la justesse 35

1.3. Test d'égalité de deux moyennes (Test de Student) 36

CHAPITRE II : EVALUATION DES SYSTEMES DE MESURE 37

1. Etude de R&R de c-DGM 37

1.1. Analyse des données avec Minitab 37

1.2. Interprétation des résultats 39

2. Etude R&R de l'appareil de DMA 39

2.1. Analyse des données avec Minitab 41

2.2. Interprétation des résultats 42

CHAPITRE III : ETUDE DE LA CAPABILITE DES PROCEDES 44

1. Echantillonnage à la sortie du CarboBlender 44

1.1. Analyse des données avec Minitab 45

1.2. Interprétation des résultats 45

2. Les valeurs affichées sur le CarboBlender 45

2.1. Analyse de données avec Mintab 46

2.2. Interprétation des résultats 46

3. Echantillonnage au cours du remplissage de la cuve de bière claire 46

3.1. Analyse des résultats avec Minitab 47

3.2. Interprétation des résultats 47

4. Obstacles et tentatives de résolution 47

5. Etude comparative de la performance calculée au sein de la production des boissons gazeuses et la performance calculée avec Minitab 49

CONCLUSION ET PERSPECTIVE 52

BIBLIOGRAPHIE 53

Liste des figures

Figure 1: Organigramme de la Bralirwa, Brasserie de Gisenyi 5

Figure 2: Position de dilution et de carbonatation dans le processus de fabrication de la bière 8

Figure 3 : Indicateur de Pp 27

Figure 4: Nécessité de l'indicateur Ppk 28

Figure 5: Procédé déréglé du côté supérieur à la moyenne 29

Figure 6: Insuffisance de Ppk 31

Figure 7: Graphiques de l'étude R&R de c-DGM 40

Figure 8: graphiques de l'étude R&R de DMA 44

Figure 9: analyse de la capabilité d'échantillons de la sortie du CarboBlender 47

Figure 10: Analyse de la capabilité des résultats affichés sur le CarboBlendender 46

Figure 11: Analyse de capabilité des échantillons du cours de remplissage de la cuve bière claire . 47

Figure 12: analyse de capabilité de l'extrait primitif de Primus produit entre le 10 et 12/02/2012 ... 48

Figure 13: analyse de capabilité de Primus produit entre le 15 et le 17/02/2012. 49

Figure 14: Analyse de l'indice de performance pour le degré brix de Coca Cola 50

Figure 15: Analyse de l'indice de performance pour les gaz étrangers dans le Coca -Cola 50

Liste des tableaux

Tableau 1: Guide d'interprétation de % Contribution..... 19

Tableau 2: Guide d'interprétation de % R&R en fonction de % variation étude..... 21

Tableau 3: Guide d'interprétation de %R&R en fonction de %tolérance 21

Tableau 4: Interprétation du système de mesure en fonction du nombre de catégories distinctes.... 21

Tableau 5: interprétation du graphique de l'interaction échantillon-analyste 23

Tableau 6: interprétation du graphique mesure par analyste..... 24

Tableau 7: interprétation du graphique mesure par échantillons 24

Tableau 8: Résultats de HARA du round Avril 2011-Mars 2012 34

Tableau 9: Résultats de HARA pour le round Avril 2011 jusqu'en Mars 2012 35

Tableau 10: Résultats de HARA pour 15 mois..... 35

Tableau 11: Résultats du test de Student..... 36

Tableau 12: Résultats d'analyses de Turbo King pour l'étude R&R de c-DGM. 37

Tableau 13: Table Anova pour R&R de c-DGM 37

Tableau 14: Les composantes de la variance pour R&R de c-DGM 37

Tableau 15: Etude de la variation pour R&R de c-DGM 38

Tableau 16: Résultats pour l'étude R&R de DMA.....40

Tableau 17: Table Anova pour R&R de DMA..... 41

Tableau 18:Les composantes de la variation pour R&R de DMA 41

Tableau 19: Etude de la variation pour R&R de DMA 41

Tableau 20: Résultats de l'extrait primitif d'échantillons pris à la sortie du CarboBlender 44

Tableau 21: Résultats d'extrait primitif affiché sur le CarboBlender.....45

Tableau 22: Résultats de l'échantillonnage au cours du remplissage de la Cuve bière claire.....46

Tableau 23: Extrait primitif de Primus produit entre le 10 et 12/02/2012.....47

Tableau 24: Extrait primitif de Primus produit entre le 15 et le 17/02/2012. 48

Liste des abréviations

AGM: Analog Gehalte Meter
BBT: Cuves de bière claire
BCS: Système Conventionnel des Brasseries
BRALIMA : Brasseries Limonaderies et Malteries Africaines
BRALIRWA: Brasseries et Limonaderies du Rwanda
C-DGM: CO_2-Digital Gehalte Metter
DMA: Density Meter Accuracy
FIFO: le premier entrant, le premier sortant.
HARA: Heineken Analytical Ring Analysis
HGB: Bière de haute densité
HMRA: Heineken Microbiology Ring Analysis
HSRA: Heineken Sensory Ring Analysis
ISO: Organisation Internationale de la Standardisation.
IT: Intervalle de Tolérance
LCI: Limite de Contrôle Inférieure
LCS: Limite de Contôle Supérieure
Ltd: Limited
PLC: Programmable Logic Controller
R&R: Repetabilité et Reproductibilité
S.A.R.L: Société anonyme à responsabilité limitée
S.A: Société anonyme
SFSTP: Société Français des Sciences Techniques et Pharmaceutiques

SPC: Maitrise Statistique des Procédés
TPM: Management total de la production

INTRODUCTION GENERALE

Ce rapport est le fruit du travail effectué en collaboration avec la société « BRALIRWA Ltd: Brasserie et Limonadérie du Rwanda » dans le cadre de mon stage de fin d'études du cycle Master, option Chimiométrie et Analyse Chimique : Applications à la gestion industrielle de la qualité. Les brasseries font partie des industries agro-alimentaires qui touchent le domaine chimique étant donné qu'elles s'occupent des différentes transformations dont le produit fini est la bière connue comme une boisson obtenue par fermentation alcoolique d'un moût des matières premières issues des céréales, de sucres alimentaires, d'eau potable et de substances conférant de l'amertume provenant du houblon. Bien que la bière soit une boisson consommée par une grande partie de l'humanité, la majorité s'intéresse à son goût et à sa flaveur sans toutefois considérer leur origine. Mais pour nous, en tant que chimistes et qualiticiens, nous devons considérer la bière comme un bien chimique qui peut s'avérer dangereux si certaines conditions ne sont pas satisfaites. Une bière mal dosée ou mal fabriquée de façon septique pourrait avoir des effets néfastes sur la vie d'un consommateur sans que celui-ci s'en rende compte.

La Bralirwa est l'une des industries les plus performantes du Rwanda. Elle fournit tous ses efforts à la recherche de la performance au sein du groupe Heineken où elle appartient et surtout pour satisfaire à sa clientèle par sa gestion et sa démarche vers la qualité. La Bralirwa joue un rôle économique, social et financier de très grande importance pour le pays par le fait que sa production est la plus consommée par la population rwandaise.

La Bralirwa, par sa passion pour la qualité, a remplacé la méthode ancienne pour gagner du temps et évoluer dans le domaine de la technologie en utilisant les appareils les mieux adaptés de non jours. Elle a acheté un appareil nommé CARBO-BLENDER pour remplacer les méthodes anciennes de dilution et de carbonatation. Depuis que le fournisseur de l'appareil a effectué sa qualification d'installation et sa qualification opérationnelle, l'entreprise a commencé immédiatement à le mettre en fonctionnement sans effectuer et évaluer sa qualification de performance. Raison pour laquelle le département technologique de la brasserie souhaiter toujours d'évaluer ses capacités.

Le travail dans mon stage consistait, d'une part, à l'étude de la capabilité du CarboBlender avant laquelle nous avons évalué les systèmes de mesures des appareils accompagnant ce CarboBlender et d'autre part, à la compréhension du déroulement de Heineken Analytical Ring Analysis (HARA) qui est un test d'évaluation de la performance du laboratoire par rapport aux autres laboratoires des brasseries de Heineken.

PARTIE THEORIQUE

CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA BRALIRWA Ltd.

La Brasserie et limonaderie du Rwanda, Bralirwa Ltd. est une industrie qui fabrique et commercialise des bières et des boissons non alcoolosées. Elle comporte deux branches dont la Brasserie des bières qui se situe à Gisenyi en province de l'Ouest, District de Rubavu au bord du lac Kivu, et la Limonaderie se trouvant en Province Kigali-city, District Kicukiro qui produit des boissons non alcoolisées.

1. Historique de la Bralirwa Ltd.

- La Bralirwa commence en 1957, quand la compagnie congolaise BRALIMA (Brasseries Limonaderies et Malteries Africaines) décidait d'implanter une nouvelle brasserie à Gisenyi qui a été choisi pour sa situation géographique, vu qu'elle se trouve aux bords du Lac Kivu, qui facilite la satisfaction des marchés de la région Est de la République Démocratique du Congo et celles du Rwanda.
- **En 1959**, BRALIMA a produit la première bouteille de Primus qui était la seule bière vendue sur le marché rwandais jusqu'en 1987.
- **En 1960**, BRALIMA, qui était une compagnie congolaise est devenue une compagnie belge
- **En 1963**, BRALIRWA S.A.R.L. a été créée et incorporée comme une compagnie rwandaise.
- **En 1974**, BRALIRWA commence à produire les produits de The Coca-Cola Company sous la licence

- **En 1987** BRALIRWA commence la production d'une deuxième bière connue sous le nom de ***Mützig***.
- **En 1989**, BRALIRWA commence la production de la bière ***Guinness*** sous la licence.
- **En 1991**, BRALIRWA commence à importer la bière ***Heineken*** en Hollande(Pays-Bas)
- **En 1994**, le génocide et la guerre affectent également BRALIRWA. Ses installations sont sérieusement endommagées. Une bonne partie de son outil de production et du matériel d'appoint est détruite.
- **En octobre 1994**, BRALIRWA reprend timidement ses activités. Elle remet progressivement en marche son système de production, de gestion et de distribution, mais avec un volume de production qui demeure à ce jour inférieur à la moitié de celle d'avant 1994.
- **En 1996**, BRALIRWA a été incorporée comme une compagnie publique « BRALIRWA S.A. » sous les Lois de la République Rwandaise
- **En 2001**, la Compagnie a commencé l'importation de la bière Amstel, marque de BRARUDI de la République du Burundi, avant d'en faire sa production locale en 2006.
- **En 2007**, il y a eu un lancement du Petit Primus dans la bouteille de 33cl.
- **En 2009**, BRALIRWA s'est investi dans le traitement des eaux usées à l'usine de Kigali afin de remplir les conditions environnementales du Groupe Heineken, The Coca- Cola Company et du Gouvernement Rwandais. La même année elle lance une nouvelle bière qu'on appelle Turbo King.
- **En 2009**, la compagnie a célébré 50 ans d'existence et a lancé un nouveau logo reflétant l'énergie et le dynamisme de BRALIRWA.
- **En juin 2010**, BRALIRWA S.A. a été converti en Compagnie Publique Limitée.

Malgré une conjoncture défavorable année après année, BRALIRWA améliore sans cesse son outil de travail, elle affine ses méthodes de production et de vente et se met davantage à l'écoute du consommateur. Ses efforts ont été reconnus au niveau international et ont été sanctionnés par de nombreuses distinctions. Actuellement, BRALIRWA est l'une des grandes entreprises du Rwanda. Elle compte approximativement 94% de participation sur le marché de la bière et 99% sur le marché des boissons non alcoolisées au Rwanda.

2. Lieu de stage

Le stage a été effectué dans le département contrôle technologique, au niveau de son laboratoire physicochimie qui s'occupe de la qualité de la bière dès l'arrivée des matières premières, pendant le processus de fabrication jusqu'au conditionnement. Les analyses effectuées dans ce laboratoire sont subdivisées en quatre parties selon leurs états : poste d'analyses des matières premières, poste d'analyse de l'eau ; poste d'analyses des produits semi finis et celui d'analyses des produits finis.

3. Organigramme de BRALIRWA Ltd, Brasserie de Gisenyi

L'organigramme de la Bralirwa se présente comme suit :

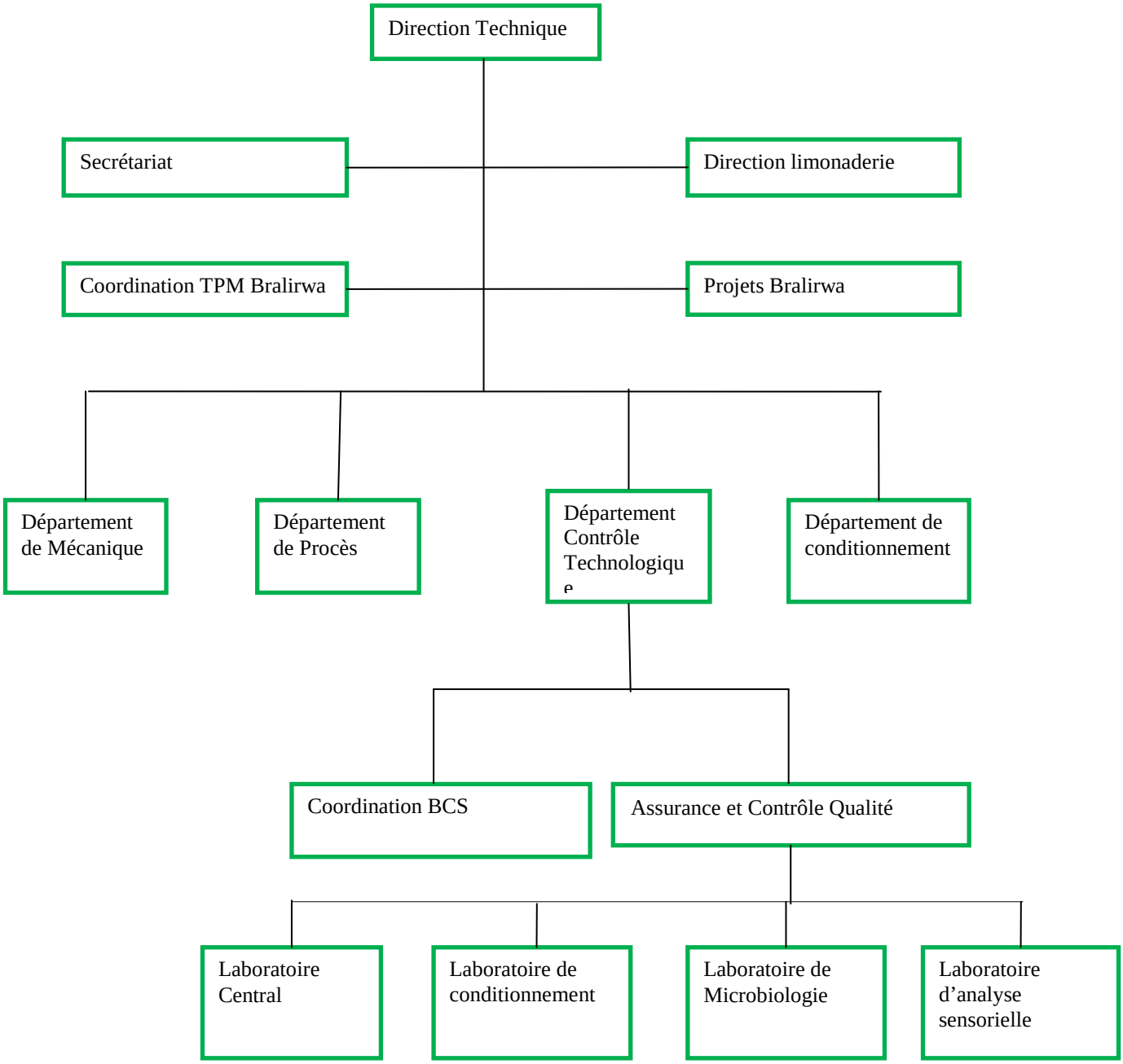


Figure 1: Organigramme de la Bralirwa, Brasserie de Gisenyi

4. Processus de fabrication de la bière a la Bralirwa Ltd.

4.1. Définition de la bière

La bière est une boisson légèrement alcoolisée, préparée à partir des céréales germées, principalement de l'orge qui contient beaucoup d'amidon, parfumée avec du houblon et fermenté par la levure. Elle contient 2 à 14% d'alcool, du gaz carbonique et des sucres en quantité variable. Elle est préparée dans les brasseries.

