

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université A. MIRA - Bejaïa

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Science Alimentaires
Spécialité : Qualité des Produits et Sécurité Alimentaire



Réf :

Mémoire de Fin de Cycle
En vue de l'obtention du diplôme

MASTER

Thème

**Suivi de l'épuration calco-carbonique et filtration au
cours du process de production du sucre blanc Cevital**

Présenté par :

ITIBROUT Mohamed & AIDI Djamel

Soutenu le : **10/09/2020**

Devant le jury composé de :

| | | |
|---------------------------------|-----|--------------|
| Mr. MOKRANI Abderrahmane | MCA | Promoteur |
| Mr. CHIKHOUNE Amirouche | MCA | Président |
| Mme SLIMANI Sakina. | MAA | Examinatrice |

Année universitaire : 2019/2020

Dédicaces



A la mémoire de mes grands-parents,

*A mes très chers parents pour tous les efforts consentis afin de m'armer du
savoir,*

A ma sœur et à mes frères pour leur affectueux soutien moral,

A ma femme bien aime

A tous mes amis et amies,

A toutes celles et à tous ceux qui m'aiment,

A toi Djamel.

MOHAMED

Dédicaces



Je dédie ce modeste travail à :

Mes très chers parents, pour leur amour et leurs sacrifices. Ils sont toujours pour moi une source d'inspiration. Ils m'ont soutenu tout au long de mon parcours jusqu'à aujourd'hui. Ils sont pour moi un véritable exemple ;

Ma femme bien aimé IMILENE et mon très cher fils AYOUB

Mes chers frères : MOHAMED, SAMIR, FARID, MASSINISSA et mes chères sœurs : LILLIA, NASSIMA, KAHINA Pour leurs soutient et leurs présence chaleureuse

A mon beau-frère, mes belles-sœurs, ma nièce SARA et tous mes neveux

ABDERAOUF, IDRIS, YOUNES ET ADEM

A mon binôme MOHAMED, et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible, je vous dis merci.

DJAMEL

Remerciements

Avant toute chose nous remercions DIEU le Tout Puissant qui nous a donné la volonté, le courage, la persévérance et la santé afin de réaliser ce travail.

Nous remercions profondément notre promoteur **Mr. MOKRANI Abderrahmane** pour avoir accepté de nous encadrer tout au long de ce travail, en nous faisant bénéficier de ses connaissances, ainsi que pour son aide, ses critiques constructives, sa disponibilité, son suivi, ses conseils et orientations et son soutien en âme dynamique.

Nous tenons à exprimer toute notre gratitude et notre respect à **Mr. BOUDERIES Hafid**, Chef de département des sciences alimentaires, pour son aide et disponibilité.

Nous remercions très chaleureusement les membres de jury : **Mme SLIMANI Sakina** et **Mr. CHIKHOUNE Amirouche** en nous faisant l'honneur d'accepter d'examiner notre travail.

Nos sincères remerciements s'adressent à Mr le Directeur pole sucre Cevital **Mr. SAKER Chrif** de nous avoir donné l'opportunité de faire ce stage, ainsi que **Mr. Bounadi Hakim** pour l'aide qu'il nous a apporté, ses orientations et conseils qui ont été très bénéfiques pour nous ainsi que pour ses qualités humaines.

Enfin, nos remerciements s'adressent à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Table des matières

Glossaire

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction 1

Partie bibliographique

Chapitre I : Notions générales sur le sucre de canne

1. Canne à sucre 2

1.1. Définition et Description botanique 2

1.2. Condition de culture 2

1.3. Composition de la canne à sucre 3

2. sucre roux 3

2.1. Définition 3

2.2. Procédé d'extraction du sucre roux de canne 3

3. Le saccharose 5

3.1. Définition et structure moléculaire 5

3.2. Propriétés du saccharose 6

Chapitre II : Raffinage du sucre roux

1. Processus de raffinage du sucre roux 8

2. Les différentes étapes de raffinage 9

2.1. Affinage et refonte 9

2.2. Epuration calco-carbonique 9

2.3. Filtration 10

2.4. Décoloration 10

| | |
|-----------------------------------|----|
| 2.5. Concentration | 11 |
| 2.6. Cristallisation | 12 |
| 2.7. Séchage | 14 |
| 2.8. Stockage et maturation | 14 |
| 2.9. Conditionnement | 14 |

Chapitre III : L'épuration calco-carbonique et filtration

| | |
|---|----|
| 1. Présentation des installations | 15 |
| 1.1. La section carbonatation | 15 |
| 1.2 La section filtration | 16 |
| 2. Les principales étapes de l'épuration calco-carbonique | 16 |
| 2.1. Préparation de lait e chaux | 16 |
| 2.2 Chaulage | 16 |
| 2.3. Carbonatation | 17 |
| 2.4. Mécanisme de l'épuration calco-carbonique | 18 |
| 3. Filtration | 19 |

Partie pratique

Chapitre IV : Matériel et Méthodes

| | |
|---|----|
| 4. Notions générales sur la chimie sucrière | 21 |
| 4.1. Brix | 21 |
| 4.2. Polarisation..... | 21 |
| 4.3. Pureté..... | 21 |
| 4.4. Solubilité | 22 |
| 4.5. Colorimétrie | 22 |
| 4.6. Saturation | 22 |
| 4.7. Non-sucre..... | 22 |
| 1. Echantillonnage et prélèvements..... | 23 |

| | |
|--|----|
| 2. Appareillage et matériels utilisés | 24 |
| 3. Analyses physico-chimiques (protocole expérimental) | 24 |
| 3.1. Mesure du brix, de la polarisation et de la coloration des sirops | 24 |
| 3.2. Mesure du pH | 25 |
| 3.3. Mesure de l'alcalinité | 25 |
| 3.4. Évaluation de la qualité du sucre blanc d'ensachage | 26 |

Chapitre V : Résultats et discussion

| | |
|---|-----------|
| 1. Résultats de mesure du Brix, pureté et couleur des sirops de refonte (SR) et filtré (SF) et le taux rendement de la carbonatation (Taux Rdt) | 29 |
| 2. Résultats de mesure du pH des sirops de refonte (SR), sirop carbonaté (SC), sirop filtré (SF) et jus chaulé (JC) | 33 |
| 3. Résultats de mesure de L'alcalinité (g CaO/L) du jus chaulé (JC) | 35 |
| 4. Conformité du sucre blanc (produit final) de Cevital | 36 |
| 4.1. Résultats de mesure de la polarisation | 37 |
| 4.2. Résultats de mesure de la couleur | 38 |
| 4.3. Résultats de mesure de la teneur en cendres conductimétriques..... | 38 |
| 4.4. Résultats de mesure de la teneur en sucres réducteurs (invertis) | 39 |
| Conclusion..... | 40 |

