



Université Sidi Mohammed Ben Abdellah

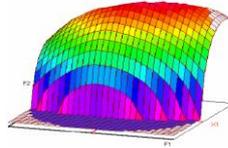
Faculté des Sciences et Techniques



[www.fst-usmba.ac.ma](http://www.fst-usmba.ac.ma)

Année

Universitaire : 2016-2017



**Master Sciences et Techniques CAC Agiq**

**Chimométrie et Analyse Chimique : Application à la gestion de la qualité**

*MEMOIRE DE FIN D'ETUDES*

*Pour l'Obtention du Diplôme de Master Sciences et Techniques*

**Optimisation des paramètres Brix et Volume CO<sub>2</sub> du produit Coca Cola**

**Présenté par :**

**Nfissi Salim**

**Encadré par:**

**Mr. Fahmi El Khammar**

**CBGN**

**Mr. HARRACH Ahmed**

**Pr. FST-Fès**

***Soutenu Le 12 Juin 2017 devant le jury composé de:***

- Pr IHSSANE Bouchaib**
- Pr BOULAHNA Ahmed**
- Pr HARRACH Ahmed**
- Mr FAHMI El Khammar**

**Stage effectué à CBGN**



Université Sidi Mohammed Ben Abdellah

Faculté des Sciences et Techniques



[www.fst-usmba.ac.ma](http://www.fst-usmba.ac.ma)

# Remerciement

Je tiens à remercier vivement **la direction de la CBGN** de m'avoir accueilli pour effectuer mon stage au sein de la société, en m'offrant ainsi la possibilité d'acquérir une expérience professionnelle très enrichissante.

Mes remerciements les plus cordiaux s'adressent à mon encadrant **Mr. AHMED HARRACH** pour sa disponibilité, son aide, ses conseils précieux, ses critiques constructives, ses explications et suggestions pertinents ainsi que pour ses qualités humaines et morales que j'ai apprécié.

Je saisi l'occasion de remercier les membres de jury qui m'ont fait l'honneur d'accepter de juger mon travail.

Je ne manque pas l'occasion de remercier chaleureusement mon encadrant **Mr. Fahmi EL KHAMMAR** chef de laboratoire de la qualité pour son incontestable contribution à l'accomplissement de mon projet. Son caractère accueillant qui m'a offert une ambiance très motivante et encourageante au travail, ainsi que pour sa disponibilité extraordinaire qui m'a permis de surmonter les difficultés et autres problèmes rencontrés.

Je remercie aussi, tous les personnels de CBGN pour leur soutien et leur attention dont ils ont fait preuve à mon égard tout au long du déroulement de ce stage. C'est grâce à eux et au travail proposé que ce stage a été si bénéfique. Que dieu préserve votre optimisme et votre enthousiasme.

# Dédicace

*Je dédie ce travail avec grand amour et fierté:*

*A mes parents source de tendresse et d'affection*

*A mes frères et mes sœurs avec mes souhaits du succès et de santé*

*A tout membre de ma famille*

*A tous mes professeurs ; A tous mes amis*

*ceux qui sont chers*

*A tous*

*Compagnie des Boissons Gazeuses du Nord*

## **Table des matières :**

Introduction.....	Erreur ! Signet non défini.
Chapitre 1 : présentation de la CBGN .....	3
1) Historique de Coca Cola .....	3
• Chiffres clés de Coca Cola <sup>[1]</sup> .....	3
• Les actionnaires.....	4
II- L’histoire du CBGN .....	5
III- Service de Production .....	5
1. Siroperie .....	5
2. Station traitement d’eau .....	6
3. La salle des machines .....	6
4. La chaudière .....	6
5. Les lignes de production.....	6
IV- Les produits coca cola .....	7
Chapitre 2 : Processus de fabrication du Coca Cola .....	9
I. Traitement des eaux.....	9
1. Stockage dans le bassin 1 : .....	9
2. Coagulation et floculation .....	10
3. Filtration à filtre à sable.....	10
4. Filtration à filtre décarbonateur .....	10
5. Stockage dans le Bassin 2 .....	11
6. filtration à filtre à charbon .....	11
7. filtration à filtres polisseur .....	11

8. Adoucissement de l'eau .....	12
II. Préparation de la boisson gazeuse .....	12
1. La préparation du sirop simple.....	12
2. préparation du sirop fini.....	13
• <b>Mesure de Brix</b> .....	<b>14</b>
• <b>Contrôle du GOA</b> .....	<b>14</b>
3-mise en bouteilles .....	14
• <b>Ligne de verre</b> .....	<b>14</b>
a. Dépalettisation :.....	14
b. Dévissage .....	15
c. Décaissage .....	16
d. Lavage des bouteilles .....	16
e. L'inspection visuelle par les mireurs .....	17
f. L'inspection électronique .....	17
g. Le mixage .....	18
h. Le soutirage et bouchage .....	18
i. Le codage .....	19
j. Étiquetage.....	20
k. Encaissage.....	20
l. Palettisation.....	21
Chapitre 3 : optimisation de produit Coca Cola .....	24
I.Problématique.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
II. Contrôle de la qualité .....	24
1. La métrologie.....	24
2.La microbiologie .....	24
3.Le contrôle de réception .....	25
4. Le contrôle des lignes .....	25
III) Stratégie du travail prévue.....	25
1. Outils de Maitrise statistique .....	25
a. Brainstorming .....	25
b .Le diagramme d'ishikawa .....	25
c. méthode 6 $\sigma$ .....	26
• <b>- Définir</b> .....	<b>26</b>
• <b>-Mesurer</b> .....	<b>26</b>

• <b>-Analyser</b> .....	26
• <b>-Améliorer</b> .....	26
• <b>-Contrôler</b> .....	27
d. Diagramme de Pareto .....	27
2. Plans d'expériences .....	27
a. La réponse .....	28
b. Analyse de la variance .....	29
• <b>Test de Fischer</b> .....	29
• <b>Hypothèses à tester</b> .....	29
• <b>Évaluation globale de la régression</b> .....	29
Tableau d'analyse de variance et coefficient de détermination .....	29
a. Coefficient de détermination .....	30
d. Le plan de criblage.....	31
b. Le plan de surface de réponse .....	31
III. Partie expérimentale .....	33
A. Volume de CO <sub>2</sub> .....	34
1. étude de modèle .....	34
• <b>a. Test de Fischer</b> .....	34
• <b>b. les paramètres de modèle</b> .....	Erreur ! Signet non défini.
2. Signification des effets .....	36
B. Brix.....	38
a. L'étude de modèle.....	38
b. Signification des effets .....	39
2. Le plan de Box Benkhen . .....	42
• Le plan d'expérimentation .....	Erreur ! Signet non défini.
a. Etude des modèles .....	43
a. Signification des facteurs.....	45
b. Sensibilité et l'optimum .....	45
Conclusion et perspectives : .....	47
Référence : .....	48

## Liste des figures :

Figure 1 : service de production de coca cola .....	5
Figure 2 : Dépalettisation des lots des bouteilles. ....	15
Figure 3 : dévissage des bouteilles .....	16
Figure 4 : la laveuse des bouteilles.....	17
Figure 5 : l'inspectrice électrique. ....	18
Figure 6 : le mixage des ingrédients au sein du mixeur .....	18
Figure 7 : le bouchage des bouteilles .....	19
Figure 8 : le codage des bouteilles par un dateur .....	20
Figure 9 : étiqueteuse des bouteilles.....	20
Figure 10 : stock des étiquettes .....	21
Figure 11 : palettisation des lots des bouteilles .....	21
Figure 12 : schéma de procédés de la fabrication des boissons gazeuses. ....	22
Figure 13 : diagramme d'Ishikawa de Brix comme effet .....	26
Figure 14: les facteurs influents une réponse .....	28
Figure 15 : le plan de Box Benkhen à 3 facteurs .....	32
Figure 17 : la signification des effets des facteurs sur le V co <sub>2</sub> .....	36
Figure 18 : diagramme du Pareto montrant la signification décroissante des effets .....	37
Figure 19: diagramme des effets cumulés .....	38
Figure 20 : la signification des effets des facteurs sur le volume e CO <sub>2</sub> .....	40
Figure 21 : classification de l'importance des effets .....	41
Figure 22 : diagrammes des effets cumulés.....	41
Figure 23 : la sensibilité de différents facteurs. ....	45
Figure 24 : représentation graphique des réponses et leurs incertitudes.....	46

### Liste des tableaux :

Tableau 1 : les différentes marques du CBGN.....	7
Tableau 2 : table d'ANOVA 1 .....	30
Tableau 3: plan d'expérimentation de criblage.....	34
Tableau 4 : analyse de la variance de modèle.....	35
Tableau 5 : les paramètres du modèle.....	35
Tableau 6 : les coefficients de modèle .....	36
Tableau 7 : Analyse de la variance du Brix .....	39
Tableau 8 : les paramètres du modèle .....	39
Tableau 9 : les coefficients du modèle .....	39
Tableau 10: plan d'expérimentation Box-Benkhen.....	43
Tableau 11 : analyse de variance de modèle Brix=f(X).....	43
Tableau 12 : analyse de variance de modèle $V_{CO_2}=f(X)$ .....	44
Tableau 13 : coefficients du modèle $V_{CO_2}=f(x)$ .....	45
Tableau 14 : paramètres du modèle $V_{CO_2}=f(X)$ .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>



## Introduction

La qualité d'un produit est la première exigence recherchée par la plupart des consommateurs qui attendent des produits sains et propres à la consommation. Les entreprises marocaines doivent les réaliser pour une meilleure satisfaction du consommateur, d'où la nécessité de mettre en place un système qualité perpétuel permet de suivre la qualité du produit à chaque stade de sa production.

En se basant sur ce volet, l'entreprise CBGN s'est engagée dans une stratégie d'amélioration continue de ses produits en accordant une grande importance aux exigences du marché et du consommateur.

Pour atteindre cet objectif, on a utilisé le plan d'expérience qui consiste à sélectionner et ordonner les essais afin d'identifier et d'optimiser, à moindres coûts, les paramètres Brix et le volume CO<sub>2</sub> pour les produits CBGN.

Ce présent rapport comporte trois chapitres :

Dans le premier chapitre, on présente de façon générale la société de la CBGN, notamment ses activités, son organigramme et ses axes stratégiques.

Le deuxième Chapitre est axé sur le processus de fabrication des boissons gazeuses.

Le troisième chapitre est focalisé sur l'Optimisation des paramètres Brix et le volume de CO<sub>2</sub> du produit Coca Cola.

**Chapitre 1 :**

# présentation de la CBGN

*Compagnie des Boissons Gazeuses du Nord*

## Chapitre 1 : présentation de la CBGN

### 1) Historique de Coca Cola



Le 8 mai 1886, le docteur John Stith Pemberton pharmacien d'Atlanta (état de Géorgie) inventa une nouvelle boisson gazeuse. Il voulait trouver un sirop original et désaltérant.

Il mit au point un mélange comprenant de l'extrait de noix de kola, du sucre, de la caféine, des feuilles de coca décoconnées et un composé d'extraits végétaux.

Son comptable, Franck M. Robinson baptisa la boisson "Coca-Cola" et dessina le premier graphisme, toujours utilisé aujourd'hui.

La boisson fut mise en vente à la "soda-Fountain" de la Jacob's Pharmacy.

Les serveurs diluaient le sirop avec de l'eau glacée-

♿ **En 1886 :**

La première annonce publicitaire était publiée dans "The Atlanta Journal".

♿ **En 1888:**

L'affaire est rachetée par Asa Candler, qui devient seul détenteur de la formule secrète.

♿ **En 1947 :**

Coca- Cola apparue au Maroc, un bateau usine qui était accosté au port de Tanger produisait alors la boisson pour les soldats américains.