4.2. Les matières premières

Pour la meilleure compréhension du processus de fabrication de la bière par Bralirwa, un petit rappel sur les matières premières essentielles est nécessaire. Elle utilise principalement : le Malt, les gritz de maïs, l'Eau, du sucre, le houblon, la Levure et quelques additifs alimentaires.

4.2.1. Le malt

Le malt est le principal ingrédient utilisé dans la fabrication de la bière ; il est obtenu artificiellement à partir de l'orge. Cette transformation de l'orge en malt est connue sous le nom de maltage. L'orge est une céréale à paille, plante herbacée annuelle de la famille des poacées. Elle est la plus ancienne céréale cultivée. Bien adaptée au climat méditerranéen du fait de sa rusticité, elle constituait ainsi la principale céréale cultivée dans l'antiquité grecque, et consommée sous forme de galette ou de bouillie.

4.2.2. Les gritz de maïs

Le maïs est le succédané le plus utilisé en brasserie. Il se présente généralement sous forme de gritz. La production des gritz se fait en semoulerie où le travail consiste à séparer les différents constituants du grain, l'amande riche en amidon, le germe riche en matières grasses et l'enveloppe riche en cellulose. Les gritz de maïs utilisés à la Bralirwa sont de production locale.

4.2.3. Houblon

Le houblon (Humulus lupulus) est une plante grimpante de la famille des cannabinacées, cultivé pour ses cônes, ou inflorescences femelles, et employé pour aromatiser la bière. Ces inflorescences produisent une poudre jaune contenant des résines amères appelée lupuline qui donne le goût amer à la bière. Sur le continent européen, seules les fleurs femelles de houblon sont utilisées pour aromatiser la bière et lui donner son amertume. Certains types de houblons sont réputés pour leur amertume alors que d'autres brillent par leur arôme, ainsi le brasseur pourra utiliser plusieurs houblons pour fabriquer sa bière.

4.2.4. Eau

La fabrication de la bière requiert des quantités importantes d'eau ayant des caractéristiques bien précises. Il est donc essentiel, avant d'installer une nouvelle brasserie, de s'assurer de pouvoir disposer d'une eau de qualité en quantité suffisante. L'eau doit être d'une pureté et d'une composition minérale bien définie.

4.2.5. Le sucre

Le sucre brun utilisé dans la fabrication de la bière a pour rôle d'augmenter la production dans la salle de brassage en substituant la quantité de malt, de diminuer le coût par rapport au coût du malt et la couleur du sucre sert aussi à diminuer la quantité du colorant caramel.

4.2.6. Levure

La levure fait partie des champignons qui favorisent la fermentation en utilisant les sucres dérivés de l'amidon pour se développer.

5. Les étapes de la fabrication de la bière

La fabrication de la bière est un processus ordonné comprenant les grandes étapes se déroulant en trois catégories : le brassage, la fermentation et le conditionnement.

5.1. Le brassage

Le brassage est une grande étape dans la fabrication de la bière qui consiste à mélanger les matières premières pour l'obtention du moût en utilisant le malt, les gritz de maïs, de l'eau et du houblon. Certaines de ces matières premières, subissent, avant leur utilisation, des traitements préparatoires.

5.2. Fermentation de la bière

La fermentation est une des étapes de la fabrication de la bière qui consiste à ensemencer le moût avec une certaine quantité de levures afin qu'elles transforment les sucres présents en alcool et en CO_2. L'équation chimique de la fermentation est la suivante :

$$C_6H_{12}O_6 \xrightarrow{levure+air} 2C_2H_5OH + 2CO_2 + 138KJ$$

5.3. Conditionnement de la bière

C'est l'étape qui comprend tous les traitements nécessaires que subit la bière claire depuis la mise en bouteille jusqu'à son stockage.

CHAPITRE II : APERCU SUR LE CARBO-BLENDER

Le Carbo-Blender est un appareil de marque Norit Haffmans utilisé dans les brasseries et destiné à carbonater et diluer la bière et la faire passer de haute à la basse densité conformément aux cahiers de charge. Ce processus se fait en deux étapes :

- La carbonatation : le Carbo-Blender barbote le CO_2 dans la bière en utilisant l'AGM (Analog Gehalte Meter) et le PLC (Programmable Logic Controller).
- Dilution : le Carbo-Blender en utilisant de l'eau ; dilue la bière tout en diminuant son extrait. Il mesure l'extrait primitif de la bière et cette valeur est contrôlée par PLC.

1. Position du Carbo-Blender dans la Bralirwa Ltd.

Le carbo-Blender se situe entre le Filtre Lochem, le site de traitement d'eau de dilution et les cuves de bière claire comme le montre le schéma ci-contre :

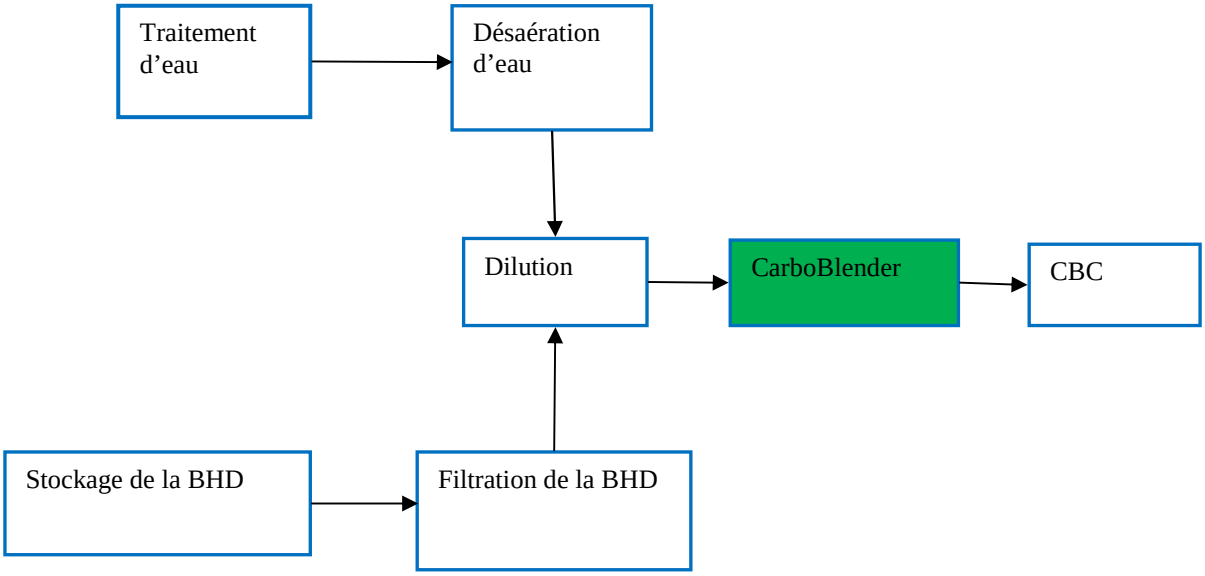


Figure 2: Position de dilution et de carbonatation dans le processus de fabrication de la bière

2. Fonctionnement du CarboBlender

Le CarboBlender, est une machine automatisée, ses options sont commandées afin d'avoir une bière respectant les spécifications ; c'est au CarboBlender de travailler de façon à atteindre les valeurs des paramètres qu'on lui a commandé. Ces paramètres sont la quantité de la bière à diluer, l'extrait primitif de la bière diluée, la quantité de CO2 à carbonater dans la bière.
Ce travail de fixation de ces paramètres se passe avant de diluer et de carbonater la bière et n'a lieu avoir avec le fonctionnement exact de la machine.

2.1. Séquence de mesure de CO_2 par c-AGM

La mesure et le contrôle de CO_2 se fait en ligne au cours du procès de fabrication de la bière et les phases suivantes se succèdent de cette façon : l'échantillonnage se fait dans une chambre fermée, création de l'équilibre entre les phases liquide et gazeux, mesure de l'équilibre entre la pression du CO_2 et la température du liquide, calcul de la quantité de CO_2 de l'équilibre entre la pression et la température et l'expulsion de l'échantillon.

2.1.1. Avantages de c-AGM

- Il est basé sur le principe de la Loi d'Henry ;
- Il contrôle le dosage de CO_2 directement via un logiciel encastré en lui, il n'a pas besoin du contrôle de PLC pour la carbonatation :
- On peut le calibrer en ligne sans arrêter la circulation de la bière.

2.1.2. Les facteurs influant la carbonatation de la bière

Pendant le processus de la carbonatation de la bière, les facteurs qui peuvent l'influencer sont les suivant : la température de la bière, la pression de la bière, le débit de la bière et la longueur du conduit où s'effectue la carbonatation.

2.1.3. Système de contrôle de la pression de carbonatation

Le système de contrôle de la pression de la bière améliore les conditions opératoires sous lesquelles le CO_2 injecté doit être absorbé.

2.2. Coupage de la bière (Blending of beer)

Le coupage de la bière de haute densité consiste en sa dilution avec de l'eau. Cette dilution est traduite par la mesure de la densité.

2.2.1. Mécanisme du contrôle de coupage de la bière

On contrôle le coupage de la bière par :

- Le rapport eau/bière
- La quantité de l'extrait primitif de la bière
- Le rapport eau/bière avec la correction de l'extrait primitif.

2.2.2. Instabilité des mesures de la densité

L'obtention des mesures instables est la conséquence des facteurs suivants :

- La concentration de CO_2 qui est instable ;
- La concentration d'O_2 élevée ;
- Le produit à couper qui n'est pas homogène.

Comme résultat, l'appareil de mesure bloquera le rendement sur chaque mesure.

2.2.3. Les facteurs influant le coupage de la bière

Lors du coupage de la bière, certains facteurs peuvent influer sur la mesure de la densité de la bière notamment le débit de la bière, le débit de l'eau, la température de la bière, la concentration de CO_2 et la turbulence de la bière.

CHAPITRE III : Z-SCORE, INDICATEUR DE PERFORMANCE

Ce chapitre est dans le cadre de l'étude des statistiques robustes appliquées au niveau de Heineken pour l'évaluation de la performance de laboratoires de ses brasseries.

1. Etude de performance du laboratoire

Un laboratoire est dit performant si les analyses qui y sont effectuées concordent bien avec les spécifications exigées et des produits répondant aux exigences des clients en obéissant les normes des cahiers des charges. Cette performance peut être évaluée en étudiant les différents axes qui correspondent avec les tests qu'il effectue en utilisant les statistiques. Dans ce domaine d'évaluation, la Bralirwa fait quelques tests organisés par Heineken notamment :

- HARA : Heineken Analytical Ring Analysis
- HMRA : Heineken Microbiology Ring Analysis
- HSRA : Heineken Sensory Ring Analysis

Au cours de ce stage nous nous intéresserons sur le premier test qui concerne les analyses effectués dans le laboratoire physico-chimique, et ses résultats nous aideront à bien savoir la position de BRALIRWA au sein du groupe Heineken.

1.1. Valeur cible

Dans le cadre de contrôle de qualité externe, les centres organisateurs proposent un échantillon de contrôle à n laboratoires. Chaque laboratoire i effectue une mesure, notée Xi (i=1,2,…n) et retourne son résultat au centre de contrôle. La valeur vraie ou valeur de référence de l'échantillon, celle qui sera utilisée comme valeur cible (V_{cible}) est estimée selon différentes méthodes.

Notons que cette valeur cible est généralement utilisée dans le contrôle de qualité externe. Elle permet en particulier de prendre en compte les nombreuses méthodes différentes utilisées dans les laboratoires.

1.2. Le Z-score

Le Z-score est un indicateur de performance du laboratoire par rapport aux autres laboratoires. Cette grandeur est corrélée avec l'écart-type (σ). Elle dépend fortement de la dispersion des résultats des laboratoires et donc du coefficient de variation (CV). Pour les CV importants il doit être considéré avec prudence.

Le Z-score est calculé par la formule suivante selon la norme ISO/CEI 43-1 :1997 :

$$z = \frac{x - V_{cible}}{\sigma}$$

Où ***x*** est le résultat du laboratoire

V_{cible} la valeur cible

σ: l'écart-type de tous les résultats

Le Z-score mesure quelle distance une observation est liée à la moyenne (la valeur cible) en unité d'écart-type. Il est d'une utile transformation statistique des données d'une distribution initiale à une autre dans laquelle la moyenne devient zéro et l'écart-type devient un. En d'autres termes le Z-score quantifie le score initial en termes du nombre d'écart-type que ce score est de la moyenne de la distribution.

Toutefois, il est à noter que la transformation en Z-score change la location centrale de la distribution et la variabilité moyenne-distribution mais il ne change pas la dissymétrie. Un Z-score négatif signifie que le premier score était en dessous de la moyenne et un Z-score positif signifie que le score initial était au-dessus de la moyenne. On interprète le Z-score que le nombre d'écart-types au-dessus ou en dessous de la moyenne du score d'un laboratoire par rapport au groupe.

2. HARA comme indicateur de performance de la BRALIRWA

Dans les analyses de groupe (ring analysis), le laboratoire organisateur (Corporate Quality Control Laboratory) envoie les échantillons de la bière aux laboratoires des brasseries participantes. Ces laboratoires analysent les échantillons et renvoient leurs résultats au laboratoire organisateur.

Après analyses statistiques des données, la performance individuelle de chaque laboratoire est déterminée et aide à la distribution des prix de performance. Cela permettra d'identifier les opportunités d'améliorations.

2.1. Les statistiques utilisées en analyses de groupe

HARA est basée sur la comparaison de la différence entre les résultats des laboratoires Xi et la moyenne X du groupe avec l'écart-type σ. La moyenne X est estimée au niveau de la composante utilisée comme échantillon analysé en analyses de groupe. Basé aux deux paramètres X et σ, l'indicateur de performance, qui est actuellement la différence entre les résultats des laboratoires et la moyenne du groupe exprimée en unité de l'écart-type.

2.2. Calcul de la valeur moyenne X

En analyses de groupe, la valeur cible utilisée est la moyenne de tous les participants. L'avantage est que cette valeur moyenne peut être proche de la vraie valeur mais il se peut aussi que cette valeur peut être biaisée. En cas extrême, un des participants peut avoir une mauvaise performance mais il a une seule vraie valeur présentée. Une approche commune pour calculer la moyenne de tous les résultats est d'enlever tout d'abord les valeurs aberrantes. Il y a un certain risque en excluant un résultat marqué comme aberrant par le programme ; seuls les tests statistiques peuvent confirmer qu'une valeur est aberrante.

Pour le HARA une autre approche est appliquée : pour calculer la valeur moyenne, nous utilisons une statistique robuste recommandée par ISO/ FDIS 13582 (Les Méthodes Statistiques utilisées pour les tests de la performance pour la comparaison des laboratoires). La moyenne robuste est la médiane de tous les résultats des participants.

2.3. Calcul de l'écart-type σ

Comme l'écart-type peut varier substantiellement de tous les côtés, il se calcule de tous les résultats des participants et l'écart-type robuste est recommandé. Celui-ci est la médiane de toutes les différences absolues de la moyenne robuste multipliée par 1,483 (pour le convertir en une échelle équivalente à l'écart-type normal). Ceci donne la valeur S_R, qui est l'estimée de l'écart-type robuste. En même cas, la moyenne robuste S_R peut être nulle quand un groupe large de tous les participants ont des résultats égaux, et la médiane de toutes les différences absolues de la moyenne robuste dévient zéro.