Références bibliographiques

Annexe I

Annexe II

Glossaire

- **Adsorption** : Rétention à la surface d'un solide des molécules d'un gaz ou d'une substance en solution ou en suspension.
- **Bagasse** : Résidu fibreux issu du broyage de la canne. Représente environ 20 à 30% de la masse de canne.
- **Boue** : Résidu provenant de la filtration du sirop de sucre épuré.
- **Canne** : Nom de diverses espèces de roseaux (plante aquatique à tige creuse).
- **Chaux** : Substance caustique solide, obtenue par calcination du calcaire et d'autres formes de carbonate de calcium. La chaux pure, est constituée d'oxyde de calcium (CaO).
- **Degré Baumé** est une unité de mesure indirecte de concentration, via la densité.
- **Eau mère** : Sirop dans lequel baignent les cristaux de sucre de la masse cuite.
- **Écumes** : Résidu résultant du traitement de la boue au niveau du filtre presse.
- **Egout** : Produit encore riche en sucre cristallisable ou saccharose. En sucrerie, la centrifugation permet de séparer les cristaux de sucre, du liquide qui les entoure. C'est ce liquide qui est appelé l'égout. Il est réutilisé dans la chaîne de fabrication afin d'en extraire au maximum le sucre.
- **Floculat** : précipité du a une floculation, procédés réversible consistant à rassembler les particules en suspension dans une substance colloïdale.
- **Invertase** : Enzyme catalysant l'hydrolyse du saccharose en fructose et en glucose.
- **Inverti** : Terme qualifiant le saccharose transformé en glucose et en fructose.
- **Lait de chaux** : Addition d'une chaux de bonne qualité à une eau légèrement sucrée.
- **Magma** : Produit d'empattage du sucre roux et d'eau sucrée.
- **Masse-cuite** : est un mélange de cristaux et de sirop.
- **Mélasses** : Résidu incristallisable, visqueux, résultant de la cristallisation bas produits.
- **Petit jus** : Eau sucrée récupérée lors de la filtration des boues.
- **Roux** : qui est d'un rouge tirant sur le jaune.
- **Saponine** : appartient à un groupe de glucosides huileux naturels qui moussent abondamment lorsqu'on les agite dans une solution.
- **Vesou** : Appellation du jus de canne.

Liste des abréviations

BP : Bas-Produits.

CEE : Communauté Européen Economique.

CV : Coefficient de Variation.

DCO : Demande Chimique en Oxygène.

EP : Egouts Pauvres.

ER : Egouts Riches.

HP: Hauts Produits.

ICUMSA: International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis.

m_E : Masse de l'eau.

m_S : Masse de sucre.

MS : Matière Sèche.

NS : Non Sucres.

OM : Ouverture Moyenne.

PDAH : Produits de Dégradation Alcaline des Hexoses.

POL : Polarisation.

Q' : Quantité d'Eau.

Q : Quantité de Sucre.

S : Sucre.

SD : Sirop Décoloré.

SF : Sirop Filtré.

SNFS : Syndicat National des Fabricants de Sucre de France.

UI : Unités ICUMSA.

UV /VIS : Ultraviolet-Visible.

Liste des figures

| | |
|---|----|
| Figure 1 : Représentation schématique de la canne à sucre adulte | 2 |
| Figure 2 : Répartition des constituants de la canne à sucre..... | 3 |
| Figure 3 : Schéma typique du processus de production de sucre brut | 5 |
| Figure 4 : Représentation de la structure du saccharose | 6 |
| Figure 5 : Schéma de process de raffinage du sucre roux Cevital | 10 |
| Figure 6 : Schéma simplifié d'une ligne de décoloration au niveau de Cevital | 12 |
| Figure 7 : Résine échangeuse d'ions | 13 |
| Figure 8 : Représentation des flux de matières dans un appareil à cuire | 14 |
| Figure 9 : Circulation du CO ₂ dans une chaudière de carbonatation | 19 |
| Figure 10 : Fonctionnement d'un filtre à Le filtre Exofalc | 22 |
| Figure 11 : Schéma d'un filtre à presse..... | 22 |
| Figure 12 : Variation du Brix du sirop refonte (SR) et du sirop filtré (SF) | 30 |
| Figure 13 : Variation de la pureté du sirop refonte (SR) et du sirop filtré (SF) | 31 |
| Figure 14 : Évolution de la couleur du sirop refonte (SR) et du sirop filtré (SF) | 32 |
| Figure 15 : Variation du taux de rendement de la carbonatation (taux Rnt) | 33 |
| Figure 16 : Evolution du ph des sirops de refonte (SR), carbonaté (SC), filtré (SF) et jus chaulé (JC) | 34 |
| Figure 17 : Variation de l'alcalinité (g CaO/L) du jus chaulé (JC)..... | 36 |
| Figure 18 : Polarisation du sucre blanc | 37 |
| Figure 19 : Couleur du sucre blanc | 38 |
| Figure 20 : Teneur en cendres conductimètriques du sucre blanc | 38 |
| Figure 21 : Teneur en sucres réducteurs du sucre blanc | 39 |

Liste des tableaux

Tableau I : Principales réactions de transformation de la chaux 20

Tableau II : Echantillons prélevés des sections concernées et leurs paramètres étudiés. 23

Tableau III : Résultats de mesure du Brix, pureté et couleur des sirops de fonte (SR) et filtré (SF) et le taux rendement de la carbonatation (Taux Rdt) 29

Tableau IV : Résultats de mesure du pH des sirops de fonte (SR), carbonaté (SC), filtré (SF) et jus chaulé (JC) 34

Tableau V : Résultats de mesure de l'alcalinité (g CaO/L) du jus chaulé (JC) 35

Tableau VI : Résultats d'analyse du sucre blanc (produit fini) 37

INTRODUCTION

Introduction

Le sucre est un produit de consommation de première nécessité. Ce nutriment de la famille des glucides est indispensable à notre organisme auquel il procure l'énergie nécessaire à son fonctionnement (**Ouerfelli, 2008**).

La production mondiale de sucre est en pleine expansion. Elle suit l'augmentation des besoins de consommation dont plus des deux tiers émanent des industries agroalimentaires. Les trois grands producteurs qui sont le Brésil, l'Inde et l'Union Européenne réalisent près de la moitié de la production mondiale. La canne à sucre a distancé la betterave puisqu'elle représente les trois quarts de la production mondiale de sucre (**Courteau, 2005**).

L'industrie sucrière est confrontée à des contraintes à la fois économiques et environnementales. Les recherches entreprises en vue de l'amélioration de la qualité et de la couleur du sucre avec des rapports qualité/prix compétitifs sont devenues des critères très importants dans l'industrie et le marché du sucre. Cette situation a amené les industriels du sucre à chercher les voies et les moyens d'augmenter le rendement de l'extraction du saccharose et d'accélérer le développement économique sans pour autant nuire à l'environnement (**Belhamri, 2005**).

La production du sucre nécessite plusieurs étapes que ce soit en sucrerie ou en raffinerie. Ainsi, il existe plusieurs entreprises dans le monde, dont l'entreprise Cevital, servant à traiter le sucre sous ses différentes formes (cristallisé, liquide, morceaux...), afin de présenter un produit final de bonne qualité répondant aux normes réglementaires et aux besoins des consommateurs. Pour cela, il est nécessaire d'assurer le bon fonctionnement et la stabilité du processus du raffinage du sucre, notamment les étapes de la carbonatation et filtration.

C'est dans cet objectif que nous nous sommes intéressés à l'étude et au suivi du raffinage du sucre au sein de la raffinerie de sucre 3500 T/j au complexe agroalimentaire Cevital de Bejaia, notamment le suivi des deux étapes épuration et filtration et leurs impact sur la qualité du sucre blanc produit. Nous avons réalisé différentes analyses physicochimiques tout au long du processus de raffinage puis discuter et comparer les résultats des analyses aux normes.