- **Chiffres clés de Coca Cola** <sup>[1]</sup>

Les chiffres clés à l'échelle mondiale sont représentés par les figures (1 et 2):

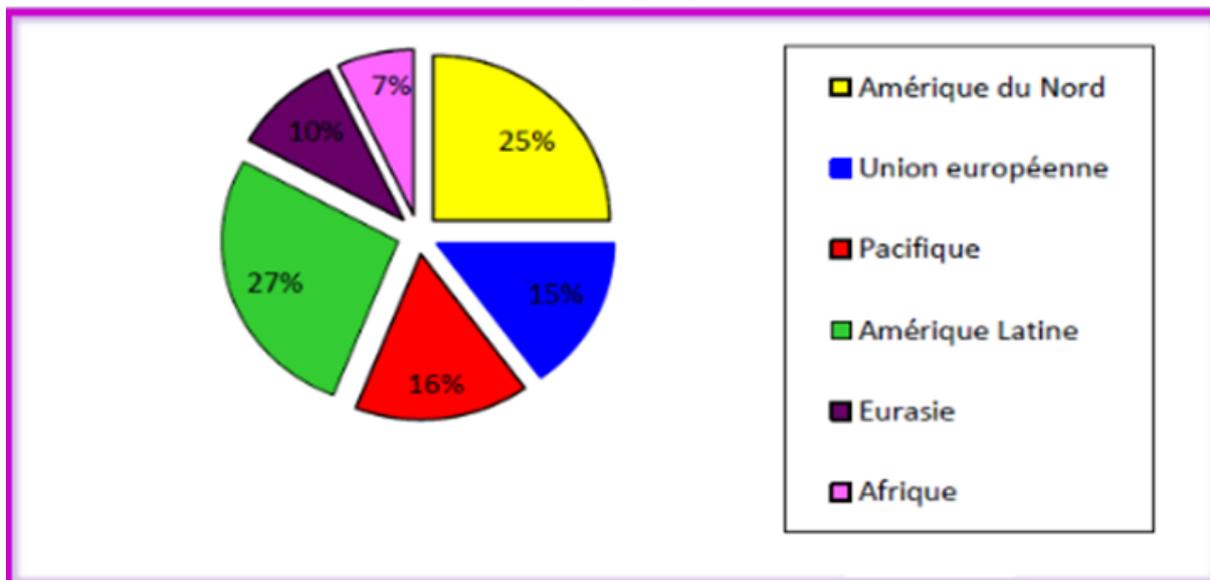


Figure 1 : répartition des volumes de vente dans le monde

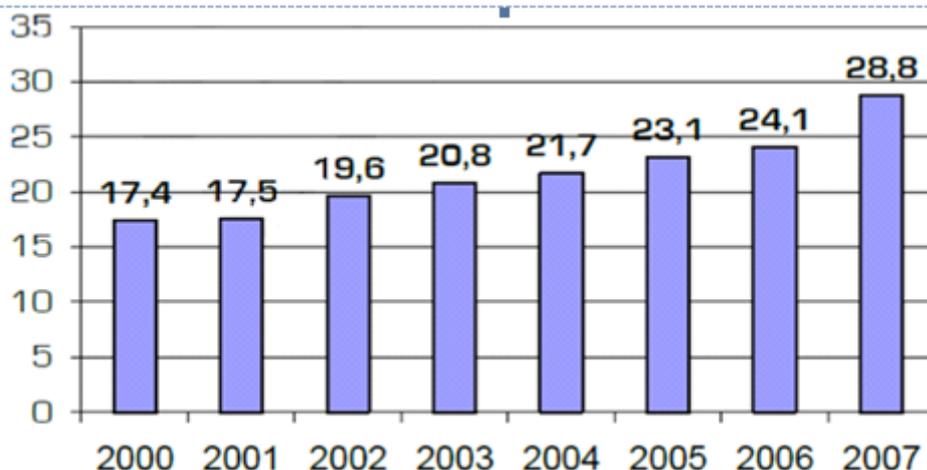


Figure 2 : histogramme en chiffres d'affaire de coca cola en millions de dollars

- **Les actionnaires**

Equatorial Coca cola Bottling Company 'ECCBC' est un holding créé en 1997 avec une participation majoritaire du groupe industriel espagnol COBEGA, partenaire de Coca Cola depuis 1951 et de la multinationale The Coca Cola Company.

Spécialisé dans l'embouteillage et la commercialisation des boissons gazeuses, ECCBC est présente dans une dizaine de pays africains (Algérie, Cap Vert, Ghana, Guinée Bissau, Guinée Conakry, Guinée Equatoriale, Libéria, Maroc, Mauritanie, Sao Tome et Sierra Léone)

## PFE MST CAC

La présence d'ECCBC au Maroc remonte à novembre 2002, date d'acquisition des concessions de Fès (CBGN); Marrakech (CBGS) et Agadir (SCBG).

### II- L'histoire du CBGN

- 1952 -1987 : la compagnie ne fabrique que Coca-cola et FANTA orange.
- 1988 : Pour augmenter sa part du marché, elle a décidé de produire des nouveaux produits : Hawaï tropical, pom's, Sprite...
- 1991 : Pour les mêmes raisons, elle a lancé les bouteilles en plastique PET (polyéthylène et téréphtalique).
- 1997 : Elle acquiert la SIM (Société industrielle marocaine).
- 2002 : La CBGN devient filiale de l'ECCBC et par la suite de Coca-Cola Holding

### III- Service de Production

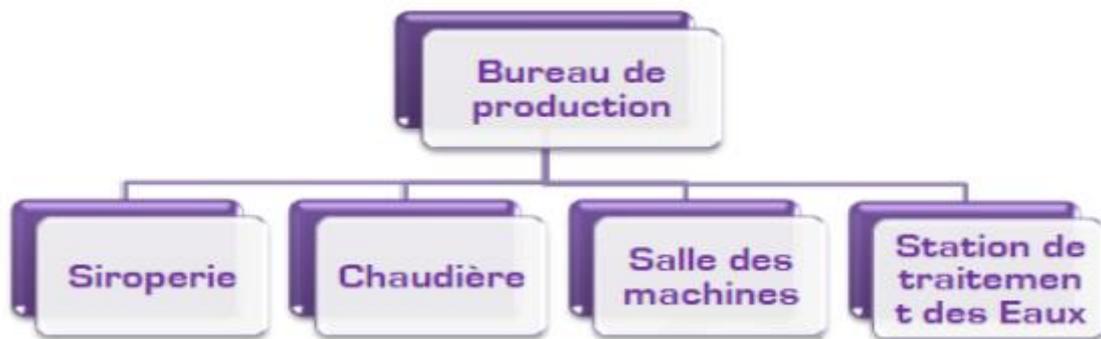


Figure 1 : service de production de coca cola

#### 1. Siroperie

Son rôle comme l'indique son nom est la préparation des sirops par le mélange des concentrés avec l'eau traitée et les colorants.

## 2. Station traitement d'eau

Bien qu'on dise que l'eau n'a pas de couleur ni de goût, sa qualité varie d'un lieu à l'autre. Cette étape vise donc, à travers des traitements chimiques et physiques, à traiter l'eau de sorte à ce qu'elle corresponde à un seul standard et que le goût de la boisson soit le même.

## 3. La salle des machines

-Deux grands réacteurs;

-Un bac tampon;

-les filtres à sable;

-Les filtres à charbon ;

-Le bac de chaud ;



## 4. La chaudière

Le rôle principal de cette machine est d'alimenter les laveuses par la pression et l'eau chaude.

## 5. Les lignes de production

L'usine comporte quatre lignes de production, 2 lignes de verres et 2 lignes PET:

La ligne verre n°1 : une capacité nominale de 1500 C/h, donne tous les produits de 11,35cl et 20 cl.

## PFE MST CAC

La ligne verre n°2 : une capacité nominale de 1000 C/h, donne tous les produits de 1 L, 35 Cl et 20 Cl.

### IV- Les produits coca cola

Tableau 1 : les différentes marques du CBGN

Produits	Tailles
	Verre : royale (35.5 cl) standard (20 cl) ,1 litre.
	Verre : (35 cl), Splasch (20 cl), 1 litre.
	Verre : (35 cl) 1 litre
	Verre : (35 cl) 1 litre
	Verre : (35 cl) 1 litre
	Verre : (35 cl) 1 litre
	Verre : (20 cl)

Chapitre2 :

# Processus de fabrication de Coca Cola

---

## Chapitre 2 : Processus de fabrication du Coca Cola

### I. Traitement des eaux

L'eau constitue l'élément majoritaire dans la production des boissons gazeuses. Pour cela, il s'avère très nécessaire de le traiter afin d'éliminer tous les constituants ayant un rôle dans l'impureté susceptible d'affecter le goût et l'aspect des produits.

Parmi ces constituants on trouve :

- **Les matières en suspension** : sont des microparticules (hétérogènes de formes et variées d'origines), susceptibles de provoquer une baisse rapide de la carbonatation et une formation de mousse lors du remplissage.
- **Les matières colloïdales** : sont des particules infiniment petites (entre 0.1 et 1 à 2 microns). Elles ont une surface spécifique qui est considérable et chargée négativement dans la quasi-totalité des situations.
- **Les matières organiques** : les eaux sont chargées de matières organiques qui peuvent entraîner la formation de collerette ou de floc dans la boisson quelques heures ou plus après la fabrication.
- **Les micro-organismes** : sont présents dans la plupart des eaux, ils peuvent se développer dans plusieurs jours ou semaines après la fabrication et changer le goût et l'aspect du produit fini.
- **Les substances sapides et odorantes**: telles que le chlore, les chloramines et le fer qui peuvent réagir avec les arômes délicats des boissons et en modifiant le goût.

Afin de transformer l'eau de ville en une eau convenable à la production de la boisson, il faut la faire passer par les étapes suivantes :

#### 1. Stockage dans le bassin 1 :

L'eau prévenante de la RADEF est stockée dans le bassin 1 d'une capacité de 200 m<sup>3</sup>, cette eau est chlorée par injection d'une quantité de chlore comprise entre 1 et 3 ppm, afin de préserver son état contre toute contamination.

## 2. Coagulation et floculation

Après la désinfection de l'eau, on injecte le coagulant floculant sulfate d'alumine pour rassembler la matière en suspension afin de faciliter leur élimination par filtration.

La coagulation consiste à déstabiliser des matières en suspensions qui sont responsable de couleur et des odeurs de l'eau, pour faciliter leur sédimentation par un ajout d'un coagulant.

La floculation est un phénomène physico-chimique au cours duquel les micelles et la matière en suspension forment des flocons qui s'agrègent en un floc.

## 3. Filtration à filtre à sable

La filtration à sables est destinée à éliminer les flocons résultants de la floculation. Les filtres à sables sont à nombre de 3.

Bien évidemment, après un certain temps (estimé à 3 ou 4 jours), les filtres à sables vont être chargés par les flocons, ce qui va déranger leur bon fonctionnement, pour les débarrasser de ces particules, ils seront lavés tous les 3 ou 4 jours par l'injection de l'eau à contrecourant.

L'efficacité de ces filtres est vérifiée par l'analyse des GOA, et la turbidité. Il faut aussi vérifier l'état du sable, cette vérification peut conduire au changement du sable si nécessaire.

## 4. Filtration à filtre décarbonateur

Le filtre décarbonateur est une grande cuve contenant des résines échangeuses de cations d'ions de type cationique faible qui se présentent sous forme de sphères de 1 mm de diamètre environ. Il possède la propriété de retenir les cations  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  liés aux bicarbonates ( $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  et  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ ).