2.4. Statistique de performance

Il y a plusieurs méthodes pour mesurer la performance des laboratoires mais la plus commune et utilisée s'appelle Z-score.

En HARA, le Z-score est utilisé pour indiquer la performance pour un composant en rond. La grandeur de Z-score peut être interprétée en utilisant l'échelle suivante :

- $|Z| \leq 2$: Satisfaisant
- $2 \leq |Z| < 3$: discutable
- $3 \leq |Z|$: non satisfaisant

En HARA, le Z-score est exprimé comme un Z-score robuste, Z_R.
Z_R est calculé comme suit :

$$Z_R = \frac{X_P - X_R}{S_R}$$

Où :

X_P : Résultat du laboratoire participant

X_R : Valeur moyenne robuste de tous les résultats des participants

S_R : Ecart-type robuste de tous les résultats

La valeur moyenne robuste X_R, après avoir ordonné les résultats, est simplement la médiane de tous les résultats. Si le nombre des résultats est impair, la médiane est la valeur centrale, et s'il est pair, la médiane est la moyenne de deux valeurs centrales. L'écart-type robuste est la médiane de toutes les distances absolues de l'échantillon médian multiplié par le facteur de conversion 1,483.

$$S_R = 1{,}483 \times mediane\left(\left|X_i - X_R\right| i = 1,2,3....n\right)$$

2.5. Interprétation des résultats

Pour évaluer la performance des laboratoires, on peut considérer un nombre de facteurs tels que : le nombre des participants ; la performance de la méthode d'analyse ; quelques caractéristiques spéciales ou problèmes concernant le test d'échantillonnage et autres facteurs d'analyses en cycle.

2.5.1. Le nombre de participants

Le nombre de participants est un point important pour cette composante spécifique. Le petit nombre de résultats fait que les analyses de groupe utilisent la valeur moyenne de cette composante et la confiance en cette valeur est minimale. Les statistiques robustes impliquent qu'un minimum absolu de huit résultats est couramment considéré comme nécessaire pour avoir une bonne confiance en la valeur moyenne robuste.

2.5.2. La performance de la méthode d'analyse

L'analyse en cycle différencie les méthodes et vérifie comment les autres laboratoires utilisant la même méthode l'ont adapté. Dans les situations pareilles, les participants peuvent comparer leurs résultats aux autres laboratoires utilisant la même méthode analytique. Quand les analyses de groupe différencient les méthodes d'analyse dans le rapport, la performance de chaque méthode peut être comparée aux autres pour voir s'il y a une différence dans la justesse et la fidélité entre ces méthodes.

2.5.3. Facteur d'analyse d'échantillon

Les échantillons utilisés en analyses de groupe sont quelques fois similaires aux ceux de routine vus par les participants ou qui sont inhabituels dans leurs composition. Ces échantillons peuvent rencontrer des problèmes analytiques. Ils doivent avoir un niveau d'analyses en dehors du rang normal.

2.5.4. Autres facteurs d'analyse de groupe

En peu d'occasions, les problèmes peuvent survenir dans l'organisation d'analyse en cycle et affecter l'évaluation des résultats. Ces problèmes peuvent être : entrée des données, problèmes des logiciels ou utilisation des faux critères d'évaluation. Quoique l'organisateur d'analyse de groupe ait pris l'action (Système Qualité) pour s'assurer que son système travaille régulièrement, quelques problèmes peuvent rester.

2.6. Action corrective et feedback

Lorsque le Z_R –score est discutable ou insatisfaisant une action corrective est exigée. Les graphiques peuvent aider pour l'évaluation de Z_R –score. Les résultats des participants de HARA seront représentés dans différents graphiques et tables. Une bonne aide pour déclencher les actions est la représentation graphique de Z_R –score dans le temps.

Pour un graphique de Z_R –score, une action peut être considérée quand :

- Un résultat insatisfaisant ($|Z| \geq 3$) a été obtenu.
- Deux résultats consécutifs sont discutables ont été obtenus pour la même mesure.
- Neuf résultats consécutifs ayant le même biais contre la valeur attribuée ($Z_{R)}$ pour la même mesure ont été obtenus.

2.7. Les causes de l'insatisfaction de la performance

En analyses de groupe, les causes de l'insatisfaction de la performance sont de nombreux potentiels. Ceux-ci peuvent être de genre analytique ou non analytique. Une fois la cause potentielle du résultat insatisfaisant a été établie; il est nécessaire de prendre une ou beaucoup d'actions correctives. Après l'implantation des actions correctives, le laboratoire a besoin de connaître si ces actions ont réussi ou échoué et les valider par après en réalisant des analyses répétées sur cet échantillon d'analyse de groupe et de l'analyse suivant.

3. Autoévaluation de l'entreprise

Les résultats obtenus dans l'analyse de groupe sont utilisés pour l'autoévaluation de l'entreprise. Cette autoévaluation se fait à l'aide du calcul de **ZZ score.**

$$ZZ = Z1 + \frac{1}{2} \times Z2$$

$$ZZ\% = \frac{\left(Z1 + \frac{1}{2} \times Z2\right)}{N} \times 100\%$$

Avec :

Z1 : nombre de fois d'obtention de $|Z| > 3$.
Z2 : nombre de fois d'obtention de Z qui est entre $2 < |Z| < 3$.
N : nombre total d'éléments analysés.

La grandeur ZZ-score peut être interpréter en utilisant l'échelle suivante :

$|ZZ| \leq 5\% : \textit{Excellent}$

$|ZZ| \leq 10\% : \textit{Bon}$

$|ZZ| \leq 15\% : \textit{Mauvais}$

$|ZZ| > 15\% : \textit{Très mauvais}$

CHAPITRE IV: EVALUATION DES SYSTEMES DE MESURE

L'analyse de système de mesure est appelée aussi étude Répetabilité et Reproductibilité de l'instrumentation ou Gage R&R en anglais. Le principal objectif d'une étude R&R de l'instrumentation est de déterminer, a l'aide d'une analyse, l'influence du système de mesure sur la variation du procédé. Cette étude communique de précieuses informations sur la fiabilité du système de mesure et sur la performance du procédé. Pour cette analyse, certains échantillons sont mesurés plusieurs fois par chacun des différents analystes.

1. Les erreurs du système de mesure

Les erreurs du système de mesure sont classées en deux catégories: erreur systématique et erreur aléatoire.

L'erreur Systématique est traduite par la justesse d'une méthode

La justesse exprime l'étroitesse de l'accord entre la valeur moyenne obtenue à partir d'une large série de résultats d'essais et une valeur de référence acceptée soit comme une valeur conventionnellement vraie, soit comme une valeur de référence acceptée.

L'erreur aléatoire est traduite par la fidélité

La fidélité exprime l'étroitesse de l'accord (degré de dispersion, coefficient de variation) entre une série de mesures provenant de multiples prises d'un même échantillon homogène (résultats d'essais indépendants) dans les conditions prescrites.

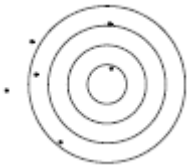
La fidélité est analysée sous trois niveaux :

- ***La répétabilité*** : la répétabilité se définit comme les conditions où les résultats indépendant sont obtenus par la même méthode sur des individus d'essais identiques dans le même laboratoire, par le même opérateur, utilisant le même équipement et pendant un court intervalle de temps.
- ***La fidélité intermédiaire*** : est définit dans les conditions où les résultats d'essais indépendants sont obtenus par la même méthode sur des individus d'essais identiques dans le même laboratoire, avec différents opérateurs et utilisant des équipements différents et pendant un intervalle de temps donné. Elle est connue aussi sous le nom de la reproductibilité intra-laboratoire.

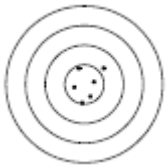
- ***La réproductibilité*** : est définit dans les conditions où les résultats d'essais sont obtenus par la même méthode sur des individus identiques dans différents laboratoires, avec différents opérateurs et utilisant des équipements différents.

Si l'une des conditions de la répétabilité est changée, on se retrouve dans la reproductibilité ou fidélité intermédiaire.

Tout système de mesure peut être affecté par l'une et/ou l'autre de ces erreurs. A titre d'exemple, il est possible d'utiliser un instrument qui mesure les échantillons avec une grande fidélité (peu de variation dans les mesures) mais sans être juste. Par ailleurs, un instrument peut être juste (la moyenne des mesures est alors très proche de la valeur réelle) mais infidèle (les mesures présentent une variance importante). Enfin un instrument peut n'être ni juste ni fidèle.



Ni juste ni fidèle



juste mais pas fidèle

fidèle mais pas juste

juste et fidèle

Dans les statistiques l'erreur totale est la somme du biais et de l'écart-type (bais+écart type).

L'étude de R&R de l'instrumentation est une technique pour quantifier et estimer chaque composante de la variation. Elle détermine combien de fois la variation du processus observée est due à la variation du système de mesure.

La variation totale est divisée en deux grandes sources de variation :

- Variation d'échantillon à échantillon.
- Variation du système de mesure.

La variation du système de mesure se divise à la fois en deux parties: la répétabilité et la reproductibilité qui sont des composantes de la fidélité. C'est pourquoi l'analyse du système de mesure est souvent appelée étude R&R de l'instrumentation ou Gage R&R en anglais.

La reproductibilité à son tour est divisée aussi en deux composantes de la variation : opérateur et interaction opérateur-échantillon.

En totalité les différentes sources de la variation sont : la répétabilité ; la reproductibilité et la variation échantillon à échantillon, c'est-a-dire les différences dues aux échantillons eux-mêmes.

On utilise une étude de R&R de l'instrumentation pour :

- Evaluer ou valider un système de mesure avant de l'utiliser pour contrôler ou améliorer un procédé.
- Evaluer un nouvel équipement ou une nouvelle méthode d'analyse.
- Comparer un ou plusieurs instruments de mesure ou techniciens.
- Evaluer un processus contre la variabilité de l'instrument.
- Evaluer d'un changement dans une procédure d'analyse.

2. Application de l'étude de R&R de l'instrumentation

Cette étude compare la variation du système de mesure à la variation ou tolérance totale du procédé. Si la variation du système de mesure est importante par rapport à la variation totale, il est possible que le système n'effectue pas correctement la distinction entre les échantillons.

L'étude de R&R de l'instrumentation permet de savoir si la variabilité d'un système de mesure est faible par rapport à la variabilité du procédé de fabrication ou par rapport aux limites de spécification du procédé et que la proportion de variabilité due aux différences entre les opérateurs. Elle permet aussi d'affirmer si le système de mesure peut effectuer la distinction entre les échantillons produits. La préparation du test de R&R se fait de la manière suivante :

- Les échantillons doivent être représentatifs de toute la population objet d'étude.
- L'équipement doit discriminer au moins 1 /10 de la variabilité du processus attendue.
- Il faut être sûr que la méthode est claire, définie et suivie.
- Le biais (erreur systématique), la linéarité et la stabilité doivent être évaluées et considérées acceptables.

3. Calcul de Gage R&R avec Minitab

Le calcul de Gage R&R se fait en suivant les formules ci-dessous ou il peut se faire en utilisant des logiciels appropriés comme : Minitab, Statgraphics, Statistica,… afin d'évaluer la variation du système de mesure, celle d'échantillon à échantillon et la variation totale du processus.

Minitab calcul le Gage R&R en utilisant l'Anova et une méthode graphique pour mieux interpréter les résultats.

3.1. Méthode ANOVA

Cette méthode, Minitab l'utilisée pour calculer les composantes de la variance, à partir desquelles il estime ensuite la variation en pourcentage due au système de mesure. La variation en pourcentage apparaît dans le tableau R&R de l'instrumentation.

Il y a quatre source de variabilité : opérateur, échantillon, interaction opérateur-échantillon et la répétabilité.

C'est le p-value qui indique là où il y a une différence significative. Les valeurs de p-value inférieures au niveau de signification α indiquent qu'il y a une différence significative. Une différence significative entre les échantillons est une bonne chose car c'est une indication que le système de mesure a une discrimination acceptable. Néanmoins, une différence significative entre les opérateurs signifie que ces opérateurs obtiennent des résultats supérieurs ou inférieurs par rapport à ceux des autres et la formation est nécessaire pour corriger ce problème.

3.1.1. Composantes de la variance

Les composantes de variance permettent d'évaluer la variation due à chaque source d'erreur de mesure par rapport à la variation totale. Dans une configuration optimale, les différences entre les échantillons doivent représenter la majeure partie de la variabilité, tandis que la variabilité issue de la répétabilité et de la reproductibilité doit être très petite.

Les sources de la variabilité totale sont :

- La R&R totale de l'instrumentation se compose des éléments suivants :
  - Répétabilité : Variabilité issue des mesures répétées effectuée par le même opérateur.
  - Reproductibilité : Variabilité obtenue lorsque la même pièce est mesurée par différents opérateurs. (Ce résultat peut être affiné en composantes opérateur et opérateur-échantillon)
- Echantillon à échantillon : Variabilité des mesures entre les différents échantillons.

3.1.2. Contribution en pourcentage

La valeur % Contribution est basée sur les estimations des composantes de la variance. Chaque valeur de la colonne « composantes de la variance (CompVar) » est divisée par la variation totale, puis multipliée par 100. Lorsque la contribution en pourcentage de l'échantillon à échantillon est élevée, le système peut effectuer une distinction entre les échantillons.

Les standards pour l'interprétation de % Contribution du tableau R&R de l'instrumentation sont :

% Contribution	Nature du Système

1% ou moins	Acceptable
Entre 1% et 9%	Marginal
9% ou plus	Inacceptable

Tableau 1: Guide d'interprétation de % Contribution

3.1.3. Mesure de la variance en fonction de l'écart-type

Etant donné que les valeurs de la colonne % Contribution sont basées sur la variance totale, leur somme atteint 100 %.
Minitab affiche également des colonnes de pourcentages basés sur l'écart type (ou sur la racine carrée de la variance) de chaque terme. Le total des valeurs de ces colonnes, étiquetées % Var étude et % Tolérance, peut ne pas attendre 100 %.
L'utilisation de l'écart type comme mesure de la variation permet d'effectuer des comparaisons tranchées avec la tolérance et les mesures des échantillons, puisque celles-ci sont relevées dans les mêmes unités.

3.1.4. Variation de l'étude en pourcentage (% Var étude)

Utilisez la fonctionnalité % Var étude pour comparer la variation du système de mesure à la variation totale. La valeur % Var étude est le résultat de la division de chaque valeur de Var étude par Variation totale, multiplié par 100 ; elle est le sextuple de l'écart type de chaque source.

3.1.5. Variation du procédé 6s

En règle générale, la variation du procédé est définie sous la forme 6 s, où s représente l'écart type en tant qu'estimation de σ. Lorsque les données sont distribuées normalement, approximativement 99,73 % d'entre elles se situent à une distance maximale de 6 écarts types (± 3 écarts types par rapport à la moyenne) et approximativement 99 % d'entre elles se situent à une distance maximale de 5,15 écarts types (± 2,575 écarts types par rapport à la moyenne).

3.1.6. Pourcentage de tolérance

La comparaison de la variation du système de mesure à la tolérance est souvent révélatrice d'informations. % Tolérance représente le pourcentage de la tolérance absorbée par la variabilité du système de mesure. La variation du système de mesure (6×σ pour R&R totale d'instrumentation) est divisée par la tolérance. La proportion obtenue est multipliée par 100 et indiquée en tant que % Tolérance.

La dernière information est l'analyse de la précision des résultats. La précision combine la Répétabilité et la Reproductibilité, sources de l'erreur (R&R de l'instrumentation total).

Quand l'écart-type est multiplié par six (basé sur la distribution normale), nous trouvons la précision de la méthode d'analyse ; on en savait combien les résultats varient à cause du système de mesure. Ce nombre est typiquement comparé aux spécifications des échantillons analysés tout en ne regardant que les colonnes % Var étude et % Tolérance.

3.1.7. Utilisation de %Var étude et % Tolérance

Pour évaluer le système de mesure, utilisez % Tolérance ou % Var étude en fonction de son application.