PARTIE
BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre I

NOTIONS GENERALES SUR LE SUCRE DE CANNE

Chapitre I : Notions générales sur le sucre de canne

1. La canne à sucre

1.1. Définition et description botanique

La canne à sucre « *Saccharum officinarum* » est une grande plante noble du fait de sa richesse en sucre. Elle est de la famille des graminées, vivace, cultivée dans les régions tropicales ou subtropicales. Le saccharose, élaboré dans les feuilles par la photosynthèse, s'accumule dans les tiges de la plante (Siret, 2008 ; Vercambre et Langellier, 2008). Ces dernières peuvent atteindre entre 2,5 et 4 m de hauteur et 1,5 à 6 cm de diamètre, selon les variétés utilisées. Leur écorce lisse et épaisse va du jaune au violet selon les variétés. Les tiges sont structurées en tronçons de 10 à 20 cm (les entre-noeuds), séparés par des nœuds où les feuilles prennent naissance. L'apparition de la floraison marque la fin de la croissance de la plante et le début d'une augmentation sensible de formation de saccharose qui se déclenche sous l'action de la sécheresse et de la fraîcheur nocturne (Arzate, 2005).

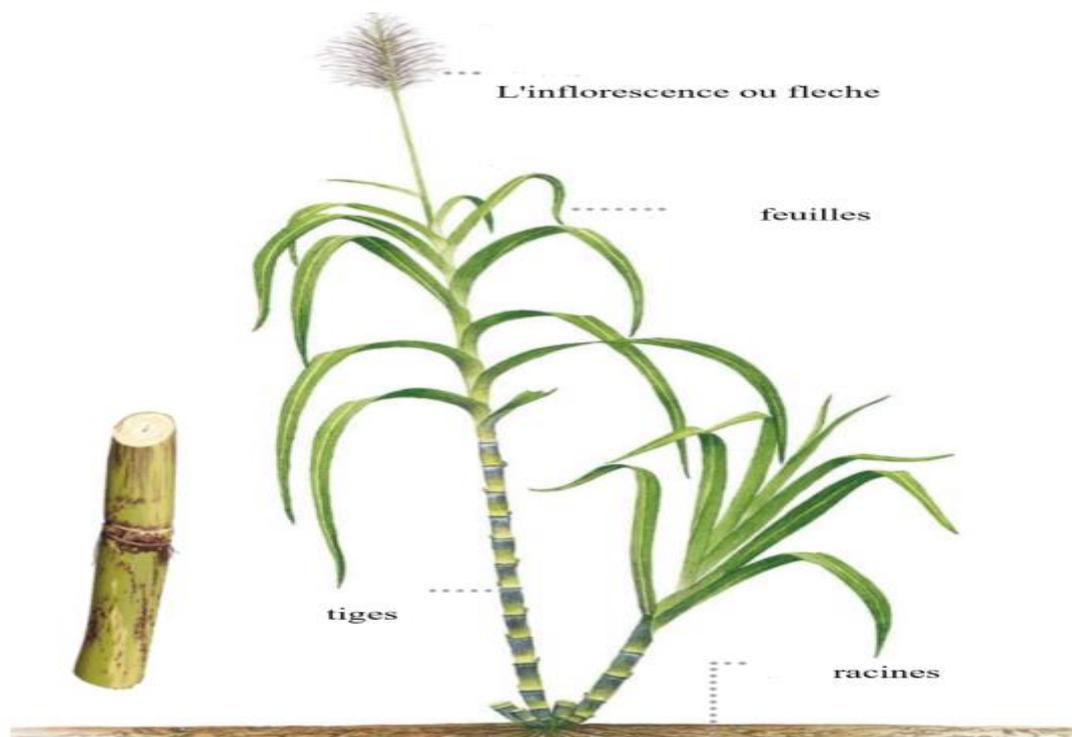


Figure 1 : Représentation schématique de la canne à sucre adulte (Cirad, 2009).

1.2. Condition de culture

La culture de la canne à sucre s'étend dans les régions situées de part et d'autre de l'équateur (Brésil, Inde, Chine,...), entre les latitudes 35° Nord et 30° Sud (régions tropicales et subtropicales). Sa croissance végétative est favorisée par des températures élevées entre 26

et 34°C, par contre elle ne croît plus à des températures inférieures à 20°C et elle ne tolère pas le gel. La plantation se fait, manuellement ou mécaniquement, au début de la saison des pluies. La canne à sucre demande un sol aéré, assez riche et bien irrigué. La chaleur et l'ensoleillement sont également les facteurs clés pour une bonne récolte (Arzate, 2005).

1.3. Composition de la canne à sucre

Les principaux constituants de la canne à sucre sont le sucre et les fibres. La composition moyenne est présentée dans la **figure 2**.

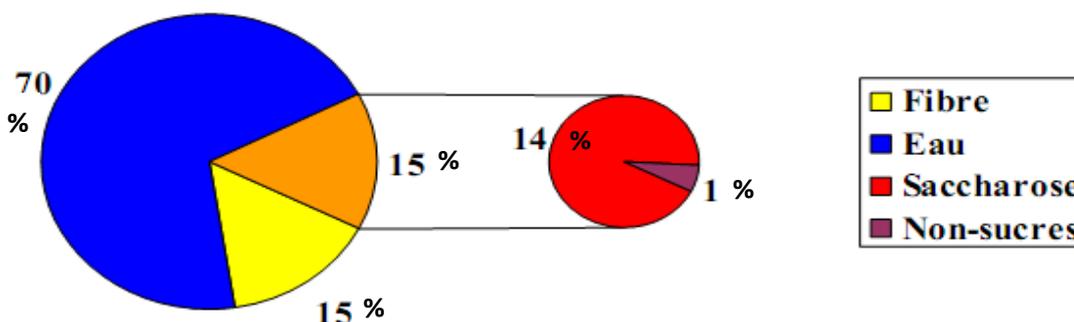


Figure 2 : Répartition des constituants de la canne à sucre (Corcodel et Hoareau, 2006).

2. Sucre roux

2. 1. Définition

Le sucre roux est extrait directement du jus de la canne à sucre pressée, filtré et concentré. C'est un sucre complet auquel on a plus ou moins enlevé la mélasse (sous-produit noirâtre issu du raffinage) par centrifugation. Le sucre est ensuite séché et refroidi afin d'optimiser sa conservation. Il se caractérise par des cristaux de saccharose recouverts d'un film de mélasse de canne (Arzate, 2005).

2. 2. Procédé d'extraction du sucre roux de canne

Le Procédé d'extraction du sucre roux de canne se fait suivant les étapes suivantes schématisées dans la **figure 3**.

2. 2. 1. Réception et préparation des plantes

La canne à sucre est reçue puis préparée à travers des bandes transporteuses. Elle est pesée puis analysée pour déterminer sa richesse en saccharose ainsi que sa pureté à l'aide d'un échantillonnage effectué au sein des camions et engins de chargement et d'acheminement. Elle est ensuite lavée afin d'éliminer la terre (Amrani, 2006).

2. 2. 2. Extraction

A l'issue de la préparation, aucun jus n'a encore été extrait. La fibre se comporte comme une éponge et peut retenir jusqu'à 7 fois son poids de jus. L'atelier d'extraction a pour fonction d'extraire ce jus au maximum. Les morceaux de canne à sucre passent dans une série de trois moulins cylindriques montés en triangle et tournant lentement (4 à 6 tour/min).

La canne subit deux broyages dans chaque moulin donnant ainsi un liquide sucré, le vesou. La « bagasse », résidu fibreux qui sort des moulins, sert de combustible à la chaudière qui alimente toute l'usine en vapeur. Les moulins permettent d'extraire 92 à 96 % de saccharose contenu dans les tiges de canne (Arzate, 2005, Lameloise, 2007).