Le but de la filtration à filtre décarbonateur est de réduire l'alcalinité de l'eau en éliminant les cations  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  susceptible de s'associer avec les anions  $\text{CO}_3^{2-}$  et  $\text{HCO}_3^-$  responsables de l'alcalinité. A la CBGN, le résine utilisé est de type  $\text{RCO}_2\text{H}$ .

## 5. Stockage dans le Bassin 2

L'eau sortante du filtre décarbonateur est stockée dans le bassin 2 qui est d'une capacité de 200 m<sup>3</sup>.

Comme dans le bassin 1, l'eau est encore une fois injectée par le chlore (concentration entre 6 et 8 ppm).

## 6. filtration à filtre à charbon

Le filtre à charbon est une cuve remplie par du charbon actif qui présente un agent absorbant visant à éliminer le chlore et tous les substances sapides et odorantes susceptibles de donner un goût ou une odeur anormale aux boissons.

L'efficacité de cette opération est liée au type de charbon et la durée de son contact avec l'eau.

A la sortie du filtre à charbon, les paramètres suivants doivent être vérifiés :

Le titre alcalimétrique qui ne doit pas dépasser les 2 mg/l. Le titre alcalimétrique complet qui ne doit pas dépasser les 85 mg/l.

La teneur en chlore doit être nulle.

Le pH doit être supérieur à 5.

La TDS (Taux de solide dissous) ne doit pas dépasser 500 ppm.

La turbidité doit rester dans la limite de 0.5 NTU.

Lorsque ces paramètres dépassent ces limites, le charbon devient saturé, et nécessite d'être changé.

## 7. filtration à filtres polisseur

Le but de cette filtration est de retenir d'éventuelles particules de charbon actif ou de sable susceptibles de s'échapper du filtre à charbon.

Les filtres polisseurs doivent être nettoyés avec une solution chlorée à chaque changement de papier ou de cartouche.

La stérilisation du filtre polisseur s'effectue deux fois par semaine ou selon les résultats des analyses microbiologiques.

Ces 7 opérations, une fois terminées on obtient de l'eau traitée prêt à être utilisée dans la siroperie.

### 8. Adoucissement de l'eau

Le bassin 3, qui est d'une capacité de 150 m<sup>3</sup>, est rempli avec l'eau de distribution. On la fait passer par des adoucisseurs afin de réduire sa dureté (par élimination des cations Ca<sup>2+</sup> et Mg<sup>2+</sup>).

L'eau adoucie est utilisée dans le lavage des emballages consignés, dans les chaudières, les tours de refroidissement et dans le condenseur évaporate.

## II. Préparation de la boisson gazeuse

Après avoir traité l'eau, il reste une deuxième étape qui est la production de la boisson gazeuse, c'est la siroperie. Cette opération peut être subdivisée en deux grandes parties :

La préparation du sirop simple.

La préparation du sirop fini.

### 1. La préparation du sirop simple

Cette étape commence par l'injection du sucre granulé, approvisionné par COSUMAR et contrôlé dans le laboratoire de la CBGN qui veille sur sa qualité et sur le respect des normes prescrites.

Arrêt des grands grains de sucre au niveau de tamis.

- Transport du sucre dans un silo de stockage.

- Transport du sucre dans une cuve de dissolution contenant de l'eau traitée à la température de 60°C.

- Passage de la solution du sucre obtenue dans un ensemble de filtres pour agitation et précipitation des grains non dissoutes.

## PFE MST CAC

-Au niveau de l'échangeur, la solution de sucre est chauffée à environ 85 °C par la vapeur d'eau provenant de l'atelier des chaudières (la température ne doit pas dépasser ce degré, sinon on risque de caraméliser le sucre). Cette élévation de température permet la pasteurisation de la solution.

- Au niveau de la cuve de réaction, ajout du charbon actif en poudre pour clarifier le mélange et éliminer les mauvaises odeurs du sucre.

Ensuite, le mélange est convoyé à travers deux filtres alimentés par une cuve d'adjuvant de filtration (terre diatomée contenant de la cristalline est permet l'élimination de toutes impureté).

- Refroidissement du mélange pour obtenir un sirop simple avec une température convenable. Le refroidissement se fait selon trois étapes :

- La première consiste à ramener la température du sirop simple à 60 °C environ à l'aide de l'eau traitée à la température ambiante.

- La deuxième sert à ramener la température de 60 °C à 50 °C grâce à l'eau adoucie à la température 15 °C.

- La troisième est la dernière étape qui va ramener le sirop simple à une température d'environ de 22°C grâce à l'eau glycolée qui est d'une température inférieure à 0°C.

Ainsi on obtient du sirop simple prêt à l'utilisation dans la préparation de sirop fini.

## 2. Préparation du sirop fini

Le sirop fini est un mélange de sirop simple et de sirop concentré appelé aussi extrait de base, qui est à son tour un mélange complexe d'arômes, d'acidifiants et de colorants.

En gros, voici les étapes exécutées lors de la préparation du sirop fini :

Introduction, après contrôles, des ingrédients du produit dans un récipient où se fait le mixage avec l'eau traitée.

Le mélange est ensuite envoyé à la cuve de sirop fini dans lequel s'effectue le mixage avec le sirop simple à l'aide d'une pompe qui maintient l'agitation pendant 30 min.

Repos du sirop fini pendant 15 min afin d'assurer sa désaération (le sirop fini est contrôlé par l'opérateur qui veille sur sa conformité en réglant tous les paramètres en question à savoir la température, le Brix et bien d'autres paramètres).

### Mesure de Brix

Le Brix est la teneur d'une solution en sucre. Pour mesurer le Brix, on procède de la manière suivante :

On prélève un échantillon du sirop fini dans une éprouvette préalablement rincée avec le sirop fini, on y introduit le densimètre à toupie lentement pour lire la valeur du Brix indiquée sur la tige du densimètre.

On mesure la température du sirop fini pour déduire finalement la valeur du Brix.

La valeur du Brix est calculée à partir de la formule :

Brix = La valeur lue + 0,1 du ménisque + la correction dépendante de la température.

### Contrôle du GOA

Ce contrôle est nécessaire et il ne faut jamais le négliger, parce que le goût, l'odeur et l'apparence sont des paramètres très importants

Ainsi, on obtient du sirop fini, respectant toutes les normes et bien contrôlé.

Après chaque préparation du sirop il est nécessaire d'éliminer toutes les traces de ce dernier par le nettoyage et la stérilisation des cuves utilisées afin de garantir une préparation conforme de chaque sirop et d'éviter tous problèmes de non-conformité.

Les opérations de Sanitation des équipements s'imposent pour débarrasser ces derniers des traces de produits restants.

## **3-mise en bouteilles**

### Ligne de verre

La boisson étant prête, il ne reste qu'à préparer les bouteilles en verre pour le remplissage.

Alors le remplissage des bouteilles en verre passe par les étapes suivantes

#### **a. Dépalettisation :**

Grâce à une machine appelée dépalettiseur, les caissiers sont placés les uns sur les autres pour les mettre sur le convoyeur.



**Figure 2 : Dépalettisation des lots des bouteilles.**

### *b. Dévissage*

Les bouteilles qui sont encore avec leurs bouchons sont dévissées avec des dévisseuses





**Figure 3 : dévissage des bouteilles**

### *c. Décaissage*

A l'aide de la décaisseuse, les caissiers sont vidés des bouteilles pour les mettre sur le convoyeur qui alimente la laveuse bouteilles.

### *d. Lavage des bouteilles*

Les bouteilles rendues du marché doivent subir un lavage et nettoyage avec l'eau et un détergent (NaOH) pour garantir une propreté et une stérilisation avant soutirage.

Le lavage des bouteilles passe par les étapes suivantes :

La pré-inspection: c'est l'opération qui consiste à la sélection des bouteilles conformes, effectuée par l'opérateur

Le pré-lavage : est assuré par une eau adoucie tiède qui réchauffe légèrement la bouteille, permettant par la suite l'élimination des matières adhérant aux parois.

Le lavage à la soude caustique : s'effectue à une température de 82 °C combiné au triphosphate de sodium dont le rôle est d'empêcher le passage de la mousse en provenance de NaOH et de permettre la brillance des bouteilles.

Le pré-rinçage : est une opération de rinçage des bouteilles afin d'éliminer les traces de détergent, se fait dans trois baignoires contenant une adoucie chaude, tiède et froide.

Rinçage finale : réalisé par l'eau froide chlorée de 1 à 3 ppm pour éliminer les résidus caustiques et refroidir les bouteilles jusqu'à la température ambiante



**Figure 4 : la laveuse des bouteilles**

### ***e. L'inspection visuelle par les mireurs***

A pour but d'éliminer les bouteilles mal lavées et ébréchées.

### ***f. L'inspection électronique***

S'effectue avant le soutirage, avec une machine appelée inspectrice, dans le but d'éjecter les bouteilles contenant un liquide résiduel ou des corps étrangers.

Le réglage de cette machine consiste à contrôler ses compteurs et à régler avec précision la sensibilité de chaque test suivant le degré de la lumière projetée sur l'endroit ainsi que la vitesse de la chaîne du convoyeur et sa position.

Ainsi les bouteilles sont prêtes à être remplies par la boisson et bouchonnées, et c'est le rôle de la soutireuse et la visseuse



**Figure 5 : l'inspectrice électrique.**

### ***g. Le mixage***

Le mixage constitue la dernière phase de la production des boissons, à cette étape le sirop fini se mélange avec l'eau traitée refroidie par l'eau glycolée et du gaz carbonique par des proportions bien définies.



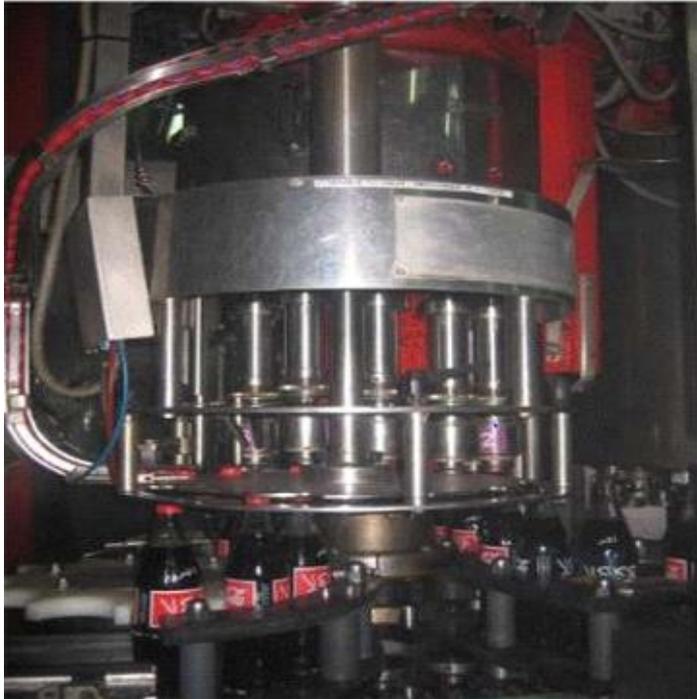
**Figure 6 : le mixage des ingrédients au sein du mixeur**

### ***h. Le soutirage et bouchage***

Les bouteilles, une fois lavées et débarrassées de toutes impuretés, sont remplies par la boisson à l'aide de la soutireuse.

## PFE MST CAC

Par la suite, elles sont fermées hermétiquement au niveau de la visseuse. Les bouteilles ainsi remplies et fermées sont contrôlées visuellement par un appareil électronique afin de retirer les bouteilles mal remplies ou mal bouchée.



**Figure 7 : le bouchage des bouteilles**

### ***i. Le codage***

Le codage se fait avec le dateur qui est une machine programmée à chaque début de production dont le rôle est d'imprimer sur les bouchons des bouteilles remplies de la boisson :

- La date exacte de production.
- la date de fin de consommation.
- le numéro de ligne de remplissage de bouteille.
- le centre de production : exemple F (Fès).