- Si le système de mesure est utilisé en vue d'améliorer le procédé (réduction de la variation de l'échantillon à échantillon), % Var étude est une meilleure estimation de la précision des mesures.
- Si le système de mesure évalue les pièces par rapport aux spécifications, % Tolérance est une mesure plus appropriée.

3.1.8. Qualification du Système de mesure en fonction de % Variation étude

R&R<10%	**Acceptable**
R&R entre [10%-30%]	Peut être accepté suivant l'application, le prix, etc…
R&R >30%	Doit être amélioré

Tableau 2: Guide d'interprétation de % R&R en fonction de % variation étude

3.1.9. Qualification du Système de mesure en fonction de % Tolérance

%R&R tolérance	**Décision**
Moins de 10%	Excellent
10% à 20%	Bon
20% à 20%	Marginal
Plus de 30%	Inacceptable

Tableau 3: Guide d'interprétation de %R&R en fonction de %tolérance

3.1.10. Nombre de catégories distinctes

La valeur Nombre de catégories distinctes estime le nombre de groupes de pièces différents que le système peut distinguer. Le nombre de catégories distinctes pouvant être observées de manière fiable est calculé comme suit :

$$\frac{S_{échantillon}}{S_{système-de-mesure}} \times \sqrt{2}$$

Nombre de catégories distinctes	**Interprétation**

<2	Le système ne peut pas effectuer une distinction entre les pièces
=2	Les pièces peuvent être réparties en groupes, comme dans les données d'attributs
≥5	Le système est acceptable selon AIAG et peut effectuer une distinction entre les pièces.

Tableau 4: Interprétation du système de mesure en fonction du nombre de catégories distinctes

3.2. Résultats sous forme graphique

3.2.1. Composantes de la variation

Le diagramme Composantes de la variation représente graphiquement le tableau R&R de l'instrumentation dans les résultats de la fenêtre Session.
Chaque groupe de barres représente une source de variation. Par défaut, chaque groupe possède deux barres, correspondant à % Contribution et à % Var étude.
Dans un bon système de mesure, la plus grande composante de variation est la variation de l'échantillon à échantillon. Par contre, si une partie importante de la variation est attribuée au système de mesure, il peut être nécessaire de le corriger.
En ce qui concerne les mesures % Var étude et % Tolérance, le total des barres Répéter et Reprod ne peut pas atteindre la valeur de la barre R&R de l'instrumentation, car ces pourcentages sont basés sur des écarts types, pas sur des variances.

3.2.2. Carte R

La carte R est une carte de contrôle des étendues qui représente graphiquement la cohérence des opérateurs. Une carte R se compose des éléments suivants :

- Les points relevés, qui représentent, pour chaque opérateur, la différence entre les mesures minimales et maximales sur chaque échantillon. Si les mesures sont identiques, l'étendue est égale à 0. Les points sont tracés par opérateur, ce qui vous permet de comparer la cohérence de chaque opérateur.
- La ligne centrale, qui est la moyenne générale des étendues (moyenne de toutes les étendues des sous-groupes).
- Les limites de contrôle (LCS et LCI) des étendues des sous-groupes. Ces limites sont calculées à l'aide de la variation à l'intérieur des sous-groupes.

Si des points de la carte R se situent au-dessus de la limite de contrôle supérieure (LCS), l'opérateur a des difficultés pour obtenir des mesures régulières des échantillons. La limite LCS prend en compte le nombre de mesures d'un échantillon par chaque opérateur. Si les opérateurs obtiennent des mesures régulières, les étendues sont petites par rapport aux données et les points se situent à l'intérieur des limites de contrôle.

3.2.3. Carte X barre

La carte X barre compare la variation de l'échantillon à échantillon à la composante de répétabilité. La carte X barre se compose des éléments suivants :

- Les points relevés, qui représentent, pour chaque opérateur, la mesure moyenne sur chaque échantillon.
- La ligne centrale, qui est la moyenne globale des mesures de tous les échantillons par tous les opérateurs.
- Les limites de contrôle (LCI et LCS), basées sur l'estimation de répétabilité et sur le nombre de mesures dans chaque moyenne.

Cette carte X barre ne doit pas être interpréter de la même manière que la carte X barre des cartes de contrôle. Ici, on doit trouver les points qui se trouvent en dehors des limites de contrôle pour prouver que la grande variabilité du système de mesure est due à la variabilité entre les échantillons eux-mêmes et que le système de mesure peut faire une distinction entre les échantillons. Mais par contre les points sur la carte R doivent être entre les limites de contrôle, ce qui montre que les analyses obtiennent des résultats compatibles.

3.2.4. Interaction Opérateur par échantillon

Le diagramme Interaction Opérateur-pièce affiche les mesures moyennes effectuées par chaque opérateur pour chaque échantillon. Chaque ligne relie les moyennes d'un opérateur unique.
Dans une configuration optimale, les lignes coïncident et les moyennes des échantillons varient suffisamment pour que des différences apparaissent nettement entre celles-ci.

Ce schéma…..	Indique que….
Les lignes sont pratiquement identiques	Les opérateurs obtiennent des mesures similaires pour les échantillons.
Une ligne se trouve toujours au-dessus ou au-dessous des autres.	Un analyste obtient des mesures d'échantillons systématiquement supérieures ou inférieures aux mesures des autres analystes.
Les lignes ne sont pas parallèles ou se croisent.	L'analyste peut effectuer une mesure dépend de l'échantillon mesuré (une interaction existe entre analyste et échantillon).

Tableau 5: interprétation du graphique de l'interaction échantillon-analyste

3.2.5. Mesure par analyste

Le diagramme par analyste permet de déterminer si les mesures et la variabilité sont homogènes parmi les analystes.
Le graphique par analyste organise toutes les mesures de l'étude par analyste. Les points représentent les mesures, tandis que les cercles représentent les moyennes. Une ligne relie les mesures moyennes pour chaque analyste.

Nature de ligne	Alors….
Parallèle à l'axe des X	En moyenne, les analystes obtiennent des mesures similaires pour les échantillons.
Non parallèle à l'axe des X	En moyenne, les analystes obtiennent des

mesures différentes pour les échantillons.

Tableau 6: interprétation du graphique mesure par analyste

Ce graphique permet également de déterminer si la variabilité globale dans les mesures des pièces pour chaque opérateur est la même :

- La dispersion dans les mesures est-elle similaire ?
- Les mesures d'un analyste varient-elles plus que celles des autres analystes ?

3.2.6. Mesures par échantillons

Le diagramme par échantillon organise toutes les mesures de l'étude par échantillon. Les mesures sont représentées par des cercles vides, les moyennes par des cercles pleins. La ligne relie les mesures moyennes pour chaque échantillon.

Dans une configuration optimale :

- Les diverses mesures de chaque échantillon montrent peu de variation (les cercles vides associés à chaque échantillon sont proches les uns des autres).
- Les moyennes varient suffisamment pour que des différences apparaissent nettement entre les échantillons.

Remarque : pour une faible variation du système de mesure, nous trouvons les graphiques qui sont comme suit :

Graphique	Schéma
R-barre	Etendu moyenne petite
Carte X-barre	Limites de contrôle étroites et de nombreux points hors contrôle
Par échantillon	Mesure très similaires pour chaque échantillon pour l'ensemble des analystes et nettes différences entre les échantillons.
Par analyste	Ligne horizontale
Analyste par échantillon	Lignes superposées

Tableau 7: interprétation du graphique mesure par échantillons

CHAPITRE V : ETUDE DE LA CAPABILITE

La capabilité est une notion utilisée pour la maîtrise statistique des procédés et qui semble provenir de l'industrie automobile américaine dans les années 70. La capabilité d'un processus de production se définit comme l'adéquation d'une machine ou d'un processus à réaliser une performance demandée. Elle permet de mesurer la capacité d'une machine ou d'un processus à réaliser des pièces dans les limites de spécifications (défini par ses bornes inférieures et supérieures) mentionnées dans le cahier des charges. En peu de mots la capabilité du processus de production ou d'un moyen est son aptitude à respecter des spécifications.

Le concept de capabilité est certainement la notion la mieux répandue dans les ateliers de production. Les problèmes sont généralement ramenés à la question si ce moyen de production est-il oui ou non adapté aux exigences du produit qu'il est censé fabriquer. Les responsables de production ont toujours une vague idée de la qualité des machines disponibles dans l'atelier, mais ils sont incapables de mettre une valeur numérique derrière cette impression. Or il est fondamental, lorsqu'on parle de qualité, d'être précis et de savoir exactement ce dont on est capable de procéder par rapport à ce qu'on lui demande.

La notion de capabilité est trop importante dans une production moderne. Il est impératif pour toutes les entreprises d'avoir enfin un langage commun en matière de capabilité entre l'ensemble des services et des personnes de l'entreprise.

Le contrôle statistique du processus permet de garantir par des outils statistiques que le processus est sous contrôle. Il permet ainsi de garantir à tout moment des conditions de travail satisfaisantes. Il est basé sur une connaissance et un suivi du processus. Un processus est sous contrôle s'il est statistiquement stable. Pour une fabrication comportant différents procédés, l'étude porte sur chacun des procédés pris séparément, sur le principe d'éléments placés en série.

Une capabilité s'exprime par un chiffre. Elle permet de mesurer la capacité d'une machine ou d'un procédé à réaliser des pièces dans l'intervalle de tolérance fixé par le cahier des charges. Le fait d'utiliser un chiffre pour caractériser la capabilité est fondamental. Un chiffre est objectif, il n'est pas sujet à interprétation.

1. Les règles d'échantillonnage

Dans l'étude de la capabilité, l'échantillonnage est d'une grande importance.

Pour faire un échantillonnage on doit :

- Etre sûr que le processus est stable avant de faire l'échantillonnage.
- Avoir une procédure claire pour échantillonner et mesurer.
- Identifier les mesures en ordre de production.

2. Les hypothèses pour la réalisation de l'étude de la capabilité du processus.

Pour évaluer la capabilité du processus, le processus doit premièrement passer un contrôle statistique pour détecter les causes spéciales de variation. Les indices de capabilité sont insignifiants quand les données sont prises d'un processus non contrôlé. La raison est que la capabilité du processus est prédictive. Cette étude se fait sous les hypothèses suivantes :

- Le processus doit être stable statistiquement pour pouvoir détecter les causes spéciales de variation.

- Les mesures doivent suivre une distribution normale.
- Les spécifications doivent respecter les besoins du client.
- La variabilité des mesures doit être minimisée.

3. La performance du procédé, Pp et Ppk

La performance du procédé se réfère à la variation totale issue des causes communes et des causes spéciales.

4.1. Capabilité intrinsèque du procédé Pp

Cet indicateur compare la performance attendue du procédé (l'intervalle de tolérance) et la performance obtenue sur celui-ci (la dispersion).

$$Pp = \frac{Intervalle\ de\ tolérance}{Dispersion\ long\ terme} = \frac{IT}{6\sigma}$$

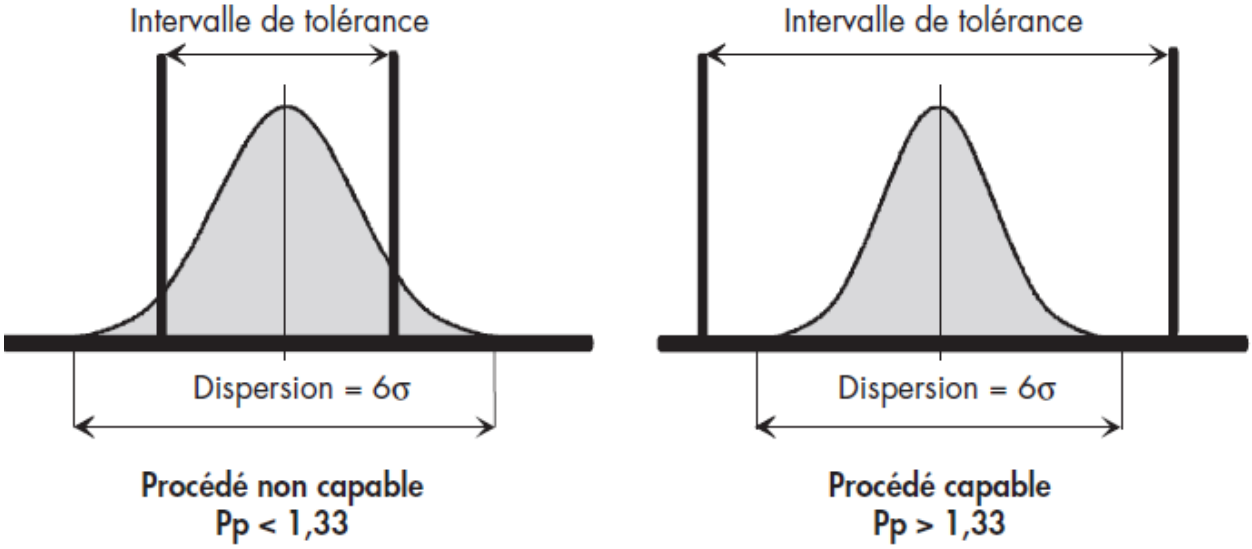


Figure 3 : Indicateur de Pp

Un procédé sera dit capable si l'intervalle de tolérance est plus grand que la dispersion aléatoire du procédé avec une petite marge, c'est-à-dire lorsque le Pp est supérieur à 1,33 (8σ/6σ).

Cette figure montre deux situations typiques. La première correspond à un procédé non capable car la dispersion est plus importante que l'intervalle de tolérance et dans la seconde, la dispersion est faible au regard de l'intervalle de tolérance, le procédé est donc capable.

Précisons que la dispersion aléatoire est prise comme étant égale à six fois l'écart type de la dispersion du procédé, c'est-à-dire l'intervalle contenant 99,7 % des pièces fabriquées. Pour calculer cette dispersion, il faut donc un nombre suffisamment élevé de mesures (une centaine) et vérifier que la distribution de ces mesures a bien une forme de cloche. Si ce n'est pas le cas, on peut toujours calculer le Pp, mais on ne peut plus en déduire le pourcentage hors tolérance.

La dispersion utilisée pour le calcul de la performance Pp est la dispersion long terme du processus. En effet, la mesure de la performance doit traduire la capacité à fabriquer des pièces sur le long terme. Il faut donc tenir compte dans le calcul de la dispersion long terme, de l'ensemble des influences qui peuvent perturber le procédé pendant le temps de production. Cette dispersion est constituée des dispersions à court terme et des dispersions consécutives aux variations de consignes (déréglages) incontournables sur le long terme. Le calcul du Pp sera donc réalisé à partir d'un

échantillon représentatif de l'ensemble d'une production. En général, la période retenue pour le calcul d'un Pp est au moins d'une semaine. Ainsi, le Pp calculé donnera une bonne indication de la qualité de la production livrée au client.

4.2. *Indicateur de déréglage Ppk*

Le Ppk est un indice de performance qui tient compte de la façon dont les données sont centrées où décentrées autour de la valeur cible ou la moyenne. L'une des conditions pour qu'un procédé soit adapté sur le long terme est que l'indicateur Pp soit supérieur à 1,33.