2. 2. 3. Épuration

Le vesou, qui contient un grand nombre d'impuretés, est épuré d'abord par tamisage pour enlever essentiellement les particules ligneuses, puis par chauffage et par ajout de chaux. Une alcalinisation progressive du vesou jusqu'à un pH supérieur à 8 a eu donc lieu.

Après le chaulage, le vesou est porté à ébullition (105°C) dans des réchauffeurs afin de favoriser l'insolubilisation du flocculat. Dans le clarificateur, le vesou décante et les impuretés noires ou « boues » se déposent au fond. Le jus clair obtenu en surface contient de nombreux sucres réducteurs car l'épuration ne les détruit pas. Les boues récupérées au fond du décanteur sont mélangées avec la fine bagasse (adjuvant de filtration) et sont filtrées sur des filtres rotatifs sous vide. Le jus obtenu est renvoyé en épuration, tandis que la boue (ou écumes) devient un sous-produit (Arzate, 2005).

2. 2. 4. Evaporation et cristallisation

Le jus sucré est envoyé dans des chaudières. L'eau s'évapore peu à peu tandis que le jus sucré se transforme en sirop. La cristallisation est effectuée en trois étapes appelées jets (Rousseau *et al.*, 1990). Elle consiste à chauffer le sirop pour qu'il se concentre de plus en plus jusqu'à la sursaturation, les cristaux apparaissent. Cette masse est chauffée à 80°C et le jus restant est appelé « mélasse » (Rageot et Rene, 2004).

2. 2. 5. Malaxage et turbinage

Cette étape consiste en un refroidissement de la masse cuite qui est déversée dans un bac de malaxage d'une température allant de 45 à 50°C. Ce refroidissement achève le grossissement des cristaux dans l'eau mère. Le sucre blanc commercialisé ne sort que du premier jet. Les deuxièmes et troisièmes jets ne produisent que du sucre roux (Hugot E, 1986).

2. 2. 6. Séchage

Les cristaux de sucre sont séchés dans des granulateurs à tambour (Arzate, 2005).

2. 2. 7. Emballage et entreposage

Pour la consommation locale dans les pays producteurs, le sucre brut obtenu est souvent vendu et consommé en l'état. Les cristaux de sucre sont donc mis dans des sacs. Pour l'exportation, le sucre brut est entreposé en piles plusieurs jours et même plusieurs semaines jusqu'à ce qu'il soit chargé sur les navires. Le sucre brut de canne est importé en vrac par cargo pouvant transporter plus que 40 000 tonnes à la fois (Arzate, 2005).

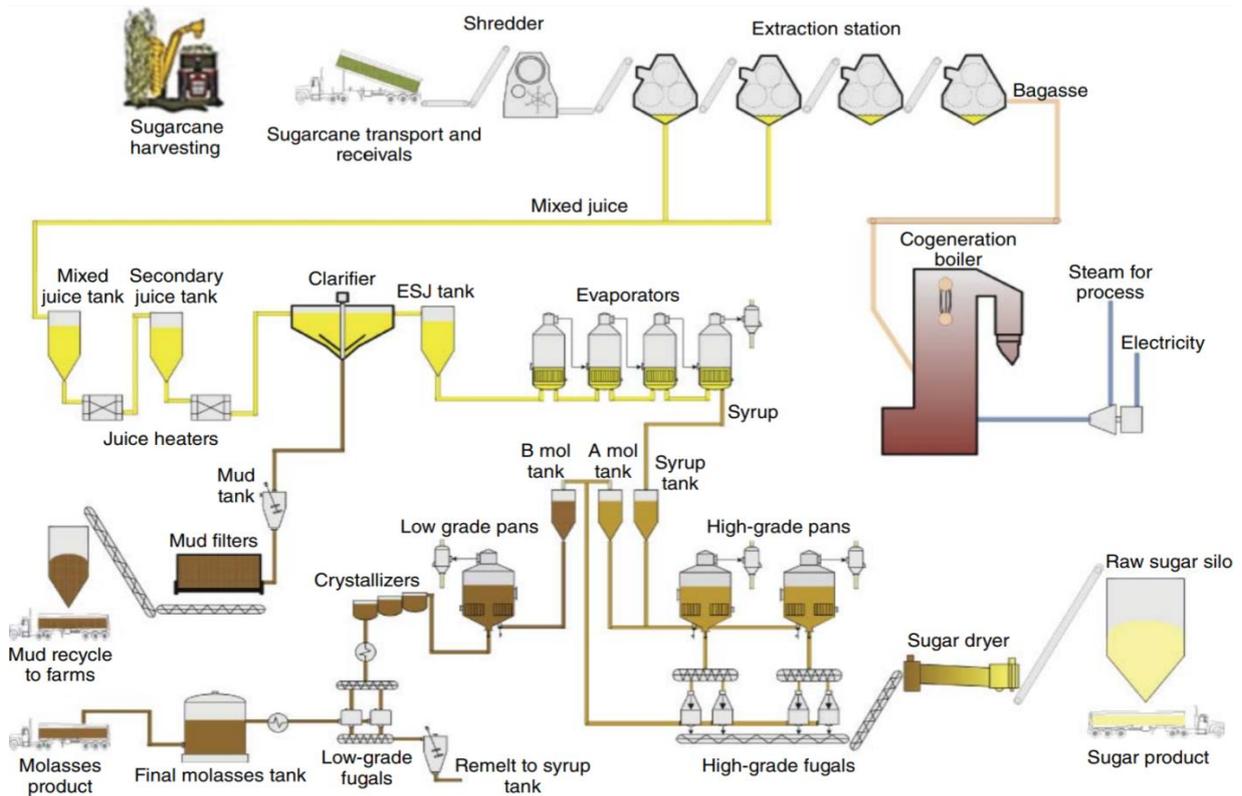


Figure 3 : Schéma typique du processus de production de sucre brut (O'Hara, 2016).

3. Le saccharose

3.1. Définition et structure moléculaire

Le saccharose est un disaccharide ou diholoside, non réducteur, formé de deux molécules d'hexoses réducteurs : le glucose (aldose) et le fructose (cétose) (Vercambre Langellier, 2008). Sa formule chimique brute est $(C_{12}H_{22}O_{11})$ avec une masse moléculaire de 342,30g/mol. Son nom officiel selon la nomenclature internationale est le α -D.glucopyranosyl (1,2) - β -D.fructofuranoside (Belhamri, 2005).

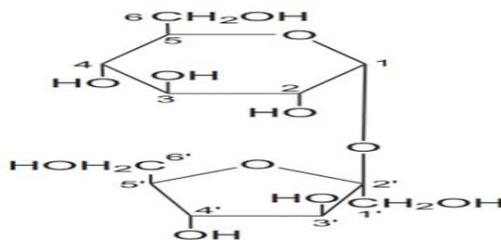


Figure 4 : représentation de la structure du saccharose (BeMiller, 2019).

3. 2. Propriétés du saccharose

Le sucre n'est pas seulement ajouté pour donner un goût sucré aux aliments puisque le sucre contient de l'énergie (4 cal/g). C'est un édulcorant nutritif. Il a de nombreuses propriétés fonctionnelles qui améliorent l'aspect sensoriel des aliments et leur salubrité. Par exemple, le sucre peut réduire la sensation désagréable du goût amer, ce qui rend les aliments comme le chocolat et la limonade plus agréables. Il joue un rôle d'agent de conservation des aliments et fermentatif (David *et al.* , 2010).

3. 2.1. Aspect

Le sucre du commerce se présente sous la forme d'une matière cristalline blanche et brillante (prismes rhomboïdes) non hygroscopique. Son humidité est très faible, de l'ordre de 0,05% et sa stabilité au stockage est très grande (Beck *et al.* , 1999).