Ces renseignements sont imprimés sur le bouchon des bouteilles par la tête de l'appareil, ce dernier exige un entretien

(Le lavage par un produit spécial) à cause de sa grande sensibilité.



**Figure 8 : le codage des bouteilles par un dateur**

#### ***j. Étiquetage***

C'est l'opération qui consiste à coller des étiquettes (qui contiennent des renseignements sur le produit) sur tous les bouteilles en verre, sauf celles de Coca-Cola, grâce à une machine appelée étiqueteuse.



**Figure 9 : étiqueteuse des bouteilles**

#### ***k. Encaissage***

C'est la dernière étape de production. Cette machine met les bouteilles dans des caissiers pour les transporter au magasin.



**Figure 10 : stock des étiquettes**

### ***1. Palettisation***

Cette opération consiste à mettre les caissiers sur les palettes d'une façon bien organisée sous forme de parallélogramme à l'aide des barrières motorisées par des vérins pneumatiques. Le palettiseur exécute le contre travail du dépalettiseur.

Alors, il ne reste que le stockage de la boisson dans les camions pour la distribution.



**Figure 11 : palettisation des lots des bouteilles**

Pour récapituler tous ces étapes d'embouteillage, on propose le schéma suivant : <sup>[2]</sup>

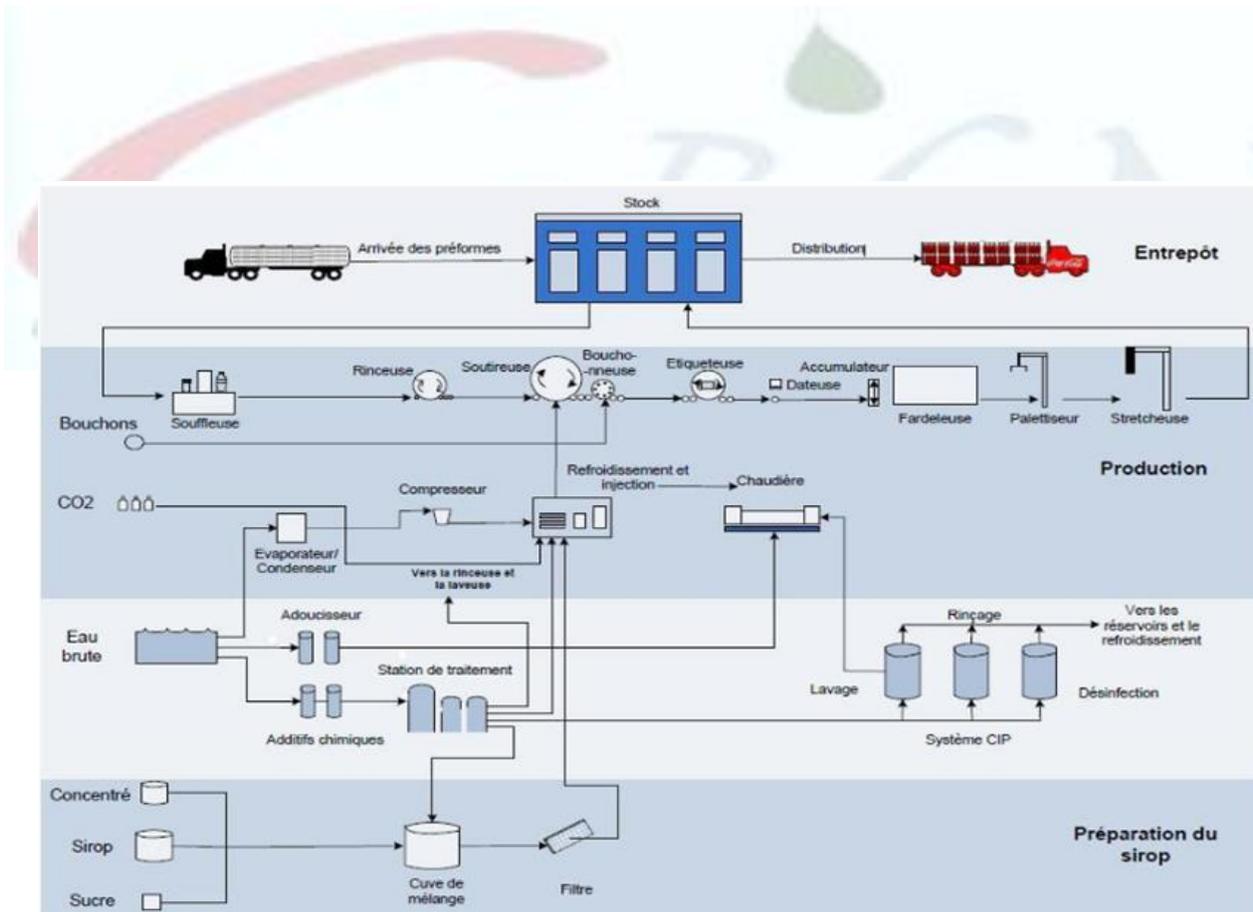
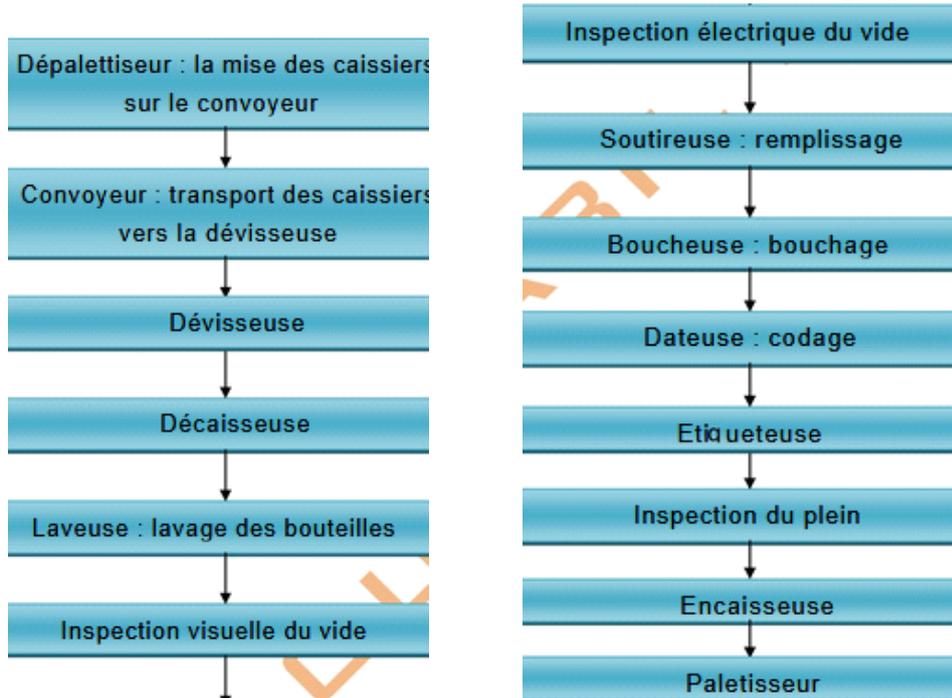


Figure 12 : schéma de procédés de la fabrication des boissons gazeuses.



## **Chapitre 3 : optimisation de produit Coca Cola**

### **I. Problématique**

Les analyses effectuées au sein de la société CBGN montrent une disparition anormale des valeurs du Brix et du volume de CO<sub>2</sub> contenues dans les produits finis.

L'objectif de ce travail est d'étudier les facteurs (la température, la pression, le débit de l'eau, le débit de sirop et la désaération) influençant la qualité des produits afin de minimiser la variation :

- ✚ des valeurs du Brix
- ✚ des valeurs du Volume CO<sub>2</sub>

### **II. Contrôle de la qualité**

Le laboratoire de la qualité se constitue des services suivants :

#### **1. La métrologie**

Le métrologue s'intéresse à la qualité des mesures et en particulier à deux facteurs. Le premier de ces facteurs est de s'assurer du raccordement de la mesure à des étalons de référence. Le deuxième facteur de la qualité de la mesure est celui du calcul de l'incertitude.<sup>[3]</sup>

#### **2. La microbiologie**

L'objectif des analyses microbiologiques est de rechercher ou de quantifier un certain nombre de micro-organismes, indicateurs d'un ou de plusieurs problèmes rencontrés lors du procédé de fabrication ou susceptibles de présenter un risque pour la santé humaine lors de la mise sur le marché<sup>[4]</sup>.

Des analyses microbiologiques permettent également d'évaluer la propreté des surfaces de travail, la bonne hygiène des opérateurs, ou la qualité de l'eau entrant dans le procédé de fabrication.

### 3. Le contrôle de réception

C'est une opération qui permet de statuer sur la validité (conformité) d'un lot de matière achetées.

### 4. Le contrôle des lignes

Des analyses s'effectuent quotidiennement pour vérifier la conformité du produit :

Ils consistent à la mesure de Brix par le densimètre électronique (DMA); la mesure de  $V_{CO_2}$ ; le contenu net ; l'application des capsules .....etc

### III) Stratégie du travail prévue.

A l'aide des outils de maîtrise statistique, le plan d'expérience et le logiciel Nemrodw, on va optimiser les paramètres qui influencent la qualité du produit fini.

#### 1. Outils de Maîtrise statistique

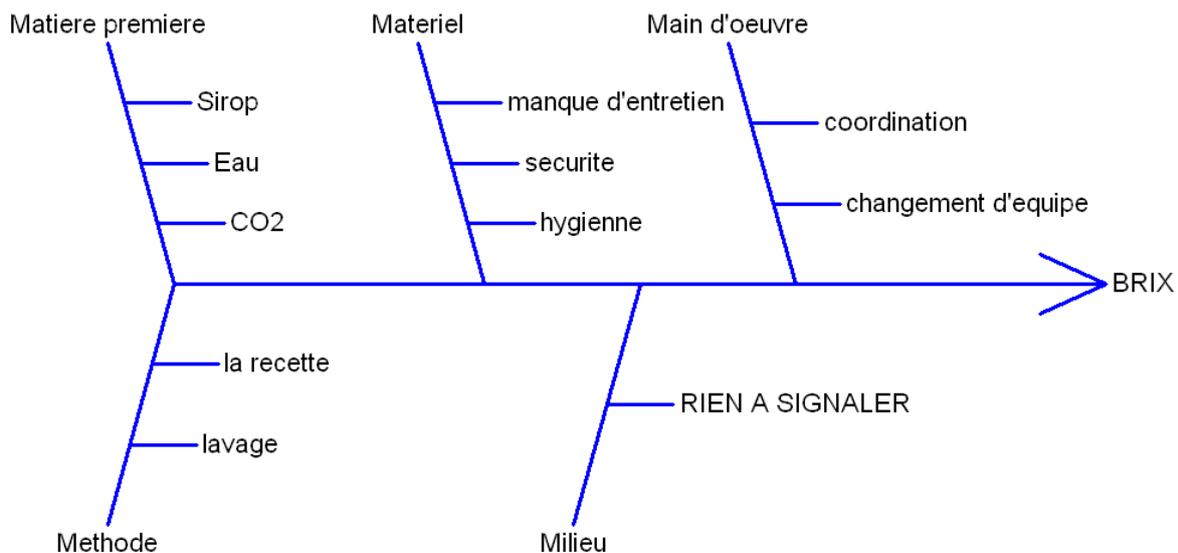
##### a. *Brainstorming*

On a choisi la méthode de remue-méninge (brainstorming) afin de faire sortir les différentes causes de la non-conformité

- le débit de l'eau
- le débit de sirop
- le pourcentage de l'ouverture des vannes pneumatiques
- la désaération
- la pression
- la température