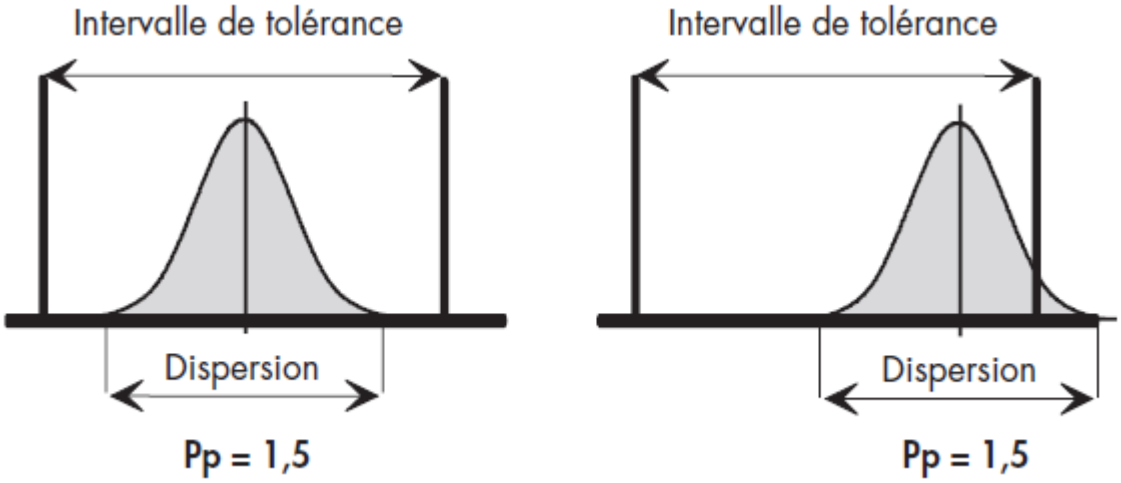


Figure 4: Nécessité de l'indicateur Ppk

Dans cette figure, les deux situations ont un Pp supérieur à 1,33, et pourtant, lorsque la production est décentrée, il existe des pièces hors tolérance. L'indicateur Pp est donc insuffisant et il faut mettre en place un autre indicateur Ppk, qui tiendra compte du déréglage du procédé.
Ainsi, le Pp donnera la performance intrinsèque du procédé et le Ppk donnera la performance réelle.

Cet indicateur devra être aussi simple d'interprétation que le Pp, c'est-à-dire que le procédé sera capable si Ppk est supérieur à 1 (dans un premier temps). Bien sûr, comme pour le Pp, un Ppk de 1 sera trop risqué, nous retiendrons comme limite de capabilité 1,33.

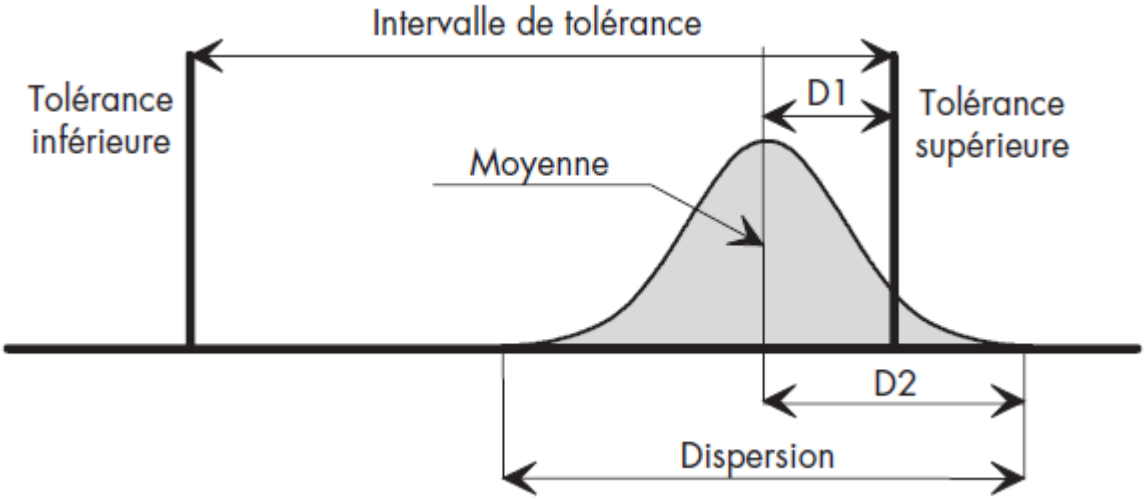


Figure 5: Procédé déréglé du côté supérieur à la moyenne

Sur cette figure, le procédé est déréglé du côté supérieur à la moyenne. Dans ce cas, on note que la production est capable tant que la distance D1 (Tolérance Supérieure – Moyenne) est plus grande que la distance D2 (moitié de la dispersion aléatoire). Le Ppk est donc un indicateur qui compare les deux distances D1 et D2 en établissant le rapport entre les deux distances. Dans le cas d'un déréglage du côté inférieur à la moyenne, ce n'est plus la distance D1 qu'il faudra considérer, mais une distance D'1 (Moyenne – Tolérance inférieure).

$$Ppk = \frac{Dis\tan ce(Moyenne / Limite\ la\ \ plus\ \ proche)}{\frac{1}{2}\times(dispersion\ \ globale)} = \min\left(\frac{TS-\overline{X}}{3\sigma.};\frac{\overline{X}-TI}{3\sigma}\right)$$

Avec :

TS : Limite de tolérance supérieure
TI : Limite de tolérance inférieure

4.2.1. Interprétation de Pp et Ppk

Un procédé, pour être capable, ne doit pas produire d'articles défectueux. Le critère de base pour la capabilité sera donc le Ppk qui inclut à la fois la capabilité intrinsèque et le déréglage. Nous retiendrons comme limite de capabilité : Un procédé est capable si son Ppk est supérieur à 1,33. Mais il ne faut pas pour autant négliger le Pp. En effet, en comparant pour un procédé le Pp et le Ppk, nous pouvons obtenir de précieux renseignements. En cas de réglage parfait, on vérifie aisément que Pp = Ppk. En revanche, plus le déréglage est important et plus la différence entre Pp et Ppk devient importante. L'objectif des opérateurs sera donc d'avoir un Ppk le plus proche possible du Pp.

5. Evaluation de la capabilité en production Cp et Cpk

Cp et Cpk sont des indices pour mesurer la capabilité du process en tenant compte de toutes les sources de variation possibles. Au cours d'une semaine de production, on dissocie deux types de dispersion : la dispersion court terme, et la dispersion long terme.

La dispersion court terme est principalement due à la machine et aux conditions retenues dans la gamme de fabrication. Les cinq M contribuent à cette dispersion, mais tout au long de la semaine de production, les « M » (température, changement de lot de matière, d'équipe...) créent des variations de réglage. La dispersion mesurée sur une semaine de production est donc plus importante que la dispersion mesurée sur un temps très court. Pour différencier ces deux dispersions, nous parlerons de dispersion court terme et de dispersion long terme. Ce qui est livré au client est donc bien la dispersion long terme qui inclut la dispersion court terme plus ces variations de réglage. La Performance procédé (Pp et Ppk) s'intéressait à la dispersion long terme, la Capabilité procédé (Cp et Cpk) va s'intéresser à la dispersion court terme.

Pour calculer les indicateurs Cp et Cpk, on mène une étude de dispersion sur une courte période (Milieu), dans une matière uniforme, avec un opérateur averti (Main d'œuvre) et avec les mêmes Méthodes. Cette étude peut s'effectuer de deux manières différentes.

5.1. Première méthode

On prélève une cinquantaine de pièces consécutives fabriquées par la machine étudiée et on mesure la dispersion obtenue sur cet échantillon. Cette dispersion nous permet de calculer Cp et Cpk avec les mêmes relations que Pp et Ppk. On aura donc les relations suivantes :

$$Cp = \frac{Intervalle\ de\ tolérance}{dispersion\ court\ terme\ de\ la\ machine} = \frac{TS - TI}{6\sigma}$$

$$Cpk = \frac{\text{Distance(Moyenne/Limite la plus proche)}}{\frac{1}{2} \times \text{dispersion court terme de la machine}} = \min\left(\frac{TS-\bar{X}}{3\sigma}; \frac{\bar{X}-TI}{3\sigma}\right)$$

Cette méthode n'est possible que si la cadence de la machine est suffisamment rapide pour ne laisser subsister dans cet échantillon que la dispersion court terme. Une machine pour laquelle le cycle de production serait de 5 mn par pièce, nécessiterait plus de 4 heures de production pour réaliser un tel essai. On ne peut plus parler de court terme dans ces conditions, cette méthode ne conviendrait pas dans ce cas.

5.2. Deuxième méthode

La deuxième méthode pour mesurer la dispersion court terme, consiste à prélever de petits échantillons (3 échantillons consécutives par exemple) à intervalles réguliers ou consécutifs, mais sans action sur le procédé pendant la production de ces trois pièces. En revanche, il peut y avoir des actions de réglage entre deux échantillons. Dans ce cas, la dispersion court terme sera calculée à partir de la moyenne des variances estimées à l'aide des échantillons.

6. Des indicateurs liés à la valeur cible : le Cpm et le Ppm

Les indicateurs de capabilité Cp, Cpk, Pp, Ppk sont aujourd'hui couramment admis comme les indicateurs de capabilité de référence. Pourtant, les nouvelles contraintes de la production font apparaître les limites de ces indicateurs. Nous pensons en effet que, dans certains cas, un Ppk de bon niveau (Ppk = 2) peut donner moins de satisfaction qu'un Ppk considéré comme limite (Ppk de 1,33). Dans les relations clients/fournisseurs établies sur le Ppk, les deux productions donnent satisfaction. Pourtant une des productions est centrée avec le maximum de densité de probabilité sur la valeur cible, alors que la seconde est décentrée et la densité de probabilité au voisinage de la valeur cible est pratiquement nulle.

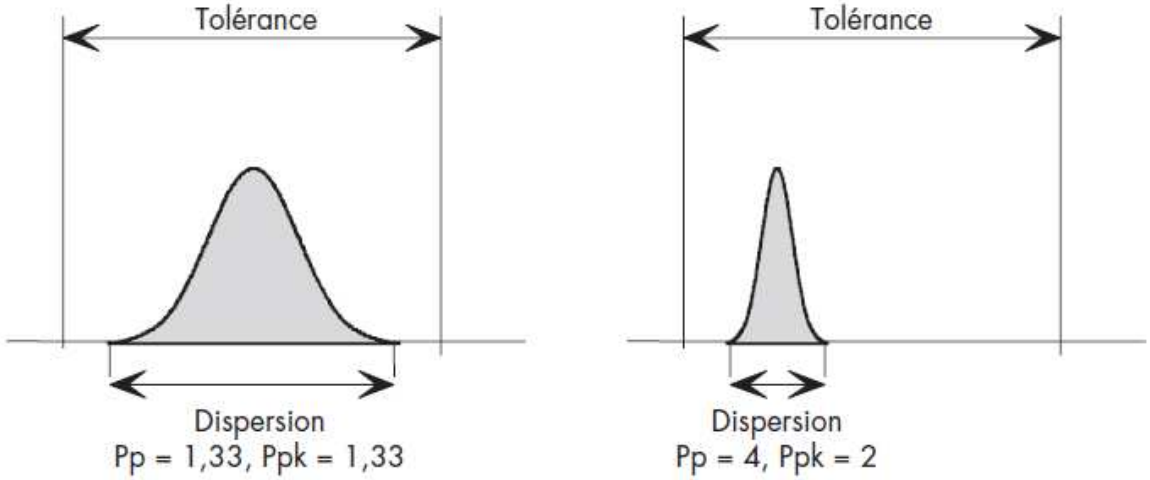


Figure 6: Insuffisance de Ppk

Pour tenir compte de cette évolution dans la façon de voir l'intervalle de tolérance en fabrication, les indicateurs de capabilité Cp, Cpk pour le court terme et Pp, Ppk pour le long terme doivent être complétés. Un autre indicateur commence à être largement utilisé dans les entreprises : l'indicateur Cpm qui tient compte à la fois de la dispersion et du centrage. Son objectif est de donner une image globale du procédé par un seul indicateur. Il assure que les conditions de centrage et de dispersion minimum dont nous avons signalé l'importance, sont respectées.
Le nouvel indicateur Cpm reflète la perte due à un déréglage. Cpm est défini par :

$$Cpm = \frac{IT}{6\times\sqrt{\sigma^2 + \left(\overline{X} - Cible\right)^2}} = \frac{Cp}{\sqrt{1+9\left(Cp - Cpk\right)^2}}$$

La fonction perte intervient au dénominateur. On note que l'indicateur Cpm est égal à Cp lorsque le procédé est parfaitement centré. Cpm décroît lorsque le décentrage augmente. Comme on le constate, Cpm tient compte à la fois du centrage et de la dispersion. On définit de la même façon l'indicateur Ppm à partir des données long terme.

$$Ppm = \frac{IT}{6\times\sqrt{\sigma^2 + \left(\overline{X} - Cible\right)^2}} = \frac{Pp}{\sqrt{1+9\left(Pp - Ppk\right)^2}}$$

En garantissant le Ppm, on assure que le procédé est réellement centré sur la cible. La variabilité sur le produit fini sera faible. Le Ppm valide une nouvelle façon de voir l'intervalle de tolérance en fabrication. En effet, avoir une cote en limite de tolérance n'est pas grave si cette pièce est isolée. La probabilité d'assemblages défectueux est quasiment nulle. Par contre si plusieurs pièces se situent à cette limite, il y aura des conséquences néfastes sur la qualité. Ainsi, le concepteur a deux solutions pour obtenir l'assurance d'un fonctionnement correct de son mécanisme:

- Réduire l'intervalle de tolérance et imposer que les produits soient tous dans cet intervalle quelle que soit la répartition ;
- Laisser un intervalle de tolérance large, mais en imposant à la fabrication des conditions de centrage et de répartition verrouillées par le Ppm.

Bien que la seconde solution semble plus difficile à respecter a priori, nous sommes persuadés qu'à long terme cette solution est de loin la plus économique en matière de moyens de production à mettre en œuvre. Cependant, si le Ppm offre une vision plus moderne des capabilités que le Pp, Ppk, il ne les remplace pas pour autant, mais plutôt il les complète.

7. La chute des capabilités

L'analyse des chutes de capabilité pour un procédé est souvent très intéressante. En effet, nous partons d'un procédé avec un potentiel de capabilité Cp pour arriver à un produit livré au client avec une capabilité Ppk. L'important est bien entendu d'avoir un Ppk ou un Ppm supérieur à 1,33 selon le critère choisi. Si ce n'est pas le cas, pour résoudre le problème, il est fondamental de déterminer l'origine de ce manque de capabilité. La chute de capabilité entre Cp et Pp traduit l'instabilité du procédé. En effet, si on sait stabiliser un procédé, on limite les variations de consigne. Comme effet, la dispersion long terme sera proche de la dispersion court terme.

PARTIE PRATIQUE

INTRODUCTION

Cette partie concerne l'ensemble de tout le travail que j'ai effectué pendant ce stage, les résultats des analyses que j'ai fait et leur interprétation. Pour évaluer le bon fonctionnement du CarboBlender, nous avons mesuré les deux paramètres qui caractérisent le phénomène de carbonatation et celui du coupage. Ces deux paramètres sont la quantité de CO_2 et l'extrait primitif respectivement correspondant avec les phénomènes de carbonatation et de coupage.

Le CarboBlender fonctionne de façon qu'il ne puisse pas fournir des résultats de ces paramètres immédiatement ou en ligne. En revanche pour mesurer ces paramètres, deux autres

appareils s'avèrent nécessaires : un appareil pour le mesure de CO_2 et un autre pour la mesure de l'extrait primitif.

La quantité du CO_2 barboté dans la bière est mesurée sur la cuve de bière claire, après le remplissage de cette dernière pour s'assurer que la quantité de CO_2 est homogène dans toute la cuve. L'appareil utilisé pour le mesurage de la quantité de CO_2 est le c-DGM (CO2 Digital Gehalte Metter), marque Norit Haffmans. L'extrait primitif en son tour est mesuré au laboratoire physico chimique à l'aide de l'appareil appelé DMA (Density Meter Accuracy).

La Bralirwa dans ses tests d'évaluation de la performance, utilise la méthode de mesure de l'extrait avec l'appareil DMA. Nous avons utilisé les résultats de HARA pour la mesure de l'extrait primitif afin de voir si cette méthode fournit des résultats justes. Quant à la mesure de CO_2, Bralirwa effectue Ces mesures sur les bouteilles avec un appareil différent de celui utilisé pour les mesures sur les cuves de bière claire.