3. 2.2. Granulométrie

Le sucre se présente sous différents formes granulométriques, chacune adaptée aux multiples besoins des industries utilisatrices. La granulométrie est exprimée au moyen de deux chiffres : l'ouverture moyenne qui caractérise la dimension moyenne des cristaux (OM) et le coefficient de variation (CV) qui caractérise la dispersion des cristaux autour de cette valeur moyenne (Doucet, 1999).

3. 2.3. Solubilité

L'une des propriétés fondamentales du saccharose est sa solubilité dans l'eau. La raison de sa haute solubilité est qu'il contient huit groupes hydroxyles (–OH) libres auxquels au moins cinq molécules peuvent s'attacher aux autres molécules notamment à l'eau (phénomène de solvation) (Asadi, 2007).

En règle générale, le saccharose est nettement moins soluble dans les solvants non aqueux qu'en solution aqueuse. En outre, il n'est pas soluble dans les solvants apolaires et il

n'est pratiquement pas soluble dans l'alcool pur (Doucet, 1992 ; Bubnik et Kadlec, 1995).

3.2.4. Densité

La densité a été mesurée à 15°C par Plato dès 1901 et la valeur obtenue ($d=1587,9\text{kg/m}^3$) est toujours valable pour une utilisation pratique (Mathlouthi et Reiser, 1995).

3.2.5. Température de fusion

Le saccharose est extrêmement stable sous sa forme cristalline à température ambiante. Il commence à fondre à des températures élevées, environ 185°C, donnant des sucres invertis et des substances colorées. La température exacte dépend du solvant de cristallisation et de la pureté du sucre (Asadi, 2007).

3.2.6. Pouvoir rotatoire

Le saccharose en solution est une molécule optiquement active (chirale). C'est une substance dextrogyre; elle dévie le plan de la lumière polarisée vers la droite. Il se distingue des autres sucres car sa rotation spécifique demeure constante dans le temps. Il s'agit d'une propriété permettant d'identifier sa présence et un paramètre fiable permettant d'évaluer sa pureté en solution.

Le pouvoir rotatoire spécifique du saccharose en degré pour une concentration exprimée en g/cm^3 et un chemin optique en cm à une longueur d'onde de la raie D du sodium (589,4 nm) à 20°C est de : $[\alpha]_{D20} = 66,59^\circ$ (Mathlouthi, 2002).

3.2.7. Inversion

L'hydrolyse du saccharose est réalisée plus facilement que les autres diholosides donnant du glucose et du fructose. Cette hydrolyse est appelée aussi inversion car le pouvoir rotatoire s'inverse du positif (+ 66,5°) vers le négatif obtenant ainsi un mélange équimoléculaire de glucose (dextrose $[\alpha] = + 52,5^\circ$) et de fructose (lévulose $[\alpha] = - 93^\circ$) (Kessous, 2008).

Industriellement, le sucre inverti est obtenu par l'action de la chaleur sur une solution de saccharose en présence d'un catalyseur (acide tartrique ou citrique) ou encore par l'action d'une enzyme spécifique ; l'invertase (Dilmi-Boras, 1998). L'inversion peut se produire aux pH faibles et jusqu'à pH 8,5 (Mathlouthi, 2002). Grâce à la présence du fructose, le sucre inverti est un inhibiteur efficace de la cristallisation du saccharose et également un rétenteur d'eau (Dilmi-Boras, 1998).

Chapitre II

RAFFINAGE DU SUCRE ROUX

Chapitre II : Raffinage du sucre roux

1. Processus de raffinage du sucre roux :

Le raffinage de sucre roux au niveau de Cevital se fait suivant les étapes schématisées dans la figure 5 :

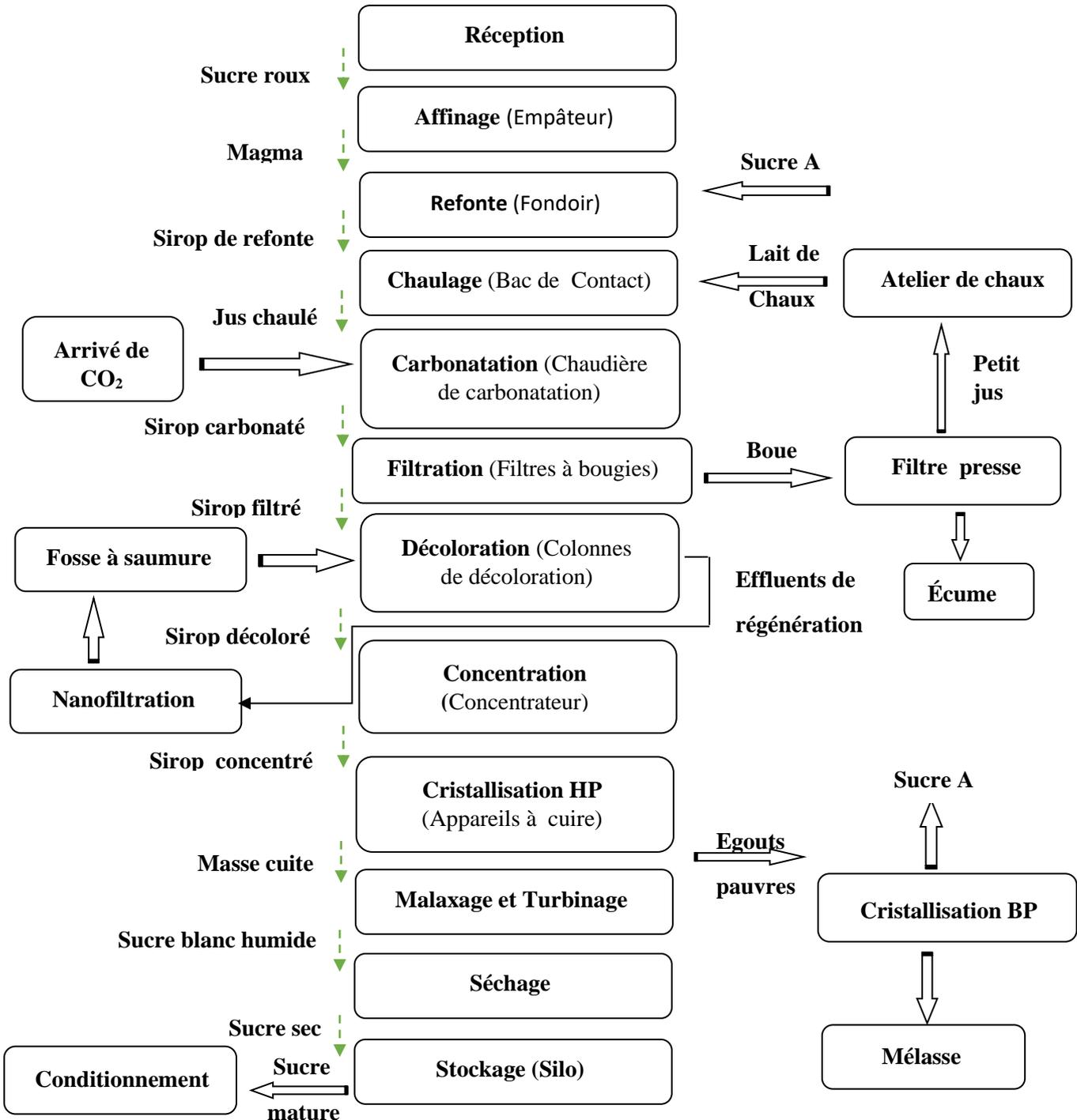


Figure 5 : Schéma de process de raffinage du sucre roux « Cevital »

2. Les différentes étapes de raffinage

Le premier objectif du raffinage du sucre est l'élimination de la coloration, parmi d'autres impuretés, cette dernière détermine la qualité du sucre blanc produit, elle est la principale préoccupation de l'acheteur et des consommateurs. C'est pourquoi les grands efforts portent sur la recherche de la nature de la couleur, de la prévention de sa formation et des méthodes de son élimination (Cortés, 2007).