##### b. *Le diagramme d'ishikawa*

L'outil « Diagramme d'Ishikawa » représente de façon graphique les causes et effets dans la résolution d'un problème qui se pose dans notre organisation. <sup>[5]</sup>



**Figure 13 : diagramme d'Ishikawa de Brix comme effet**

- 1 - Matières : fournitures, matériaux, pièces ... utilisés dans le processus
- 2 - Matériel : équipement, machines, logiciels et technologies
- 3 - Méthodes : mode opératoire, recherche et développement, ...
- 4 - Main d'œuvre : moyens humains et interventions humaines
- 5 - Milieu : environnement, localisation, contexte

### ***c. méthode 6 $\sigma$***

La mise en œuvre d'une démarche Six Sigma se fait selon les étapes suivantes:

#### ***- Définir***

. Dans cette étape, on pose le problème, puis on identifie sur quels produits se trouvent les défauts. Par la suite, il s'agit de sélectionner avec précision les défauts mesurables, en limitant le champ de travail et en fixant les objectifs;

#### ***- Mesurer***

. Il s'agit dans cette deuxième étape de collecter les informations disponibles à propos de la situation courante. Ces données collectées seront rassemblées et catégorisées;

#### ***- Analyser***

. Suite à l'étape de mesure, il s'agit d'étudier l'ampleur des défauts, rechercher les causes probables de ces derniers, émettre des hypothèses et faire des analyses quantitatives des données grâce à des outils mathématiques et statistiques;

#### ***- Améliorer***

. La phase de l'amélioration consiste à rechercher, proposer et faire appliquer des solutions adaptées pour chaque situation. Il s'agit de trouver une ou plusieurs solutions appropriées pour chacune des causes des défauts;

### -Contrôler

Une fois que l'entreprise a mis en place les solutions dégagées, il ne reste qu'à suivre l'évolution de la nouvelle situation, analyser les résultats et mesurer l'efficacité des solutions appliquées.

**En bref une certaine philosophie de la qualité tournée vers la satisfaction totale du client <sup>[6]</sup>.**

### ***d. Diagramme de Pareto***

Le diagramme de Pareto est un moyen simple pour classer les phénomènes par ordre d'importance.

Il est un histogramme dont les plus grandes sont conventionnellement à haut décroissent vers le bas. avec une ligne de cumul indique la valeur importante des colonnes.

Diagramme de Pareto ou règle 80/20 Pour déterminer les causes principales.

## **2. Plans d'expériences**

Actuellement bon nombre de procédés de fabrication ou d'expériences en laboratoire deviennent de plus en plus complexes car ils dépendent d'un grand nombre de variables difficiles à régler intuitivement. Ceci concerne, par exemple : le problème de la mise au point l'amélioration de la qualité du produit fini (coca cola) dépend d'un nombre croissant de facteurs :

Le pilotage optimal de machines-outils,

La détermination des proportions d'un mélange de matière première,

La recherche des conditions optimales pour la production etc...

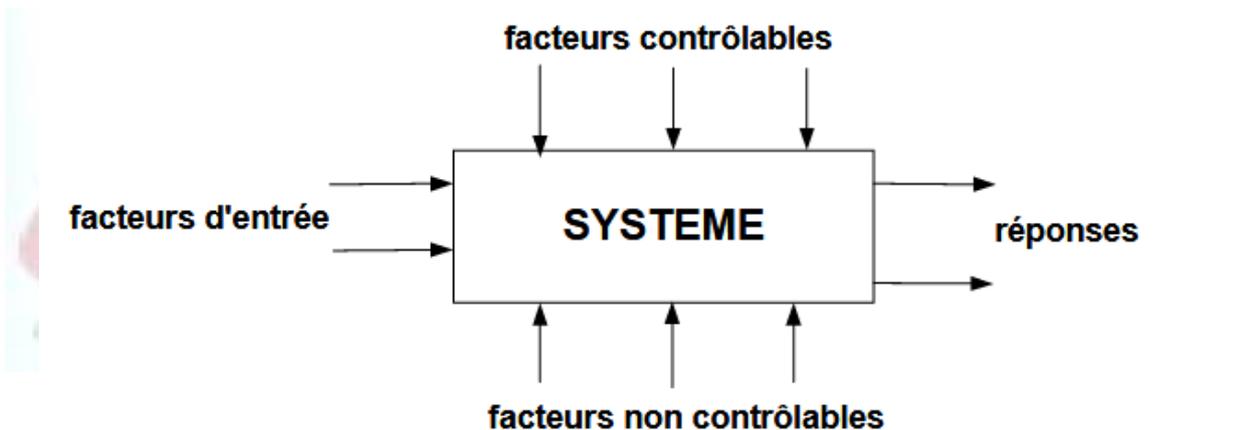
Seule la réalisation d'un plan d'expériences qui permet d'appréhender et de modéliser de tels phénomènes complexes. Si ces expériences sont effectuées sans une méthodologie rigoureuse, il est fort probable qu'elles vont soit conduire à des impasses (modèle impossible à ajuster, résultats incohérents, etc...) soit à des résultats de qualité décevante. C'est pourquoi la méthode des plans d'expérience est préconisée afin d'optimiser ce type de démarche.

L'objectif principal de cette méthode peut être résumé par la devise :

"obtenir un maximum d'information en un minimum d'expériences"<sup>[7]</sup>

### a. La réponse

- La réponse est la grandeur mesurée à chaque essai. Le plan vise à déterminer quels facteurs l'influencent ou quelle est son évolution en fonction de ceux-ci
- Les facteurs étudiés dans un plan d'expériences sont bien entendu les facteurs d'entrée
- la détermination du domaine d'étude.
- Dans cette deuxième stratégie toutes les mesures sont utilisées pour le calcul d'un effet. On comprend donc que la précision obtenue sera supérieure avec la méthode de plans d'expériences. Un autre avantage de la méthode des plans réside dans un nombre beaucoup plus faible d'expériences à réaliser que dans la méthode traditionnelle quand le nombre de facteurs est élevé.



**Figure 14: les facteurs influents une réponse**

### a- Les types du plan d'expériences

Parmi les principales types des plans d'expériences :

- Le plan complet
- Le plan fractionnaire
- Le plan de criblage
- Le plan de surface de réponse
- Les plans de mélange

Dans ce travail, on va développer uniquement le plan de criblage et le plan de surface de réponse pour minimiser la variation des résultats du Brix et du volume CO<sub>2</sub>.

## ***b. Régression linéaire***

Pour valider les résultats du plan d'expérience utilisé, on a pensé au test de l'analyse de variance.

La forme générale de l'analyse de variance repose sur le test de Fisher et donc sur la normalité des distributions et l'indépendance des échantillons <sup>[8]</sup>.

### Test de Fischer

Par le calcul de la statistique F qui est égale le rapport du CME par CMR.

### Hypothèses à tester

**L'hypothèse nulle** correspond au cas où les variances sont homogènes (F calculé < F critique).

**L'hypothèse alternative** correspond au cas où les variances ne sont pas homogènes (F calculé > F critique).

### Évaluation globale de la régression

#### Tableau d'analyse de variance et coefficient de détermination

L'évaluation globale de l'adéquation du modèle de prédiction se pose sur l'équation d'analyse de variance  $SCT = SCE + SCR$ , où

- SCT, somme des carrés totaux, traduit la variabilité totale de la matrice ;
- SCE, somme des carrés expliqués, traduit la variabilité expliquée par le modèle ;
- SCR, somme des carrés résiduels correspond à la variabilité non-expliquée par le modèle.

Toutes ces informations sont résumées dans un tableau 1 d'analyse de variance

Tableau 1 : table d'ANOVA 1

Source de variation	Somme des carrés	Degrés de liberté	Carrés moyens
Expliquée	$SCE = \sum_i (\hat{y}_i - \bar{y})^2$	$p$	$CME = \frac{SCE}{p}$
Résiduelle	$SCR = \sum_i (y_i - \hat{y}_i)^2$	$n - p - 1$	$CMR = \frac{SCR}{n - p - 1}$
Totale	$SCT = \sum (y_i - \bar{y})^2$	$n - 1$	

### a. Coefficient de détermination

Le coefficient de détermination  $R^2$  (ou parfois  $r^2$ ) est un autre mesure de l'équation des moindres carrés.  $y = b_0 + b_1x$  <sup>[9]</sup>

$$R^2 = \frac{SS_{yy} - SSE}{SS_{yy}} = \frac{SS_{yy}}{SS_{yy}} - \frac{SSE}{SS_{yy}} = 1 - \frac{SSE}{SS_{yy}}$$

Qu'on doit distinguer de coefficient de détermination ajusté qui est pour formule :

$$R^2_{\text{ajusté}} = 1 - \frac{\frac{SCE}{N-p}}{\frac{SCT}{N-1}} = 1 - \frac{\frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2}{N-p}}{\frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}{N-1}}$$

[10]

Avec :  $n$  est la taille d'échantillon et  $p$  est le nombre de variables explicatives.

$R^2$  et  $R^2$  ajusté sont toujours compris entre 0 et 1 avec  $R^2$  ajusté est toujours inférieure ou égale à  $R^2$ .

### a. Le plan de criblage

Dans les phases préliminaires de recherche, il y a souvent un grand nombre de facteurs peuvent exercer un effet sur les variables mesurées. Les plans de criblage restreint le nombre d'essais avec l'objectif d'isoler les facteurs influents.

- Les limites des plans factoriels complets lorsque le nombre de facteurs augmente
- Comment choisir le plan adapté à leur expérience
- Comment construire le plan retenu
- Comment analyser les résultats de leur expérience
- Comment interpréter les résultats des plans de criblage
- Le principe et l'utilité des plans de criblage.

Ce module s'adresse particulièrement aux personnes réalisant des expériences préliminaires pour déterminer l'impact d'un nombre important de facteurs pour un phénomène observé et sélectionner ceux qui présentent le plus d'intérêt. Il s'adresse également aux personnes souhaitant réduire le nombre de facteurs à étudier lors d'une expérience.

### b. Le plan de surface de réponse

La méthode des surfaces de réponses (MSR) a pour objectif d'explorer les rapports entre les variables dépendantes et indépendantes impliquées dans une expérimentation. Elle est due aux travaux de 1951 de George et K.Box Wilson. Le projet primordiale de leur formule est l'emploi d'une séquence d'expériences Box et Wilson suggèrent d'exploiter un exemplaire à polynôme de deuxième degré, mais concèdent que ce produit n'est qu'une approximation. Cependant, celui-ci a l'intérêt de rester simple à penser et à appliquer, même quand le renseignement utilisable sur les processus en cours est minime.<sup>[11]</sup>

- Box Benkhen

Le plan de Box Benkhen est illustré de la manière suivante figure 15 :

## PFE MST CAC

Les points expérimentaux devant être étudiés sont alors situés au milieu des arêtes de chacun des côtés du cube définissant l'espace expérimental. Ce plan comporte dès lors douze essais expérimentaux indépendants, au desquels les valeurs des paramètres opératoires sont modifiés indépendamment les un les autres. Dans la pratique, un dernier point expérimental est généralement étudié : le point central. Plusieurs essais expérimentaux, dits de reproductibilité, sont par ailleurs réalisés pour ce point afin d'estimer l'erreur expérimentale. Le plan de Box- Benkhen pour 3 facteurs possède donc  $12 + 3$  essais soit 15 essais.