CHAPITRE I : INTERPRETATION DE HARA ET ETUDE DE LA JUSTESSE DES RESULTATS FOURNIS AVEC LE DMA

1. Interprétation de HARA

Les résultats du Heineken Analytical Ring Analysis de Bralirwa Ltd (round d'Avril 2011 jusqu'en Mars 2012) sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Rang	Composante	Résultat	2<|Z|<3	|Z|>3	ZZ	ZZ%	Classification
# 1	Extrait Primitif 02.12.04.049 (Alcolyzer)	12	0	0	0	0	
# 1	Extrait Primitif Tous les méthodes	12	0	0	0	0	
# 1	Alcool par Volume 02.12.04.048 (alcolyzer)	12	0	0	0	0	
1	Alcool par Volume Tous les méthodes	12	0	0	0	0	
# 9	Extrait Apparent 02.12.04.049 (Alcolyzer)	12	1	0	0,5	4,1	Excellent
9	Extrait Apparent tous les Méthodes	12	1	0	0,5	4,1	Excellent
9	Extrait Apparent aprèsttenuation limite 02.12.04.007	12	1	0	0,5	4,1	Excellent
1	Dioxyde de Carbone 02.12.04.020	11	0	0	0	0	
1	Amertume 02.12.04.008	12	0	0	0	0	
9	Couleur (430 nm) 02.12.04.009	12	1	0	0,5	4,1	Excellent
1	pH (degazé) 02.12.04.010	12	0	0	0	0	
15	Turbidité 0°C 02.12.04.030 (Red Light)	11	2	1	2	18,1	Très mauvais
14	Turbidité 0°C après 7ours à 57°C 02.12.04.031 (Red Light)	9	1	1	1,5	16,6	Très mauvais
9	Stabilité de la mousse 02.12.04.015	12	1	0	0,5	4,1	Excellent
1	Cétones vicinales 02.12.04.043	12	0	0	0	0	

Tableau 8: Résultats de HARA du round Avril 2011-Mars 2012

Remarque : Les composantes marquées par # ne font pas partie du calcul de ZZ-score.

1.1. Calcul de ZZ et ZZ%

$$ZZ = Z1 + \frac{1}{2} \times Z2$$

$$ZZ\% = \frac{\left(Z1 + \frac{1}{2} \times Z2\right)}{N} \times 100$$

Avec :

Z1 : nombre de fois d'obtention de |Z|>3
Z2 : nombre de fois d'obtention de 2<|Z|<3

Résultats	2<|Z|<3	|Z|>3	ZZ	ZZ%	Classification
139	7	2	5,5	3,9	Excellent

Tableau 9: Résultats de HARA pour le round Avril 2011 jusqu'en Mars 2012

Bralirwa par ses résultats a été classé parmi les laboratoires qui excellent dans leurs méthodes d'analyse sans oublier qu'elle a du mal à bien mesurer « la turbidité à 0°C » avec la méthode Infra Rouge 02.12.04.030 et « la turbidité 0°C après 7 jours à 57°C » avec la méthode Infra Rouge 02.12.04.031.

1.2. Etude de la justesse

Comme le principe de HARA reposé sur l'évaluation de la performance d'un laboratoire en comparant ses résultats avec les résultats des autres laboratoires, nous avons utilisés les résultats de l'extrait primitif obtenus par BRALIRWA sur une période de 15 mois (du Janvier 2011 jusqu'en Mars 2012) et on les comparer avec les valeurs cibles pour chaque mois. Nous avons effectué un test d'égalité de deux moyennes pour évaluer la précision des mesures fournies par le DMA.

Bralirwa	12,11	11,55	13,83	9,13	11,33	11,32	11,46	11,33	7,42	7,51	10,65	11,42	10,36	10,31	10,61
HARA	12,28	11,58	13,92	9,12	11,38	11,29	11,5	11,32	7,39	7,53	10,59	11,41	10,39	10,32	10,62

Tableau 10: Résultats de HARA pour 15 mois.

1.3. Test d'égalité de deux moyennes (Test de Student)

	Bralirwa	HARA
Moyenne	10,689	10,709
Variance	2,747	2,838
Degré de liberté	14	14
Statistique t	-1,394	

T critique	1,761

Tableau 11: Résultats du test de Student

A un niveau de confiance de 95%, t observé est inférieur à t critique, et donc les résultats obtenus par BRALIRWA à l'aide de l'appareil DMA en mesurant l'extrait primitif ne sont pas significativement différents des résultats des valeurs cibles de l'ensemble des laboratoires de tous les brasseries de Heineken ayant participés au HARA et utilisant cette méthode de mesure de l'extrait primitif avec le même appareil. Et donc les résultats fournit pas le DMA sont considérés justes.

CHAPITRE II : EVALUATION DES SYSTEMES DE MESURE

Dans le cadre d'être sûr que les résultats fournis par les appareils de mesure de la quantité de CO_2 et de l'extrait primitif sont acceptables, nous avons fait l'étude R&R des systèmes de mesure.

1. Etude de R&R de c-DGM

Les échantillons ont été pris aléatoirement des cinq cuves de bière claire de turbo king par trois analystes. Chaque analyste a pris trois échantillons sur une même cuve afin de pouvoir étudier la répétabilité et la reproductibilité du système de mesure de CO_2. La quantité de CO_2 a été mesuré à l'aide de l'appareil appelé c-DGM qu'on raccorde sur la cuve de bière claire et les résultats tels que le CO_2, le O_2, la température et la pression de la bière s'affichent sur son écran en g/l. Notons que les spécifications limites pour la bière Turbo King sont : [0,55-0,58] g/l. Les résultats obtenus sont :

Echantillons	1			2			3			4			5			6		
Analyste 1	0,582	0,581	0,583	0,553	0,552	0,549	0,542	0,546	0,558	0,59	0,591	0,592	0,59	0,587	0,588	0,551	0,549	0,549
Analyste 2	0,583	0,585	0,581	0,549	0,541	0,548	0,567	0,572	0,573	0,597	0,597	0,611	0,589	0,595	0,594	0,556	0,55	0,559
Analyste 3	0,552	0,554	0,554	0,589	0,579	0,577	0,573	0,567	0,569	0,601	0,609	0,599	0,553	0,558	0,555	0,602	0,597	0,6

Tableau 12: Résultats d'analyses de Turbo King pour l'étude R&R de c-DGM.

1.1. Analyse des données avec Minitab

1.1.1. Méthode ANOVA- Gage R&R

Sources de variation	**ddl**	**SCE**	**MCE**	**F**	**p-value**
Echantillons	4	0,0008184	0,0002046	2,1763	0,162
Analystes	2	0,0001542	0,0000771	0,8200	0,474
Echantillon*Analystes	8	0,0007520	0,0000940	22,8662	0,000
Répétabilité	30	0,0001233	0,0000041		
Totale	44	0,0018479			

Tableau 13: Table Anova pour R&R de c-DGM

Source de variation	**Composantes de la Variance (Comp Var)**	**% Contribution de Comp Var**
R&R Total	0,0000341	73,50
Répétabilité	0,0000041	8,87
Reproductibilité	0,0000300	64,63
Analystes	0,0000000	64,63
Analystes* Echantillons	0,0000300	64,63
Echantillons à échantillons	0,0000123	26,50
Variation totale	0,0000464	100,00

Tableau 14: Les composantes de la variance pour R&R de c-DGM

Sources de variation	**Ecart-type(σ)**	**Etude de la variance (6σ)**	**% Etude de la variance (% EV)**	**%Tolérance (EV/Toler)**
R&R Total	0,0058375	0,0350248	85,73	70,05
Répétabilité	0,0020276	0,0121655	29,78	24,33
Reproductibilité	0,0054740	0,0328441	80,39	65,69

Analystes	0,0000000	0,0000000	0,00	0,00
Analystes*Echantillons	0,0054740	0,0328441	80,39	65,69
Echantillon à échantillon	0,0035053	0,0210317	51,48	42,06
Variation totale	0,0068090	0,0408542	100,00	81,71

Tableau 15: Etude de la variation pour R&R de c-DGM

1.1.2. Méthode graphique

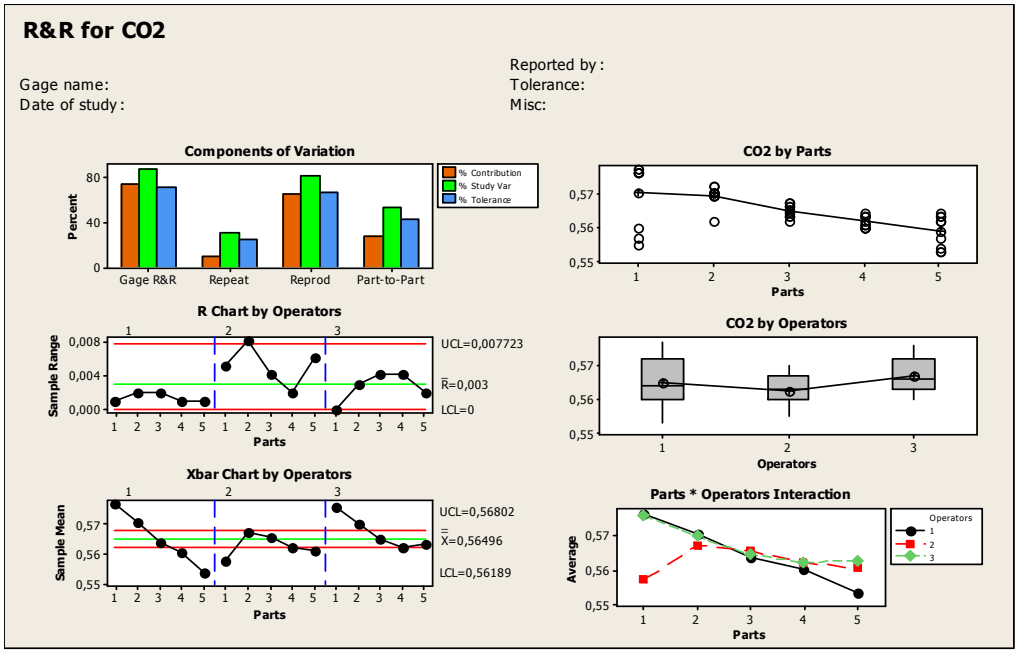


Figure 7: Graphiques de l'étude R&R de c-DGM

1.2. Interprétation des résultats

D'après les guides d'interprétation de l'étude de R&R du système de mesure :

- La plus grande contribution de la variabilité du système de mesure est due à la répétabilité et à la Reproductibilité. Ce qui n'est pas un cas idéal.
- % Etude Var et % Tolérance qui sont supérieurs à 30% impliquent que le système de mesure est inacceptable.
- Le système de mesure est capable de distinguer seulement 1 type d'échantillon. Il ne peut pas effectuer une distinction entre les échantillons car le nombre de catégories distinctes est inférieur à 2 ; ce système est donc inadéquat.
- Le graphique des composantes de la variation montre que la plus grande contribution de la variabilité du système de mesure est due à l'instrument de mesure : Gage R&R.

- La carte R montre que tous les points ne sont pas à l'intérieur des limites de contrôle ; et ces points ne sont pas distribués de la même façon autour de la moyenne ce qui implique que les opérateurs n'ont pas mesurés tous échantillons de la même façon.
- La carte Xbar montre que la majorité des points sont en dehors des limites de contrôle, ce qui signifie que le système de mesure peut discriminer les différents échantillons choisis pour l'étude de R&R.
- Les mesures de CO_2 varient trop pour les échantillons 1, ceux-ci peut être dû à la façon dont on a effectué les mesures ou à l'appareil de mesure lui-même.

Conclusion : On ne peut pas avoir confiance en ces résultats obtenus lors de cette étude. Pour la corriger ce problème, une étude des causes spéciales de cette variation doit être mis en place.

2. Etude R&R de l'appareil de DMA

Pour évaluer l'acceptabilité des mesures que fournit l'appareil DMA nous avons fait une étude de R&R de l'extrait primitif sur le produit fini. Les échantillons ont été pris des bières en bouteilles et celles qui ont été soutirées de différentes cuves de bières claires. La bière échantillonnée est l'Amstel dont la valeur cible en extrait primitif est de 11,15±0,15°P. Trois opérateurs mesuraient les échantillons et répétaient les analyses 3 fois ; le premier opérateur mesurait tous les échantillons et répétait les mesures de tous les échantillons trois fois dans un ordre aléatoire; le 2ème opérateur mesurait et répétait les mesures de tous les échantillons trois fois dans un ordre aléatoire différent du premier opérateur et le dernier opérateur imitait les deux premiers en effectuant les mesures dans un ordre aléatoire différent de ces deux autres.

Les résultats obtenus pour les trois opérateurs sont dans le tableau suivant :

Echantillons	Analyste 1	Analyste 2	Analyste 3
1	11,17	11,17	11,15
	11,17	11,18	11,15
	11,18	11,17	11,14
2	11,1	11,11	11,12
	11,11	11,12	11,1
	11,11	11,12	11,11
3	11,09	11,09	11,08
	11,1	11,1	11,08
	11,09	11,09	11,07

4	11,08	11,1	11,07
	11,09	11,1	11,07
	11,08	11,09	11,07
5	11,29	11,27	11,28
	11,29	11,27	11,26
	11,28	11,26	11,27
6	11,1	11,09	11,07
	11,1	11,1	11,06
	11,1	11,09	11,07
7	11,29	11,29	11,28
	11,28	11,28	11,28
	11,3	11,27	11,27
8	11,32	11,31	11,3
	11,31	11,31	11,29
	11,3	11,3	11,29
9	11,15	11,16	11,19
	11,17	11,16	11,18
	11,17	11,17	11,18
10	11,18	11,18	11,17
	11,18	11,18	11,16
	11,18	11,17	11,16

Tableau 16: Résultats pour l'étude R&R de DMA

2.1. Analyse des données avec Minitab

2.1.1. Méthode ANOVA-Gage R&R

Source	ddl	SCE	MCE	F	p-value
Echantillons	9	0,592846	0,0658717	245,090	0,000
Analystes	2	0,002940	0,0014700	5,469	0,014
Echantillon-analystes	18	0,004838	0,0002688	6,047	0,000
Répétabilité	60	0,002667	0,0000444		
Totale	89	0,603290			

Tableau 17: Table Anova pour R&R de DMA

Source	Composantes de la variance (Comp Var)	%Contribution de Comp. Var
R&R Total	0,0001593	2,14
Répétabilité	0,0000444	0,60

Reproductibilité	0,0001148	1,54
Analystes	0,0000400	0,54
Analystes-échantillons	0,0000748	1,00
Echantillon à échantillon	0,0072892	97,86
Variation totale	0,0074485	100,00

Tableau 18:Les composantes de la variation pour R&R de DMA

Sources de variation	Ecart-type(σ)	Etude de variance(6σ)	%Etude variance(%EV)	% Tolerance (EV/Toler)
R&R Total	0,0126198	0,075719	14,62	25,24
Répétabilité	0,0066667	0,040000	7,72	13,33
Reproductibilité	0,0107152	0,064291	12,42	21,43
Analystes	0,0063278	0,037967	7,33	12,66
Analystes*Echantillon	0,0086472	0,051883	10,02	17,29
Echantillon à Echantillon	0,0853769	0,512262	98,93	170,75
Variation totale	0,0863046	0,517827	100,00	172,61