2.1. Affinage et refonte

2.1.1. Affinage

Le sucre roux est déversé dans un malaxeur, mélangé par un brassage à un sirop chaud légèrement sursaturé, le produit résultant de cette opération est appelé « magma d'affinage » (Mathlouthi et Barbara, 2004).

Le sirop ajouté permet de fondre juste la couche la plus externe du cristal de sucre. Cette dernière contient la plus grande partie d'impuretés. Le sirop résultant de la fonte de la couche externe, est séparé des cristaux de sucre par centrifugation. La majeure partie des colorants sont enlevés pendant l'étape d'affinage (environ 50% de la couleur du sucre roux) (Mc Neill, 2004).

Remarque : Au niveau de Cevital, la centrifugation de magma d'affinage a été supprimée vu que le sucre roux importé a une couleur relativement basse, pouvant atteindre 800 UI voire parfois 600 à 500 UI.

2.1.2. Refonte

Le sucre affiné est refondu à une température de 85°C avec une eau sucrée, d'une manière à avoir un brix de 70%, ce qui aboutit à la formation d'un sirop de refonte (Asadi, 2007). Celui-ci est envoyé vers le bac de contact, avant de subir une épuration par chaulage et carbonatation.

2.2. Epuration calco-carbonique

Au cours de cette étape, la chaux est ajoutée dans le but d'éliminer par décantation et filtration les impuretés dissoutes ou en suspension dans le sirop. Cette chaux est ensuite saturée au moyen de dioxyde de carbone (CO₂) (Decloux, 2002).

2.3. Filtration

Le principe de cette étape est de faire passer le sirop carbonaté à travers des filtres à bougies, elle a pour but d'éliminer les carbonates de calcium en suspension dans le sirop carbonaté (M C G, 2010). L'épuration calco-carbonique et la filtration seront largement évoquée dans le chapitre III.

2.4. Décoloration

A l'issue de la filtration, la majorité des impuretés ont été enlevées, mais le sirop est toujours coloré.

La décoloration est l'opération permettant d'éliminer la majorité des colorants résiduels, le sirop résultant étant clair (Mc Neill, 2004).

2.4.1. Présentation de l'installation de décoloration

La section décoloration comporte trois lignes identiques, chaque ligne fonctionne avec trois colonnes, deux colonnes en production et une colonne en régénération. Une colonne est composée d'un double compartiment chargé de résines (figure 6) (Applexion, 2008).

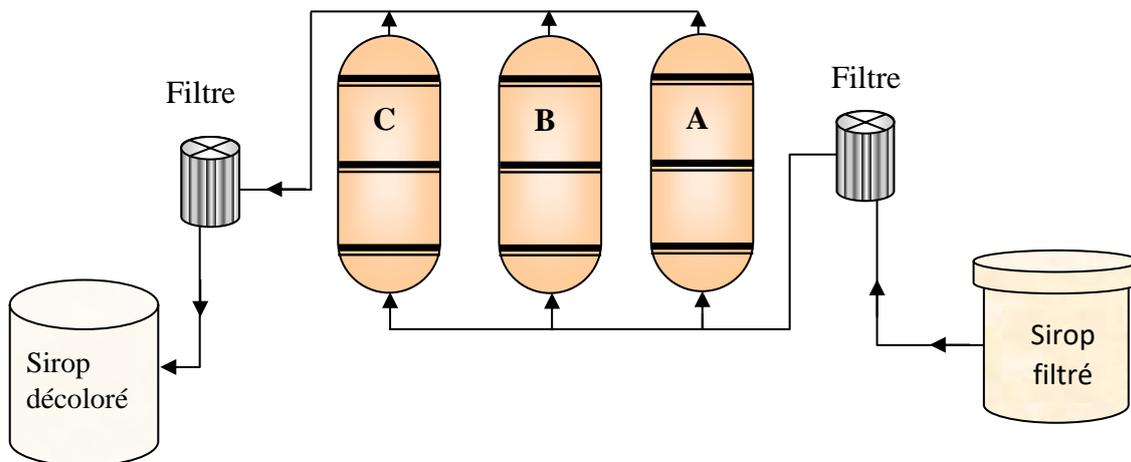


Figure 6 : Schéma simplifié d'une ligne de décoloration au niveau de « Cevital ».

2.4.2. Les principaux colorants à éliminer

Si l'épuration calco-carbonique enlève des non-sucre minéraux, des gommes et des cires, elle laisse des impuretés organiques dans le sirop, essentiellement des colorants (Lameloise, 2007). Les colorants du sucre sont des macromolécules ayant un comportement d'acides faibles. Ils se présentent sous la forme de longues chaînes carbonées hydrophobes et possèdent une extrémité hydrophile, au niveau de leur fonction acide faible (Theoleyre *et al*, 1999). Les

principaux colorants présents en sucrerie et raffinerie de sucre de canne sont illustrés en **tableau I (Annexe I)**.

2.4.3. Principe de la décoloration sur résine échangeuse d'ions

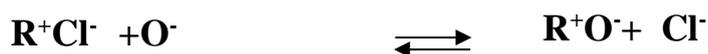
Au niveau de la raffinerie de sucre Cevital, on utilise des résines anioniques fortement basiques (**Applexion, 2008**) **figure 7**, elles sont à squelette acrylique et styrénique à groupement fonctionnel ammonium quaternaire, sous forme chlorure (**Lameloise, 2007**).



Figure 7: Résine échangeuse d'ions.

Sur le «squelette» sont greffées des fonctions amines quaternaires. Cette fonction constitue un pôle hydrophile. C'est cette fonction amine qui confère à la résine son caractère de résine anionique forte, c'est-à-dire sa capacité à fixer les ions chargés négativement (Cl^- , OH^- ...) présents dans une solution. Pour notre cas on les fait travailler sous la forme Cl^- .

Deux mécanismes interviennent dans la décoloration sur résine ; une interaction hydrophobe entre les chaînes carbonées du polymère et du colorant, il s'agit de liaisons faibles et échange d'ions, ou échange entre les ions Cl^- initialement fixés sur la résine et les acides organiques (colorants) présents dans la solution à traiter (**Theoleyre et al, 1999**). Les réactions d'échange d'ions sont réversibles (**Khirani, 2007**) :



R^+ : résine ; O^- : acide organique (colorant) ; Cl^- : ion préalablement fixé sur la résine.

La décoloration s'effectue par percolation du sirop du bas en haut (Up flow) à travers le lit de résine compacté. Lors de la décoloration, la résine se charge en matières colorantes et en anions divers. Elle se sature au cours du temps et la coloration du produit traité diminue progressivement. Il est alors nécessaire d'extraire les impuretés retenues par régénération de la résine, en utilisant une saumure basique : solution de sel (NaCl) à 100 g/l additionnée de 5 à 10 g/l de soude (NaOH), le flux de régénération se fait à contre-courant (Down flow) pour éviter la pollution des couches supérieures des lits de résines (**Applexion-Orelis, 2008**).