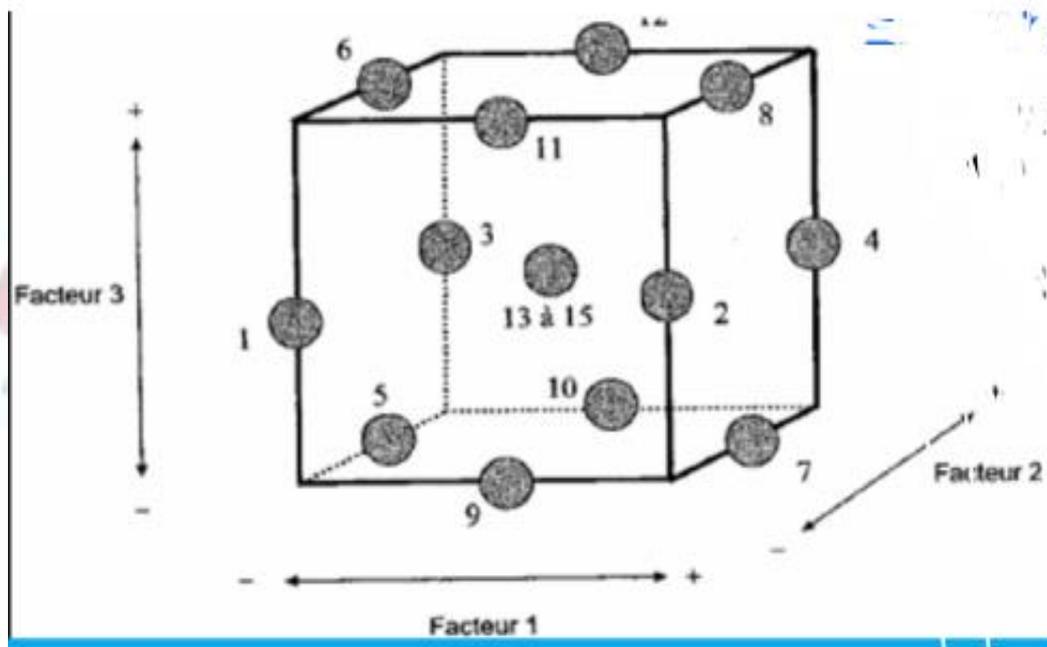


Figure 15 : le plan de Box Benkhen à 3 facteurs

### III. Partie expérimentale

#### 1. Le plan de criblage.

##### a- Facteurs retenus

Les facteurs retenus pour cette étude sont :

- Température 9- 12°C,
- Pression 3- 4 psi
- débit de l'eau 220- 360 l/mn
- Débit de sirop 50- 80 Kg/mn
- Désaération 0,2- 2 ppm

##### b- Domaine d'étude

Pour réaliser la matrice expérimental, on a choisi deux valeurs (minimum et maximum) pour chaque facteurs tels que la température, la pression, le débit de l'eau, le débit de sirop et la désaération.

##### c- Modélisation mathématique

L'équation de modèle mathématique postulé est de la forme suivante :

$$\text{L'équation de modèle est : } Y = b_0 + b_1 * X_1 + b_2 * X_2 + b_3 * X_3 + b_4 * X_4 + b_5 * X_5$$

X1 : Température (deg °C)

X2 : Pression (psi)

X3 : débit eau (l/ min)

X4 : débit sirop (kg / min)

X5 : désaération (ppm)

##### d- expérimentation

Les résultats des essais sont rassemblés dans le tableau 2 ci- dessous.

**PFE MST CAC**  
**Tableau 1: plan d'expérimentation de criblage**

*Plan d'expérimentation*

N°Exp	Rand	temp	press	debit eau	debit sirop	désaerati on	brix	Vco2
		deg	psi	l/min	kg/mn	ppm	deg brix	ml
1		12	4	360	50	2	10.46	3.82
2		9	4	360	80	0.2	10.28	3.98
3		9	3	360	80	2	10.22	3.93
4		12	3	220	80	2	10.21	3.88
5		9	4	220	50	2	10.45	3.81
6		12	3	360	50	0.2	10.49	3.95
7		12	4	220	80	0.2	10.22	3.98
8		9	3	220	50	0.2	10.37	3.90

## A. Validation statistique du modèle criblage

### 1. étude de la variation CO<sub>2</sub>.

#### a. Analyse de la variance (Test de Fischer)

Les aboutissements de L'application des équations de l'analyse de la variance (test de Fischer) sur les résultats du volume CO<sub>2</sub> obtenus par le logiciel Nemrodw sont regroupés dans le tableau 3

## PFE MST CAC

Tableau 2 : analyse de la variance de modèle

*Analyse de la variance : réponse Y2 : Vco2*

Source de variation	Somme des carrés	Degrés de liberté	Carré moyen	Rapport	Signif
Régression	0.0298	5	0.0060	11.6146	8.1
Résidus	0.0010	2	0.0005		
Total	0.0308	7			

Le tableau 3 montre que les résultats de la variance obtenue par le modèle et la variance résiduelle sont homogènes et que la régression n'est pas significative. Avec la statistique de Fischer  $F = 11.61$   $F$  critique (5,2)=39.3 ( $F$  calculé <  $F$  critique)

### b. Coefficient de corrélation

Le tableau 4 suivant représente l'écart type sur la réponse et les coefficients de corrélation :

Tableau 3 : les paramètres du modèle

*Estimations et statistiques des coefficients : réponse Y2 : Vco2*

Ecart Type de la réponse	0.022638463
R2	0.967
R2A	0.883
R2 pred	0.467
PRESS	0.0164
Nombre de degrés de liberté	2

On constate que le coefficient de corrélation atteint 96,7% et le coefficient de corrélation ajusté la valeur de 88,3% (Tableau 4), ce qui prouve l'existence d'une bonne corrélation entre les données intervenant dans la création du modèle.

## PFE MST CAC

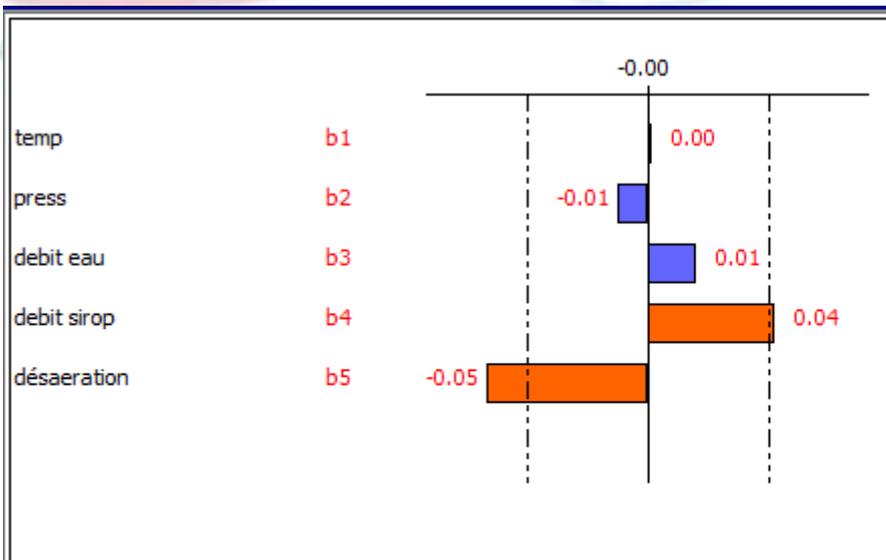
### c- Signification des effets

Le tableau 5 présente la signification de chaque facteur sur le résultat du volume CO<sub>2</sub>.

**Tableau 4 : les coefficients de modèle**

Nom	Coefficient	F Inflation	Ecart-Type	t.exp.	Signif. %
b0	3.906		0.008003905 3	488.04	< 0.01 ***
b1	0.001	1.00	0.008003905 3	0.16	89.0
b2	-0.009	1.00	0.008003905 3	-1.09	38.8
b3	0.014	1.00	0.008003905 3	1.72	22.8
b4	0.036	1.00	0.008003905 3	4.53	4.55 *
b5	-0.046	1.00	0.008003905 3	-5.78	2.87 *

La figure 17 représente la signification de l'effet chaque facteur sur la variation du volume CO<sub>2</sub>.



**Figure 16 : la signification des effets des facteurs sur le V co<sub>2</sub>**

## PFE MST CAC

D'après l'étude graphique (figure 18) obtenu par le logiciel Nemrodw, on constate que le débit de sirop et la désaération ont un effet considérable sur les résultats du volume CO<sub>2</sub>.

- **Livrable**

La désaération est un facteur plus significatif mais elle a un effet négatif, donc il est préférable de travailler avec un niveau bas (0,2 ppm). Par contre le débit de sirop est aussi significatif mais avec un effet positif, donc on doit régler le débit à 80 kg/min.

La figure (18) montre que les autres facteurs n'ont pas un effet significatif donc leur choix n'ont aucun effet sur les résultats.

L'équation du modèle mathématique qui contient compte uniquement des facteurs significatifs le débit de sirop et la désaération est de la forme suivante:

$$Y=3.906+0.036X_4-0.046X_5$$

### c. Diagramme de Pareto

Pour confirmer ces résultats, on va étudier les effets de ces 5 paramètres cités auparavant (la température, la pression, le débit de l'eau, le débit de sirop et la désaération.) Sur la variation du volume CO<sub>2</sub> en utilisant le Diagramme de Pareto (figures 19 et 20)

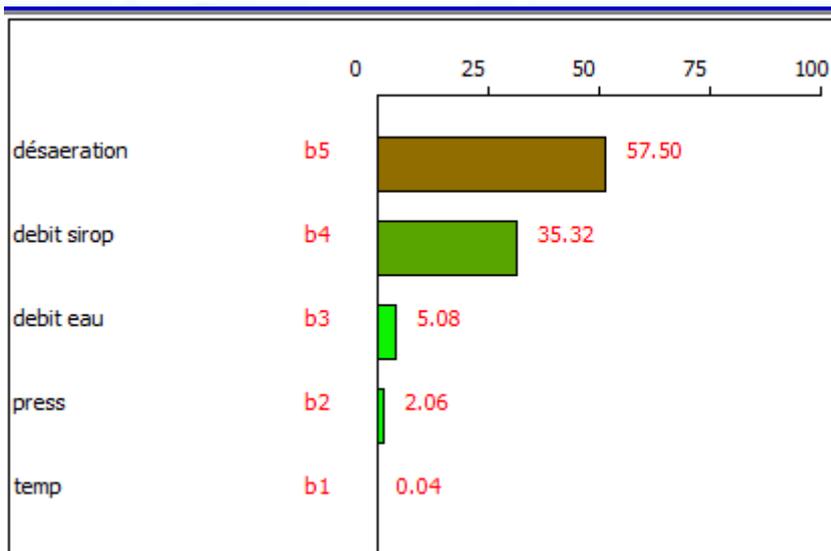
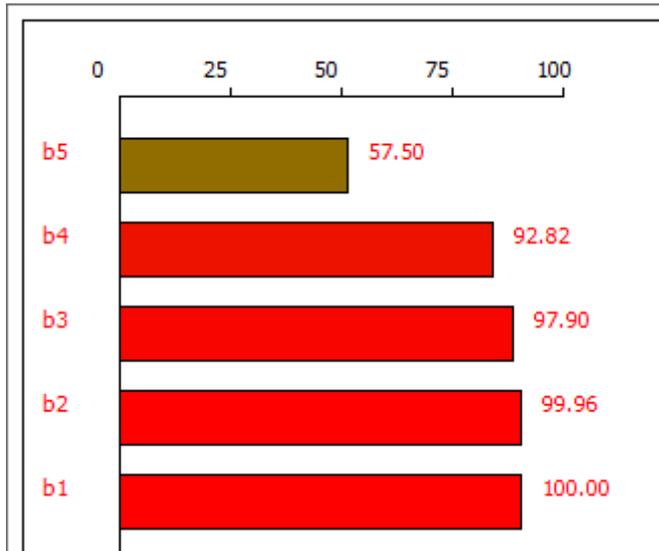


Figure 17 : diagramme du Pareto montrant la signification décroissante des effets



**Figure 18: diagramme des effets cumulés**

L'approche du Pareto ou 20/80 a montré les mêmes résultats que ceux obtenus dans le paragraphe signification. Le débit de sirop et désaération ont un effet supérieur à 80% des effets cumulés.