Tableau 19: Etude de la variation pour R&R de DMA

2.1.2. Méthode graphique

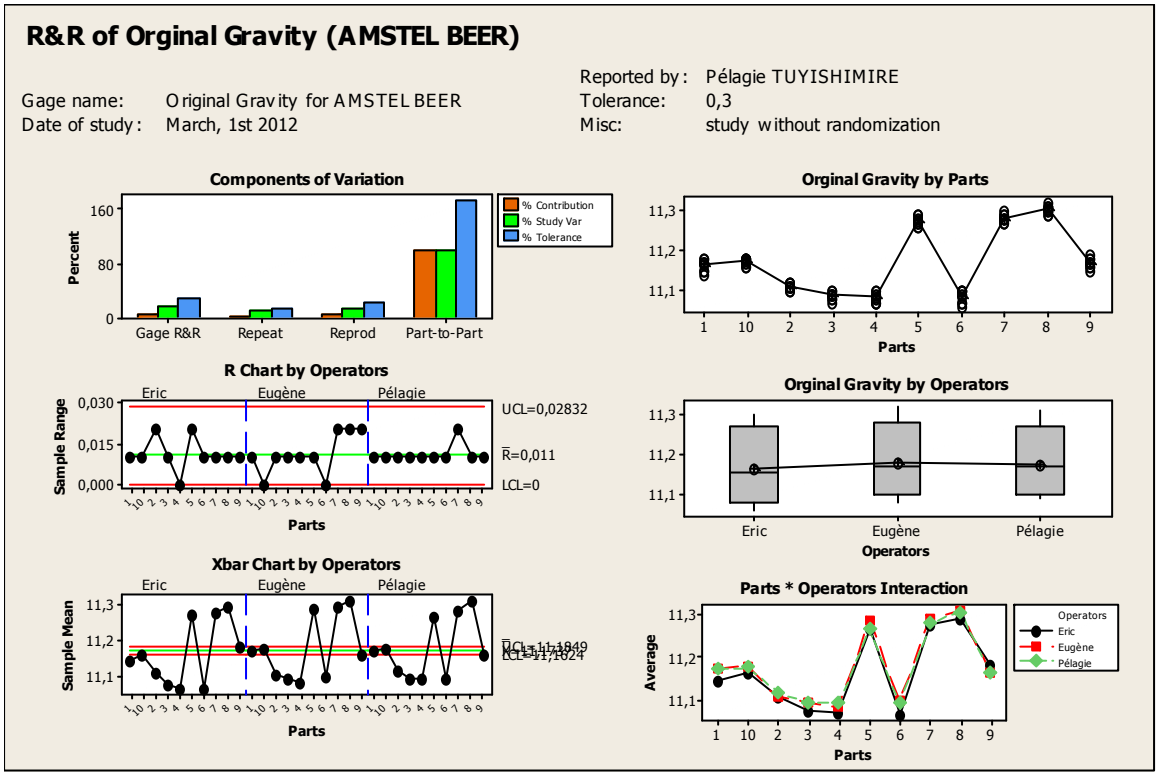


Figure 8: graphiques de l'étude R&R de DMA

2.2. Interprétation des résultats

D'après les guides d'interprétation de l'étude de R&R du système de mesure :

- La plus grande contribution de la variabilité du système de mesure est due à la différence entre les pièces (% contribution for part-to part).
- % Etude Var et % Tolérance qui sont inférieurs à 30% impliquent que le système de mesure est marginal.
- Le système de mesure est capable de distinguer 9 types d'échantillons. Il est adéquat puisque le nombre de catégories distinctes est supérieur à 5.
- Le graphique des composantes de la variation montre que la plus grande contribution de la variabilité du système de mesure est due à la variation de part-to-part.
- La carte R montre que tous les points sont en l'intérieur des limites de contrôle ce qui implique que les opérateurs mesurent tous échantillons de la même façon.
- La carte Xbar montre que la majorité des points sont en dehors des limites de contrôle, ce qui signifie que le système de mesure peut discriminer les différents échantillons choisis pour l'étude de R&R.

Conclusion: Les résultats obtenus pour cette étude de R&R confirment que l'appareil DMA utilisé pour les mesures de l'extrait primitif est acceptable et adéquat. Pour notre étude vers l'optimisation, nous n'avons continué qu'à étudier sur l'extrait primitif car c'est lui que son appareil de mesure fournit des résultats justes et sa façon de mesurer est acceptable.

CHAPITRE III : ETUDE DE LA CAPABILITE DES PROCEDES

Après avoir confirmé par une étude statistique de R&R que le système de mesure de l'extrait primitif est acceptable, nous avons continué en étudiant la capabilité du processus de coupage de la bière, donc en étudiant sur l'extrait primitif.

Dans cette partie d'analyse de la capabilité, il important de signaler que nous avons eu beaucoup de problèmes concernant la méthode d'échantillonnage à appliquer alors que c'est la première étape primordiale à faire avant d'échantillonner. Nous avons pris les échantillons dans trois endroits différents mais aucun d'entre eux n'était approprié. Faute de temps, après bien savoir le fonctionnement réel du CarboBlender, nous avons décidé d'utiliser les données antérieures pour l'étude de la capabilité.

En prenant les échantillons à la sortie du carboblender, en mesurant leur extrait au laboratoire avec l'appareil DMA et en lisant les valeurs de l'extrait primitif affiché sur le carboblender, nous avons remarqué que ces valeurs n'étaient pas correctes vu le fonctionnement de la machine qui corrigent la valeur de l'extrait à la fin du coupage de la quantité totale de la bière diluée souhaitée. Nous avons pris d'autres échantillons sur la cuve bière claire en cours de remplissage et nous avons commis les mêmes erreurs qu'auparavant puisqu'au cours du remplissage la valeur souhaitée de l'extrait n'est pas exacte tant que le processus de coupage n'a pas pris fin.

1. Echantillonnage à la sortie du CarboBlender

Les échantillons de la bière de Primus pris à la sortie du CarboBlender ont été analysés au laboratoire et ont donné des valeurs d'extrait primitif suivantes :

samples	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
OG(°P)	10,51	10,41	10,48	10,48	10,49	10,51	10,48	10,56	10,38	10,37	10,41	10,37	10,4	10,47

15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
10,49	10,47	10,76	10,58	10,34	10,47	10,46	10,52	10,48	10,42	10,8	10,43	10,5	10,41	10,46	10,39

Tableau 20: Résultats de l'extrait primitif d'échantillons pris à la sortie du CarboBlender

1.1. Analyse des données avec Minitab

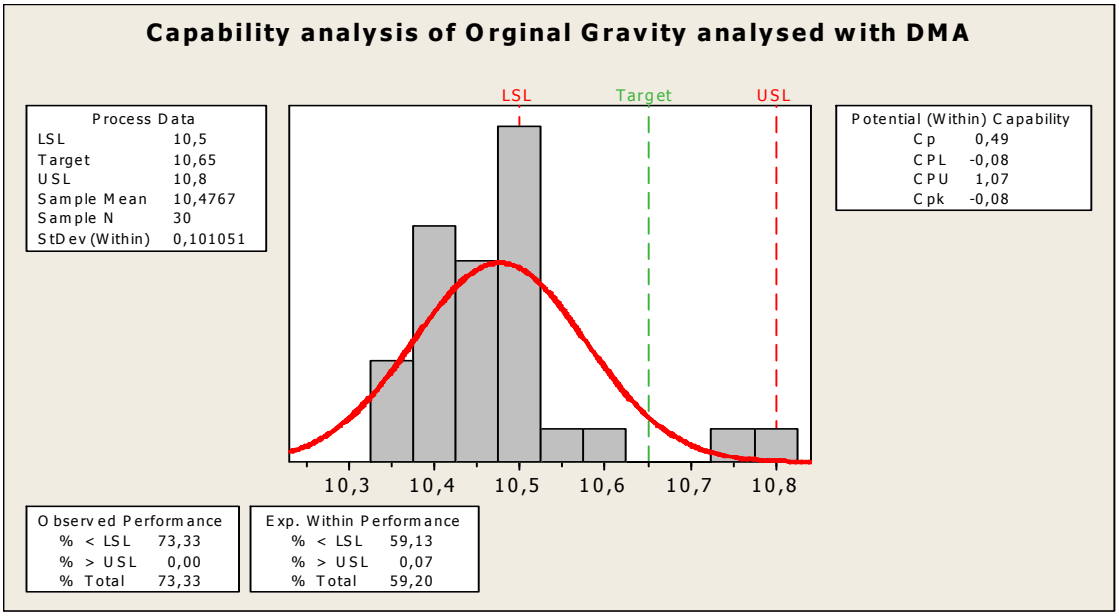


Figure 9: analyse de la capabilité d'échantillons de la sortie du CarboBlender

1.2. Interprétation des résultats

Une analyse visuelle des histogrammes de la capabilité confirme que le procédé est trop loin d'être capable, ceux-ci est dû à l'endroit où nous avons pris les échantillons. Les indices de capabilité Cp et Cpk sont très inférieurs à 1,33. Les 59,20% des mesures sont à l'extérieur de la courbe de distribution normale. Les causes de cette dispersion des échantillons par rapport aux limites de spécifications sont dues à un endroit non adéquat de prises d'échantillons.

2. Les valeurs affichées sur le CarboBlender

Les valeurs d'extrait primitif affichées sur le carboblender lors de la prise des échantillons à la sortie du CarboBlender nous ont donné les résultats suivants :

Samples	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
OG(°P)	10,66	10,62	10,66	10,64	10,65	10,67	10,71	10,69	10,69	10,64	10,53	10,62	10,71	10,64

15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
10,72	10,6	10,72	10,79	10,54	10,63	10,68	10,71	10,63	10,61	10,75	10,63	10,65	10,6	10,65	10,69

Tableau 21: Résultats d'extrait primitif affiché sur le CarboBlender

2.1. Analyse de données avec Minitab

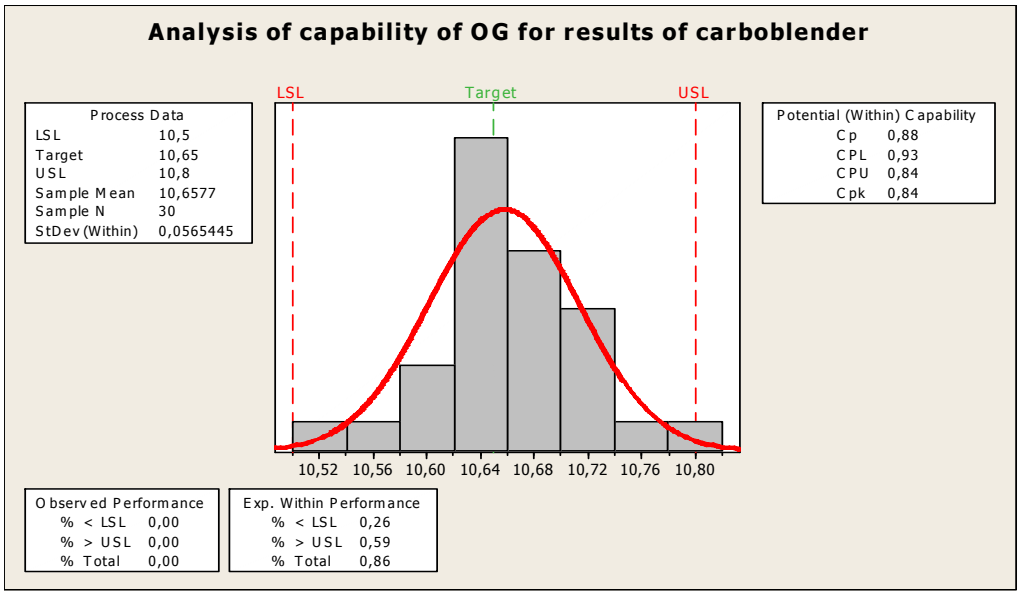


Figure 10: Analyse de la capabilité des résultats affichés sur le CarboBlendender

2.2. Interprétation des résultats

Les valeurs de Cp et Cpk sont inférieures à 1,33 ce qui signifie que le procédé n'est pas capable de fournir des résultats respectant les spécifications.

3. Echantillonnage au cours du remplissage de la cuve de bière claire

Aléatoirement, nous avons pris une série de 36 échantillons sur la cuve bière claire et nous avons mesuré l'extrait primitif au laboratoire avec DMA.

Extrait Primitif de la bière Mützig								
11,98	12,1	12,17	12,04	12,06	12,04	12,06	12,16	12,12
12,1	12,03	12,06	12,19	12,11	11,91	12,06	12	12,03
12,21	12,07	12,1	12,1	12,07	12,07	12,06	12,08	11,97
12,04	12,01	12,09	12,13	12,02	12,06	12,09	12,08	12,02

Tableau 22: Résultats de l'échantillonnage au cours du remplissage de la Cuve bière claire

3.1. Analyse des résultats avec Minitab

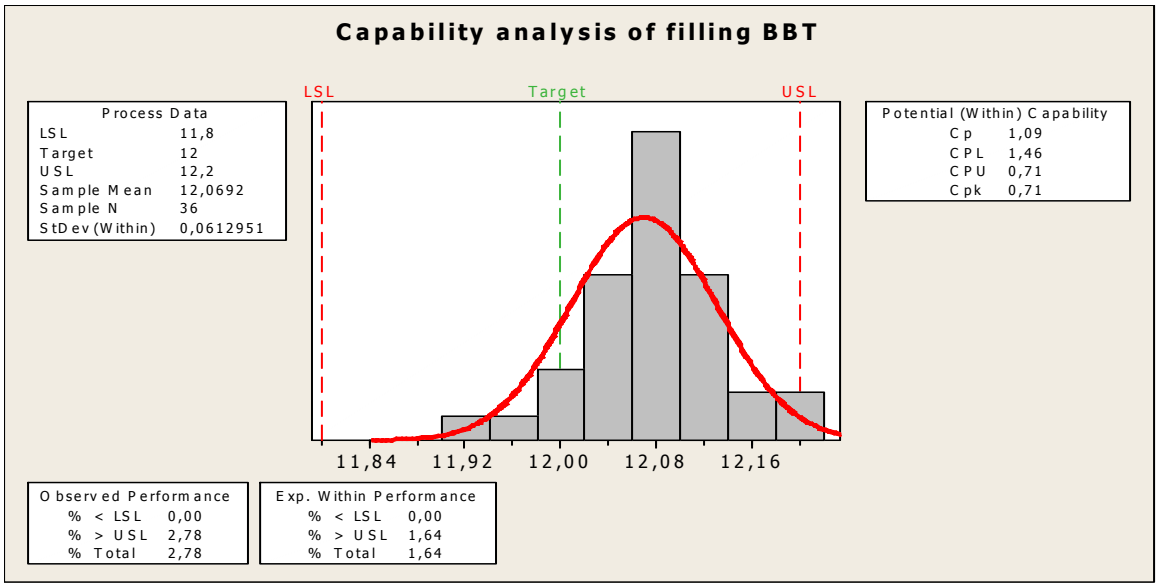


Figure 11: Analyse de capabilité des échantillons du cours de remplissage de la cuve bière claire

3.2. Interprétation des résultats

Les valeurs de Cp et Cpk sont inférieures à 1,33. La moyenne des résultats obtenus est supérieure à la valeur cible, ce qui montre qu'il y a une grande partie des produits ayant l'extrait supérieur à la valeur cible. 1,64. Les résultats sont en dehors de la courbe de distribution normale. Le procédé n'est pas capable ni centré autour de la valeur cible.

4. Obstacles et tentatives de résolution

Comme les résultats suivent bien une distribution normale, nous étions dans le cas où nous devrions attendre le remplissage de la cuve, et la stabilité de la bière pour pouvoir mieux prélever un seul échantillon respectant les spécifications. C'est pour cette raison que nous avons utilisé les résultats des échantillons de laboratoire prélevés au cours de la production de la bière Primus du 10/02 au 12/02/2012 afin d'évaluer la capabilité du processus.