2.5. Concentration

Avant la cristallisation, il faut amener le sirop à une concentration la plus proche possible de la valeur correspondant à la saturation du sucre en cristallisation (**Decloux, 2003**).

La concentration a lieu dans un évaporateur. Le sirop décoloré, entrant dans l'évaporateur à une concentration de 60° brix environ, en ressort à des concentrations atteignant 70° brix. Cette opération facilitera donc la cristallisation du sucre (Mathlouthi et Barbara, 2001; M C G, 2010).

2.6. Cristallisation

La cristallisation est l'étape finale de la purification dans le process de raffinage. Avec la majeure partie des impuretés et colorants enlevées, le sirop est prêt à être transformé en cristaux de sucre (Mc Neill, 2004).

La cristallisation permet de séparer les impuretés contenues dans le sirop. Le saccharose est transformé en cristaux alors que les impuretés restent concentrées dans le liquide pour donner au final une solution résiduelle épuisée (égouts) (Mathlouthi et Barbara, 2001).

2.6.1. Cristallisation des Haut-Produits (HP)

La cristallisation du sucre se fait dans des appareils à cuire. L'eau est évaporée sous vide à environ 70°C, ce qui économise l'énergie et empêche la caramélisation du sucre (Arzate, 2005).

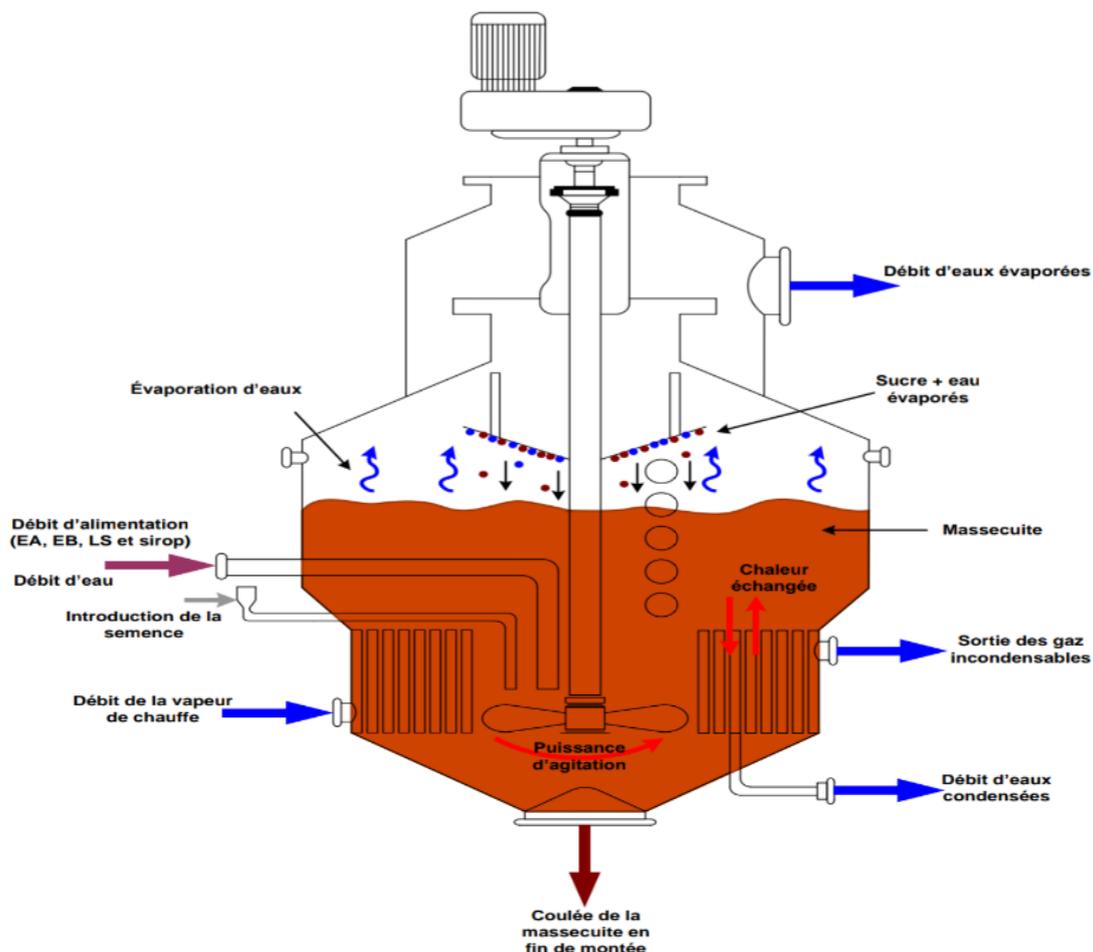


Figure 8 : Représentation des flux de matières dans un appareil à cuire (Libelle, 2007).

La cristallisation est généralement effectuée en 3 étapes appelées jets (**figure 1, Annexe II**), chaque jet comprend lui-même 3 étapes : la cuisson, le malaxage et l'essorage ou turbinage.

Le sirop d'alimentation du premier jet est appelé « liqueur standard », le sirop et les cristaux formés au cours de la cristallisation forment la « masse cuite », ce sirop qui entoure les cristaux prend le nom d'eau mère puisqu'il nourrit les cristaux. Lors de l'essorage, l'eau mère entourant les cristaux devient « égout pauvre », l'eau utilisée pour le clairçage (lavage) du sucre en centrifugeuse constitue « l'égout riche » (**Mathlouthi et Barbara, 2001**).

1. Cuisson

Le sirop concentré est introduit dans les cuites pour sa cristallisation. Dans ces dernières, le sirop est chauffé sous vide pour évaporer une partie de l'eau afin d'atteindre le point de saturation. A ce moment un mélange de fines de sucre et d'alcool isopropylique (semence) est injecté dans le sirop vierge, cela va permettre d'amorcer la cristallisation (**Cartier, 1999**). Le sirop vient ensuite grossir ses germes qui deviennent des cristaux.

Le vide de l'appareil à cuire est cassé et le mélange obtenu est coulé (masse cuite) dans le malaxeur (**M C G, 2010**).

2. Malaxage

Le malaxage est une opération qui consiste à agiter pendant un certain temps la masse cuite sortie des cuites, avant de la passer aux turbines. L'objectif de cette opération est de compléter la formation des cristaux et de pousser l'épuisement de la liqueur mère (**Hugot, 1987**).

3. Essorage ou turbinage

La masse cuite est envoyée dans des turbines ouessoreuses discontinues. Sous l'action de la force centrifuge, le sirop brun qui enveloppe les cristaux est évacué, tandis que le sucre cristallisé blanc est récupéré sur les parois de l'essoreuse (**Dilmi-Bouras, 1998**).

Le sucre obtenu est envoyé au séchage et l'égout contenant encore du sucre cristallisable est recyclé pour réaliser une nouvelle cristallisation. Trois jets sont ainsi réalisés. L'égout final qui est de pureté insuffisante pour produire un sucre raffiné est envoyé à la cristallisation Bas - Produits (**Rachedi,2002**).

2.6.2. Cristallisation des Bas-Produits (BP)

Les cuites BP nous permet de récupérer le sucre contenu dans les égouts provenant des cuites HP, ou des égouts pauvres d'affinage pour leurs épaissements en sucre. Cela se fait en trois étapes (jets) (**figure 2, Annexe II**) dans des cuites puis des centrifugeuses continues.

Les cuites BP sont identiques à celles de la cristallisation HP. La première étape nous donne un sucre A, qui peut être séché et consommé comme sucre roux ou refondu pour être retraité et obtenir du sucre blanc. Les jets B et C ne sont que des moyens d'épuisement complémentaires.