## B. Etude de la variation du Brix

### a. L'étude du modèle criblage

On va suivre la même démarche « validité de modèle et l'étude de facteurs » appliquée sur l'étude de l'effet de la température, la pression, le débit de l'eau, le débit de sirop et la désaération sur la variation du volume CO<sub>2</sub>.

L'application des équations de l'analyse de la variance (test de Fischer) sur les résultats de Brix obtenus par le logiciel Nemrodw sont regroupés dans le tableau 6

**PFE MST CAC**  
**Tableau 5 : Analyse de la variance du Brix**

*Analyse de la variance : réponse Y1 : brix*

Source de variation	Somme des carrés	Degrés de liberté	Carré moyen	Rapport	Signif
Régression	0.0955	5	0.0191	10.4658	9.0
Résidus	0.0036	2	0.0018		
Total	0.0991	7			

D'après les résultats de l'analyse de la variance du Brix, on constate que la variance obtenue par le modèle et la variance résiduelle sont homogènes et la régression n'est pas significative.

**Tableau 6 : les paramètres de modèle**

*Estimations et statistiques des coefficients : réponse Y2 : BRIX*

Ecart Type de la réponse	0.022638463
R2	0.967
R2A	0.883
R2 pred	0.467
PRESS	0.0164
Nombre de degrés de liberté	2

On remarque que la valeur de  $R^2=0.967$  et que la valeur  $R^2A=0.883$  sont tous les 2 supérieur à 0,8, ce qui montre la fiabilité du modèle

### **b. Signification des effets**

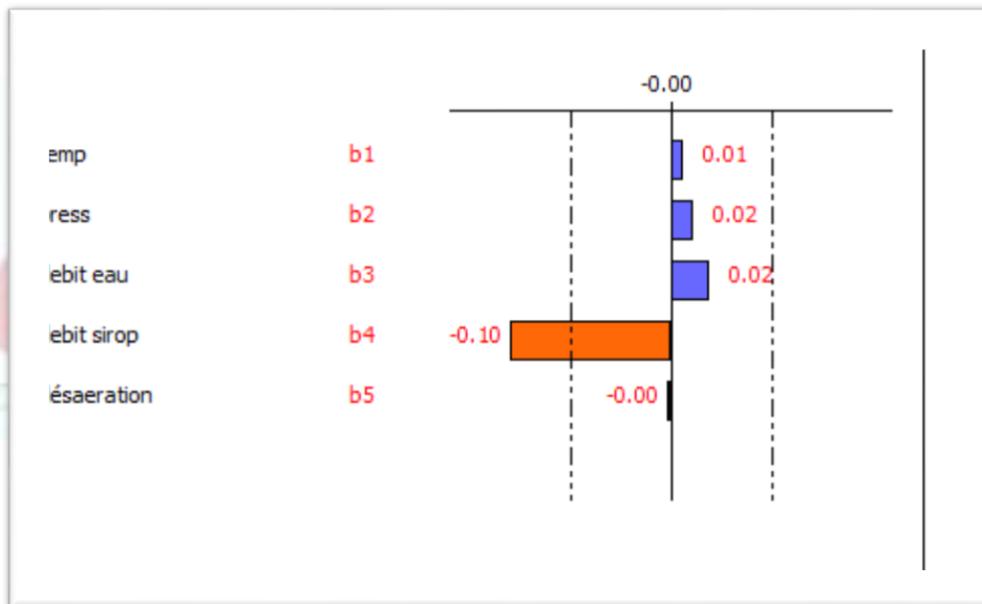
Le tableau 8 présente la signification de chaque facteur sur le résultat du Brix.

**Tableau 7 : les coefficients du modèle**

Nom	Coefficient	F.Inflation	Ecart-Type	t.exp.	Signif. %
b0	10.338		0.015103807	684.43	< 0.01 ***
b1	0.008	1.00	0.015103807	0.50	66.9
b2	0.015	1.00	0.015103807	0.99	42.5
b3	0.025	1.00	0.015103807	1.66	24.0
b4	-0.105	1.00	0.015103807	-6.95	2.01 *
b5	-0.002	1.00	0.015103807	-0.17	88.4

D'après les résultats du tableau 8, on remarque que le seul facteur X4 (débit de sirop) a un effet significatif sur la variation du Brix.

La représentation graphique de ces résultats de la signification de chaque facteur sur le résultat du Brix est présenté sur la figure 20.



**Figure 19 : la signification des effets des facteurs sur le volume de CO<sub>2</sub>**

D'après l'étude graphique (figure 20) obtenu par le logiciel Nemrodw, on constate que le débit de sirop a un effet négatif sur les résultats du volume CO<sub>2</sub>.

### **b- Livrable**

D'après cette étude graphique, on remarque que le débit de sirop est le seul facteur qui a une influence négatif sur la variation du Brix, donc il est mieux de régler au niveau bas (50 Kg/mn). Par contre les autres facteurs n'ont pas d'effet significatif sur le résultat.

Les diagrammes de Pareto et de Pareto cumulé seront utiles pour visualiser la domination de l'effet de débit de sirop sur les valeurs de Brix (Figures 21 et 22)

### PFE MST CAC

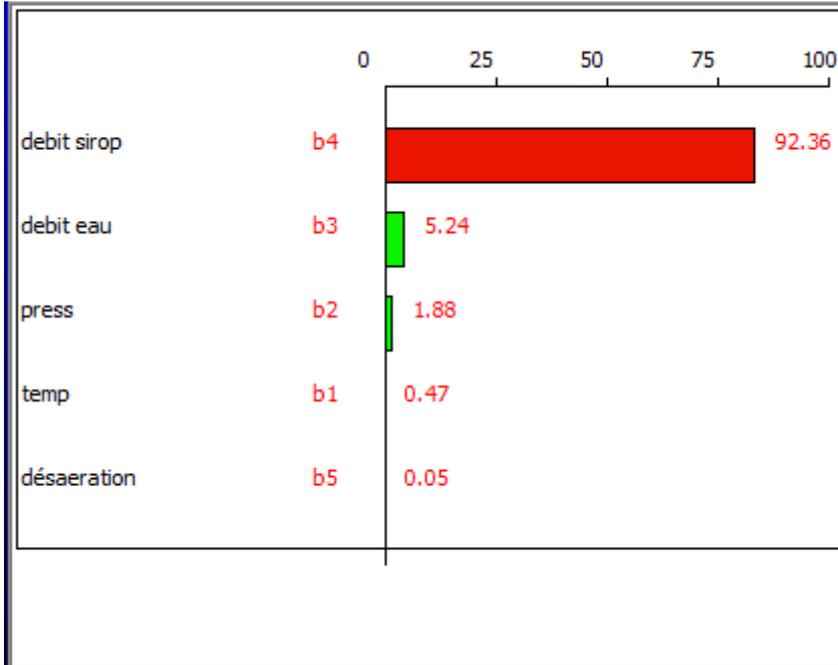


Figure 20 : classification de l'importance des effets

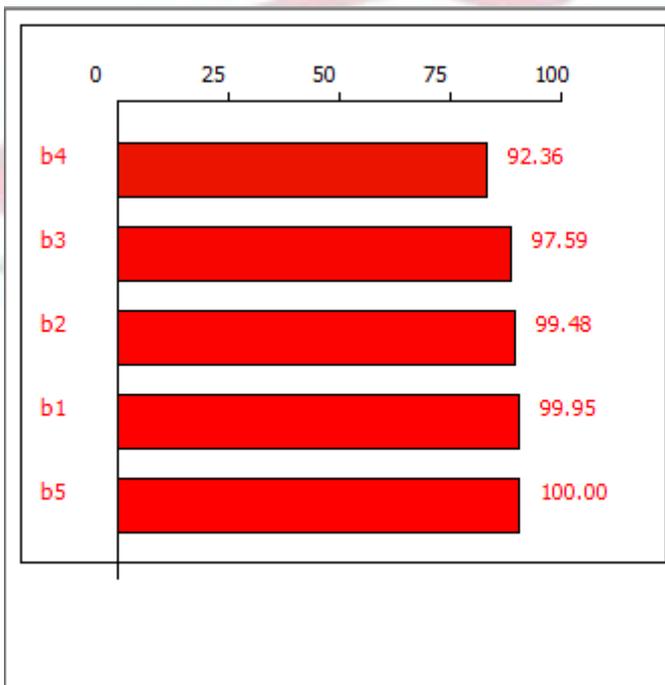


Figure 21 : diagrammes des effets cumulés

Les diagrammes de Pareto et Pareto cumulé montrent clairement que le seul débit de sirop a un effet considérable.

## 2. Le plan de Box - Benkhen.

De la même manière que le modèle criblage, on va utiliser le plan de Box - Benkhen comme plan d'expérience pour identifier et optimiser les paramètres influençant les résultats de la variation Brix et le volume CO<sub>2</sub> dans les produits CBGN.

Pour cela, la matrice expérimentale a été réalisée avec trois facteurs tels que le débit de l'eau, le débit de sirop et la désaération. Les réponses obtenues par Le logiciel Nemrodw sont représentés dans le tableau 2 suivant :

L'équation mathématique proposée est de la forme suivante :

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_{1-2} (X_1 * X_2)$$

X<sub>1</sub> : débit eau.

X<sub>2</sub> : débit sirop.

X<sub>3</sub> : désaération.

(X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>) : interaction de débit de l'eau et de débit de sirop.

### - Expérimentation

Le tableau 9 rassemble les résultats obtenus par Le plan de Box - Benkhen.

## PFE MST CAC

**Tableau 8: plan d'expérimentation Box-Benkhen**

N°Exp	Rand	débit eau	débit sirop	désaération	Vco2	Brix
1		220.0000	50.0000	1.1000	3.96	10.33
2		360.0000	50.0000	1.1000	3.83	10.43
3		220.0000	80.0000	1.1000	3.88	10.45
4		360.0000	80.0000	1.1000	3.89	10.34
5		220.0000	65.0000	0.2000	3.90	10.32
6		360.0000	65.0000	0.2000	3.84	10.42
7		220.0000	65.0000	2.0000	3.92	10.47
8		360.0000	65.0000	2.0000	3.86	10.30
9		290.0000	50.0000	0.2000	3.89	10.38
10		290.0000	80.0000	0.2000	3.93	10.32
11		290.0000	50.0000	2.0000	3.91	10.34
12		290.0000	80.0000	2.0000	3.95	10.41
13		290.0000	65.0000	1.1000	3.93	10.35
14		290.0000	65.0000	1.1000	3.87	10.32
15		290.0000	65.0000	1.1000	3.95	10.38

Selon le plan de Box – Benkhen, les différentes expériences numérotées de 1 à 12 occupent les milieux des arrêts, cependant les essais 13 à 15 représentent la reproductibilité du point central.

### **a. Etude de la validité du modèle**

- **Analyse de la variance**

Les résultats de test de l'analyse de la variance obtenus sur le Brix et le volume CO<sub>2</sub> sont représentés respectivement sur les tableaux 10 et 11.