EP pour Primus	10,55	10,4	10,54	10,65	10,52	10,49	10,8	10,63	10,53	10,64
	10,67	10,66	10,47	10,6	10,53	10,43	10,47	10,53	10,67	10,68

Tableau 23: Extrait primitif de Primus produit entre le 10 et 12/02/2012

Analyse des résultats et interprétation

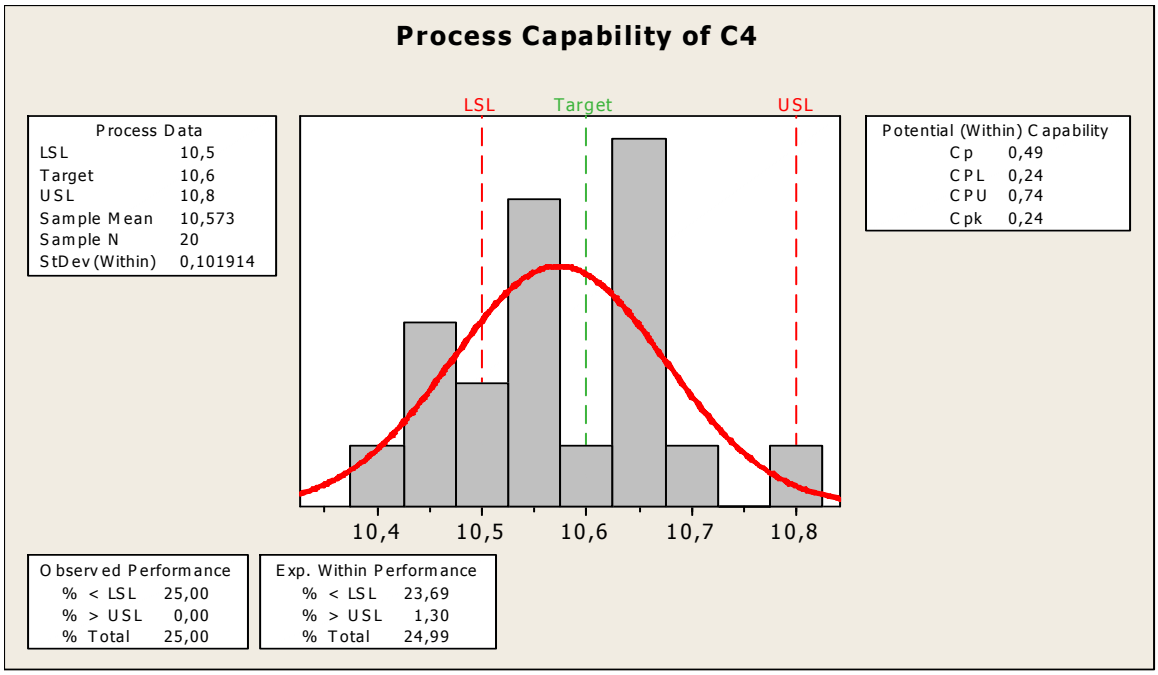


Figure 12: analyse de capabilité de l'extrait primitif de Primus produit entre le 10 et 12/02/2012

Les valeurs de Cp et de Cpk sont inférieures à 1,33 d'où le procédé n'est pas capable.

Nous avons utilisés encore d'autres données d'extrait primitif provenant de différentes cuves de bière claire de Primus produit entre le 15 et le 17/02/2012.

10,6	10,55	10,52	10,6	10,58	10,58	10,75	10,61	10,57	10,6	10,58	10,57	10,56	10,57	10,6	10,78

Tableau 24: Extrait primitif de Primus produit entre le 15 et le 17/02/2012.

Analyse des résultats et interprétation

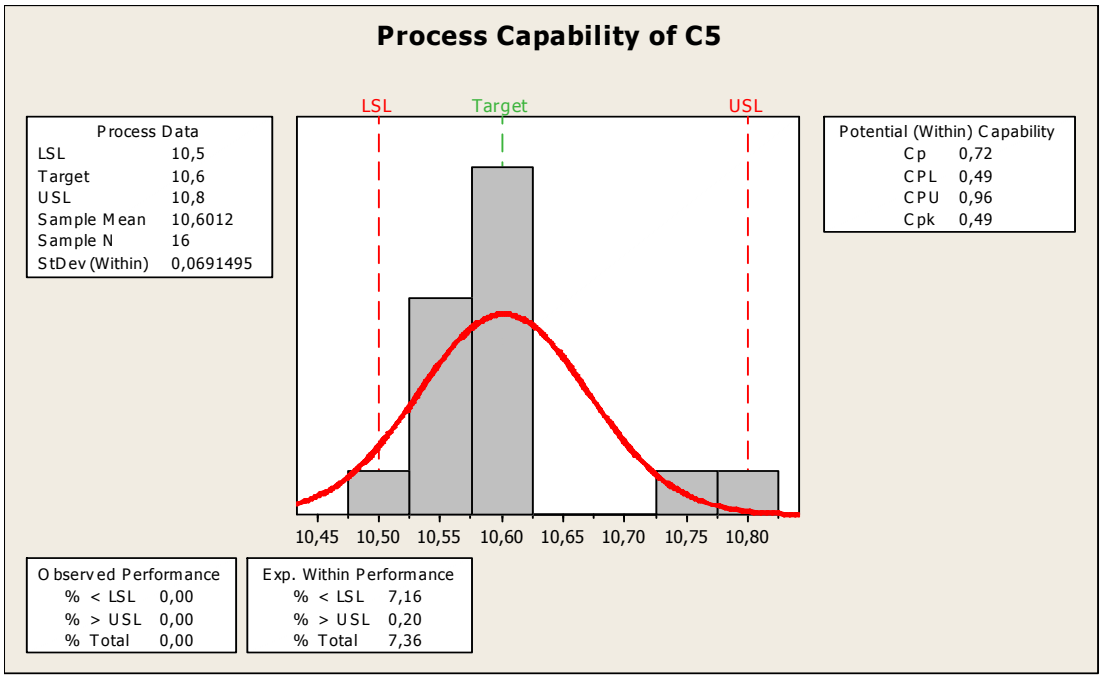


Figure 13: analyse de capabilité de Primus produit entre le 15 et le 17/02/2012.

Les valeurs de Cp et de Cpk sont toujours inférieures à 1, 33 donc le procédé n'est pas capable.

Remarque : Les résultats obtenus en analysant les anciennes données de la production de Primus, montre qu'il y a eu toujours le non-respect des spécifications des produits.

5. Etude comparative de la performance calculée au sein de la production des boissons gazeuses et la performance calculée avec Minitab

Au cours de la production des limonades, le laboratoire de production calcule chaque trente minutes la valeur du degré Brix et le volume des gaz dissout dans les boissons. La brasserie possède un logiciel qu'elle utilise pour le calcul de la performance du procédé ; elle calcul le Ppk du degré Brix et le Ppk pour les gaz dissouts et si la somme des Ppk est supérieur à 2, le laboratoire décide de livrer les produits.

Lors de la production de Coca-cola, le 21 Mars 2012, le laboratoire de Conditionnement a trouvé le Ppk=0,95 pour le Brix et Ppk=1,37 pour les gaz dissouts et leur somme est de 2,32.
Avec le logiciel Minitab, nous avons trouvés des résultats suivants :

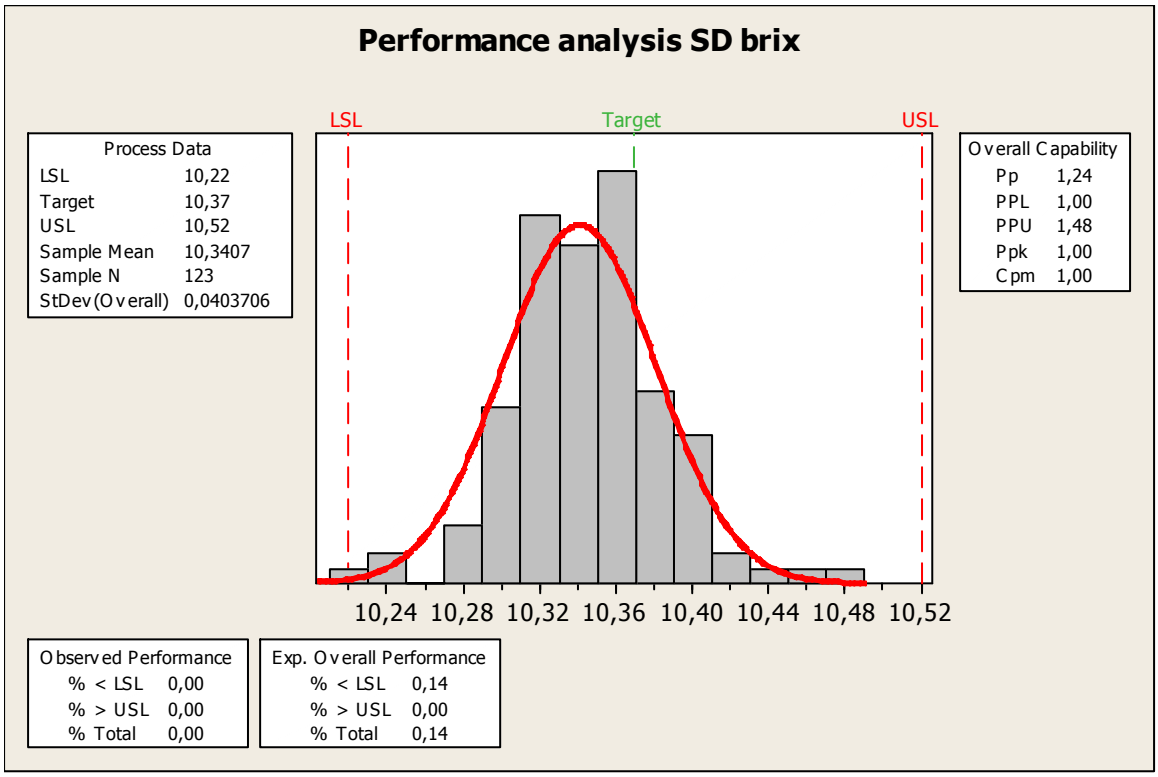


Figure 14: Analyse de l'indice de performance pour le degré brix de Coca Cola

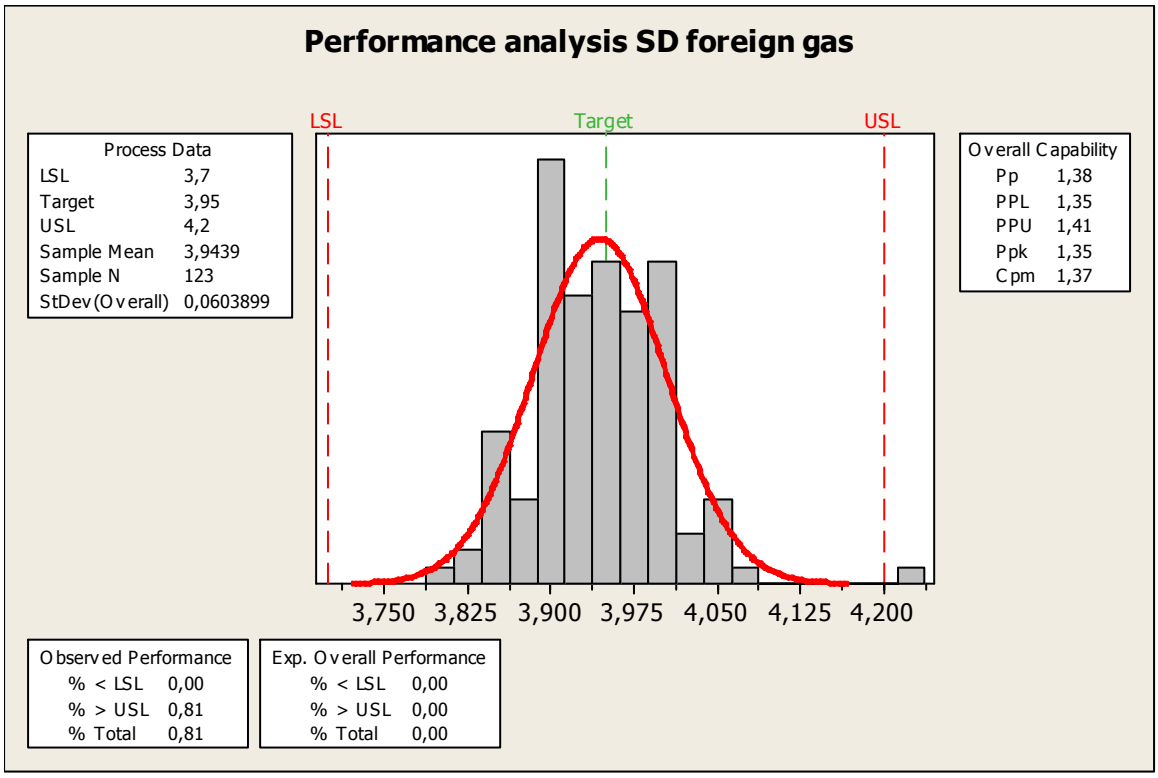


Figure 15: Analyse de l'indice de performance pour les gaz étrangers dans le Coca -Cola

Interprétation

Ppk brix = 1,00 ; Ppk gaz étrangers= 1,35 et leur somme est égal à, 35 et est supérieur à 2.

Le logiciel utilisé pour l'analyse de la performance du procédé à la brasserie montre les endroits où il faut intervenir au moment de la production mais l'utilisation du Minitab sera un atout pour montrer comment sont distribuées les données et si le procédé est capable et centré autour de la moyenne (valeur cible).

CONCLUSION ET PERSPECTIVE

Ce travail a été enrichissant puisqu'il concernait le domaine de la qualité et était d'une importance capitale pour moi et pour l'entreprise. Nous avons travaillé ensemble avec le personnel de l'entreprise tout en se familiarisant avec lui afin de savourer sur la vie au sein du groupe, essayant de savoir de ce qui se passe réellement dans le domaine professionnel puisque, de près, il y a une différence entre ce qu'on pense et la réalité.

Au cours de ce travail, nous avons effectué des travaux qui nous a permis d'utiliser les cours de Chimiométrie que j'ai appris tout au long de ma formation, tout en apprenant de nouveaux outils de la qualité et en les appliquant dans l'entreprise.

Le plus grand obstacle rencontré dans ce stage est que, même si le travail est indispensable à l'entreprise, le sujet est nouveau pour le personnel de la Bralirwa. Cela a fait que l'encadrement soit aisé sur le plan théorique mais que malheureusement il ne soit pas facile sur le plan pratique. Et donc le travail est devenu difficile mais avec nos efforts et notre enthousiasme, nous avons essayé de tirer des informations maximales possibles de la situation. Il était préférable de passer à l'optimisation de cet appareil, mais faute de temps, nous nous sommes arrêtés à la détection de son problème via les analyses de la capabilité.

Dans le but de continuer toujours vers le chemin de la qualité qui est dans la mission de Bralirwa, certaines recommandations peuvent surgir :

- On ne peut pas toujours faire confiance aux résultats qui ne sont pas prouvés statistiquement être correctes.
- Bralirwa avant de mettre en service toute sorte d'équipements doit d'abord effectuer des tests de validation pour être sûr d'eux.
- Pour continuer à suivre le travail que nous avons commencé afin d'arriver à l'optimisation du CarboBlender, je recommande à Bralirwa Ltd. de suivre premièrement l'étalonnage de c-DGM.
- Mettre en place des cartes du contrôle pour toutes les analyses effectués dans le cadre de l'assurance et contrôle de qualité afin de pouvoir détecter les causes probables pour la variation du processus de fabrication de la bière.
- Les cartes de contrôle permettront de refaire l'analyse de la capabilité de la machine CarboBlender pour confirmer que la variation de ses mesures ne provient pas de ces deux modules DMA et c-DGM.

BIBLIOGRAPHIE

- Automotive Industry Action Group (AIAG) (2002). *Measurement Systems Analysis Reference Manual, 3rd edition*. Chrysler, Ford, General Motors Supplier Quality Requirements Task Force, 125.
- Documents de: Heineken University, Global Supply Chain TPM Office, Master Pillar Leader and Solving Efeso Consultancy.
- Gravetter F.J., &Wallnau, L.B. (2004). *Statistics for the behavioral Sciences* (6th ed.) Belmont: Wadsworth/Thomson Learning.
- ISO/FDIS 13528, 2005e, Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparisons.
- Qualité en production, De l'ISO 9000 à Six Sigma, Daniel Duret, Maurice Pillet, 01/09/2005, 3ème édition.
- Turkey,John Wilder,(1977) : Exploratory Analysis. Addison-Wesley.

Webographie

- **www.aiag.org**
- **www.bralirwa.com**
- **www.minitab.com**