**Tableau 9 : analyse de variance de Brix**

Source de variation	Somme des carrés	Degrés de liberté	Carré moyen	Rapport	Signif
Régression	0.0128	4	0.0032	1.1588	38.5
Résidus	0.0277	10	0.0028		
Validité	0.0259	8	0.0032	3.5928	23.6
Erreur	0.0018	2	0.0009		
Total	0.0405	14			

## PFE MST CAC

**Tableau 10 : analyse de variance de volume CO<sub>2</sub>**

Source de variation	Somme des carrés	Degrés de liberté	Carré moyen	Rapport	Signif
Régression	0.0134	4	0.0033	3.6502	4.40 *
Résidus	0.0091	10	0.0009		
Validité	0.0057	8	0.0007	0.4094	85.1
Erreur	0.0035	2	0.0017		
Total	0.0225	14			

D'après les résultats de l'analyse de la variance et en tenant compte de la valeur de p-value, on remarque que les effets sur le volume CO<sub>2</sub> sont significatives (p-value = 4.4)

Par contre, l'analyse de la variance nous montre que le modèle de Brix en fonction des facteurs X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>, X<sub>3</sub> et (X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>) n'est pas significative.

### Remarque :

Le test de l'ANOVA 2 (manque d'ajustement) pour les deux cas n'est pas significatif.

p-value = 23.6 pour le cas de Brix et p-value = 85.1 pour le cas de volume de CO<sub>2</sub>.

Donc il y a un manque d'ajustement.

On va compléter cette étude de la variation du volume CO<sub>2</sub> par l'écart type sur la réponse et les coefficients de corrélation :

- **Paramètres de modèle**

Le tableau 12 représente les paramètres de modèle de volume de CO<sub>2</sub>

**Tableau 11 : les paramètres du modèle**

Ecart Type de la réponse	0.030237945
R2	0.594
R2A	0.431
R2 pred	0.164
PRESS	0.018812463
Nombre de degrés de liberté	10

## PFE MST CAC

### a. Signification des facteurs

Dans le de tableau ci-dessous on représente les effets et leurs significations équivalentes :

**Tableau 12 : coefficients du modèle**

Nom	Coefficient	F.Inflation	Ecart-Type	t.exp.	Signif. %
b0	3.901		0.0078074039	499.61	< 0.01 ***
b1	-0.030	1.00	0.010690728	-2.81	1.86 *
b2	0.008	1.00	0.010690728	0.70	49.9
b3	0.010	1.00	0.010690728	0.94	37.2
b1-2	0.035	1.00	0.015118973	2.31	4.31 *

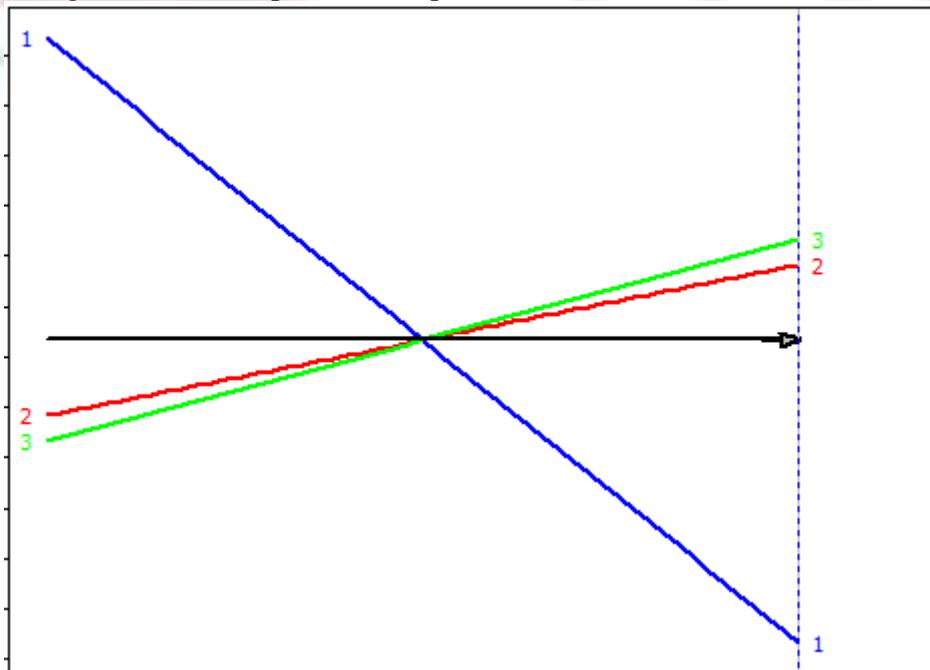
D'après ces résultats on remarque que le débit de l'eau est le facteur le plus significatif, il a un effet négatif, même l'interaction a un effet considérable.

En tenant compte que les effets significatifs donc l'équation ultime de plan de Box Benkhen est :

$$Y=3.901-0.03 X1+0.035 X1*X2.$$

### b. Sensibilité et l'optimum

La figure suivante représente les pentes de différents facteurs



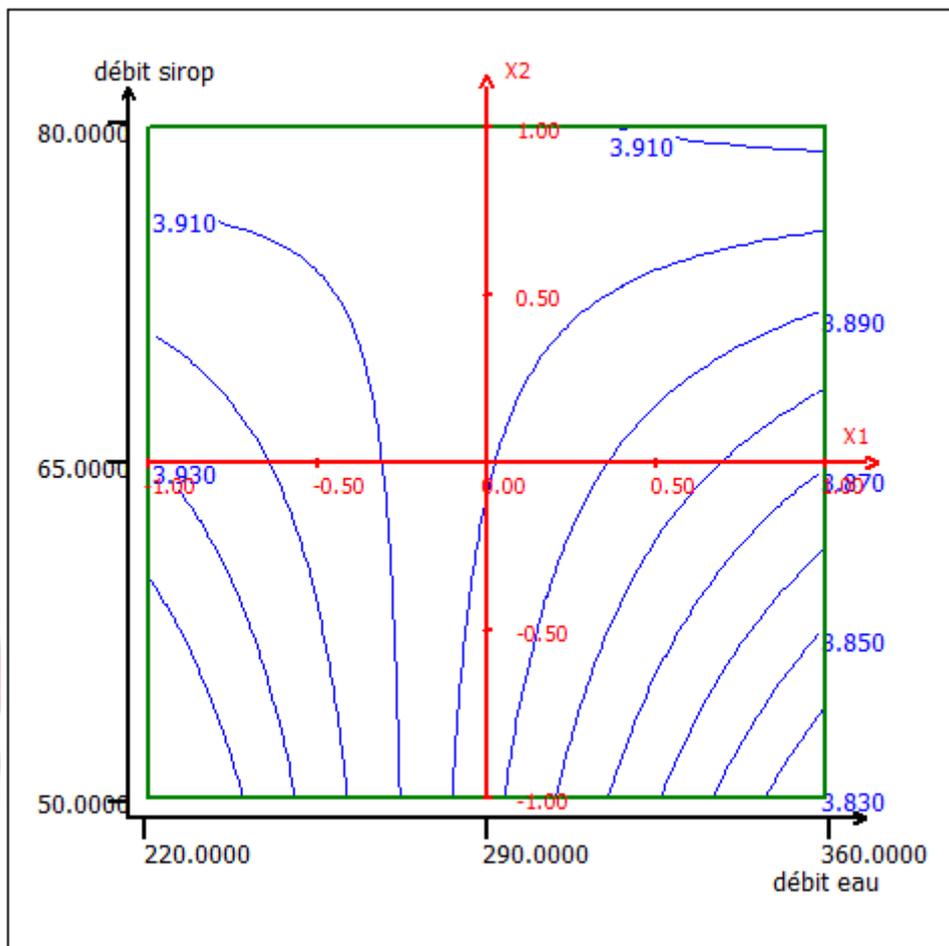
**Figure 22 : la sensibilité de différents facteurs.**

## PFE MST CAC

De cette figure il apparaît l'effet important négatif de débit de l'eau par rapport à la désaération et le débit de sirop, donc c'est mieux de prendre le débit de l'eau à son niveau bas.

Une étude graphique est intéressante pour trouver les coordonnées de chaque réponse liée à son incertitude, donc on peut aisément trouver l'optimum.

Pour le logiciel, il suffit de placer le curseur sur la surface 2D représentée par la figure 24.



**Figure 23 : représentation graphique des réponses et leurs incertitudes.**

Donc d'après cette figure 2D (désaération=1.1ppm), on peut tirer la valeur cible de volume  $\text{CO}_2$  dont sont représenté par les courbes bleues mais il faut tenir compte aux valeurs des incertitudes représentés par les axes rouges.

La mise en place à l'échelle industrielle des actions correctives nécessaires, obtenus par ces deux modèles criblage et le plan de Box – Benkhen, pour résoudre l'anomalie (dispersion anormale des valeurs de Brix et de  $\text{CO}_2$ ) a donné des résultats très satisfaisants et encourageants.

## **Conclusion et perspectives :**

Au cours de ce stage, on a soumis à l'étude de cinq facteurs la température, la pression, le débit de l'eau, le débit de sirop et la désaération qui influencent la variation du volume CO<sub>2</sub> et du Brix contenue dans les produits fini de la société CBGN.

Le plan d'expérience est un outil nécessaires qui permet d'établir l'équation afin d'optimiser les résultats et d'améliorer le maximum possible la qualité des produits finis. A l'aide de cet outil on a pu mettre le réglage optimal pour réduire la variabilité des résultats.

Pour cela on a appliqué la méthodologie des plans d'expériences et plus exactement le plan de criblage et le plan de surface de réponse type Box- Benkhen. Ces modèles nous ont permis de définir les valeurs optimales pour les facteurs influant sur la variation du Brix et du volume CO<sub>2</sub>, le débit de sirop et la désaération avec un minimum d'expérience. Ce modèle a été validé statistiquement.

Les solutions proposées ont été validé par des essais dans la chaine de production. Les résultats obtenus satisfaisants et confirment l'efficience du travail effectué.

**Référence :**

[1] : Support coca 2007 p 5

[2] : Contrôle qualité de la matière réceptionné p21

[3] : <http://www.metrodiff.org/cmsms/index.php/metrologie-contemporaine/qu-est-ce-que-metrologie.html>

[4] : <http://www.agro-analyses.com/nous/bacterio.html>

[5] : <http://diagrammeishikawa.com/ishikawa/>

[6] : mémoire six sigma-PME-pdf page 9

[7] : W. Tinsson, Plans d'expérience: constructions et analyses statistiques, Mathématiques et Applications p67

[8] : <https://fr.wikipedia.org/wiki/ANOVA>

[9] : regression inference -pdf -p1

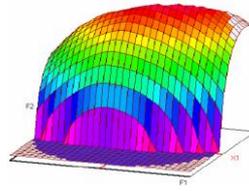
[10] : plan de surface du réponse p 20

[11] : <https://fr.wikipedia.org/wiki/A9ponses>.





Stage effectué à : CBGN



Master ST CAC Agiq

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

Nom et prénom: Nfissi Salim

Année Universitaire : 2016/2017

Titre: Optimisation des paramètres Brix et Volume CO<sub>2</sub> du produit Coca Cola

### Résumé

Le plan d'expérience est un outil nécessaire qui permet d'optimiser les résultats et d'améliorer le maximum possible la qualité des produits finis. A l'aide de cet outil on a étudié l'effet de cinq facteurs la température, la pression, le débit de l'eau, le débit de sirop et la désaération sur la variation du volume CO<sub>2</sub> et du Brix contenue dans les produits fini de la société CBGN.

Pour cela, on a appliqué la méthodologie des plans d'expériences et plus exactement le plan de criblage et le plan de surface de réponse type Box- Benkhen. Ces modèles nous ont permis de définir les valeurs optimales pour les facteurs influant sur la variation du Brix et du volume CO<sub>2</sub>, le débit de sirop et la désaération avec un minimum d'expérience. Ce modèle a été validé statistiquement.

Les solutions proposées ont été validé par des essais dans la chaine de production. Les résultats obtenus sont satisfaisants et confirment l'efficacité du travail effectué.

**Mots clés: 5 mots au maximum**

**Plan d'expériences ; optimisation Brix ; optimisation du volume de CO<sub>2</sub> ; Qualité du coca cola.**

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