L'égout final de la centrifugation de la masse cuite C contient les non sucre et une partie équivalente de sucre qui n'est plus cristallisable appelée la mélasse (M C G, 2010). Ce sous-produit "mélasse" contenant environ la moitié de son poids en sucre est commercialisable pour diverses utilisations dont :

- ✓ la production d'alcool ;
- ✓ la fabrication d'aliments pour le bétail ;
- ✓ la production de levures de boulangeries,
- ✓ utilisation pour des fermentations, ...etc. (Bounie, 2004).

2.7. Séchage

Le sucre humide déchargé de la station de centrifugation a une teneur en eau de 0.1 à 1% (Asadi, 2007). Ce sucre ne peut être stocké en l'état car il est entouré d'une pellicule de sirop saturé, il doit être tout d'abord séché (Decloux, 2003).

Dans le sécheur à tambour, le sucre est séché à contre-courant par rapport à l'air de séchage puis refroidie dans un sécheur à lit fluidisant (M C G, 2010). L'air requis pour le séchage doit être sec, chaud et filtré, avec une température de 35°C. Le volume d'air exigé est de l'ordre de 1600 m³ par tonne de sucre (Schrevel, 2001).

2.8. Stockage et maturation

A la sortie du sécheur, le sucre est stocké dans des silos pendant une durée de 48 heures pour assurer la maturation. Pour que celle-ci s'effectue dans de bonnes conditions, il est important que la couche du sucre soit bien ventilée et traversée par un air pouvant entraîner l'excès d'humidité (Decloux, 2003).

2.9. Conditionnement

Après maturation, le sucre est tamisé, classé et pesé puis dirigé vers les ateliers de conditionnement où il peut être directement mis en sacs ou conservé en vrac. Le sucre destiné au stockage en silos est d'une apparence sèche et fluide (Romain *et al.*, 2007).

Chapitre III

**L'épuration calco-carbonique et
filtration**

Chapitre III : L'épuration calco-carbonique et filtration

La carbonatation a été proposée pour la première fois en sucrerie de betterave par Perier et Possoz en 1859. Ils signalaient que si l'on provoque dans un jus un précipité de carbonate de chaux, il enrobe les matières colorantes et les gommages, si la réaction reste alcaline, et fournit ainsi un complément de clarification notable. Le précipité formé est granuleux et filtre aisément (**Hugot, 1987**).

La carbonatation fournit avec le carbonate de calcium un adjuvant de filtration bon marché. Elle décolore le sirop à plus de 60% (**Jhilal, 2010**).

1. Présentation des installations

1.1. La section carbonatation

La section de carbonatation est alimentée par le sirop venant de la section affinage et la refonte du sucre A de l'unité sucre roux (**M.O.C, 2010**).

Elle s'effectue dans une série de trois chaudières de manière continue. La 1^{ère} chaudière de carbonatation est équipée d'un système de circulation comprenant six moteurs. Le sirop sortant par débordement (niveau constant) alimente une 2^{ème} carbonatation qui, par débordement, alimente la 3^{ème} carbonatation (**M.O.C, 2010**).

Le sirop carbonaté est transféré vers la section filtration en passant par un réchauffeur (**M.O.C, 2010**). L'ensemble est schématisé dans la **figure 3 (Annexe II)**.

La Production de CO₂ se fait par le biais de la combustion du gaz naturel lors de la production de vapeur à haute pression. Cette combustion dégage une fumée contenant du CO₂ environ 13% (**Tidjani et Benchernine, 2012**).

Le CO₂ passe par un réseau de collecte, de traitement et de distribution comprenant le piquage par cheminée sortie chaudière avec registre d'isolement et d'alimentation d'un économiseur refroidisseur des fumées. Ces dernières sont reprises par 3 groupes compresseurs pour alimenter en CO₂ les chaudières de carbonatation (**M.C.G, 2010**).

La préparation de lait de chaux regroupe un ensemble de matériel dont un dévouteur, une vis d'extraction et une vis de transport pour alimenter le bac de préparation sous agitation, mélangée avec une eau sucrée de dilution. La concentration à obtenir devant être haute (22° beumé = 317 g/l).

Le lait de chaux ainsi préparé en continu passe par débordement dans le bac de concentration agité. Lorsque la densité est bonne (16° beumé = 224 g/l), une pompe reprend le lait de chaux mûri et l'envoie par un circuit vers la carbonatation (**M.O.C, 2010**).

1.2. La section filtration

La filtration se fait dans une installation de dix filtres de types EXOFALC. Un bac tampon équipé d'un agitateur de collecte du sirop à filtrer venant de la section carbonatation (sirop carbonaté) et retour déssucrage des deux filtres presses ainsi que retour déssucrage colonne de décoloration (M.O.F, 2010).

Ces filtres contiennent des poches chacune enveloppée d'une toile qui laisse passer le sirop seulement alors que le carbonate de calcium s'accumule autour de la toile en formant un gâteau d'une certaine épaisseur (Tidjani et Benchernine, 2012).

Un bac d'homogénéisation et de collecte des boues des filtres exofalc sous agitation alimente les 2 filtres presses. Ces derniers compactent la boue et récupèrent du filtrat renvoyé en section filtration des eaux sucrées (petits jus) alors que les boues compactées (gâteaux) sortants par débatissage des filtres presses sont déchargées dans une benne de collecte (M.O.F, 2010).

Le cycle d'un filtre exofalc et filtre presse sont représentés respectivement en **figure 4** et **figure 5** (Annexe II).

2. Les principales étapes de l'épuration calco-carbonique

Au cours de cette étape, la chaux est ajoutée dans le but d'éliminer par décantation et filtration les impuretés dissoutes ou en suspension dans le sirop. Cette chaux est ensuite saturée au moyen du dioxyde de carbone (CO₂) (Decloux, 2002). Les principales étapes de l'épuration calco-carbonique sont :

2.1. Préparation de lait de chaux

La mise en œuvre de la chaux exige sa transformation en « lait de chaux » (Decloux, 2002). Le lait de chaux se prépare par l'addition d'une chaux de bonne qualité (poudre impalpable) à une eau légèrement sucrée (petit jus) qui provient du déssucrage des boues au niveau des filtres presses et décoloration (M C G, 2010).

2.2. Chaulage

Avant de rentrer dans la chaudière de carbonatation, le sirop de fonte est réchauffé à une température de 80 à 90°C dans un échangeur de chaleur et mélangé avec le lait de chaux à une alcalinité exprimée en CaO (Carbonate de calcium) en moyenne de 5 g/L (Rachedi, 2002; Jhilal, 2010). Cette opération assure les réactions de dégradation et apporte une charge suffisante de chaux qui, carbonatée, servira de support de filtration (Burzawa 1999).

2.3. Carbonatation

La carbonatation provoque d'une part la précipitation de la chaux sous forme de carbonate de calcium (CaCO_3), support d'adsorption des impuretés et d'autre part, elle permet de neutraliser le milieu (Belhamri, 2005).

Le pH du milieu préalablement élevé, diminue durant le gazage sous l'effet du dioxyde de carbone qui est acide (Chi Chou et Chen, 1993).

Le mélange (jus chaulé, CO_2) s'effectue dans des « chaudières » de carbonatation. Il s'agit de faire barboter le dioxyde de carbone dans le sirop afin d'avoir la meilleure efficacité de réaction (figure 9). Le point optimum de carbonatation est obtenu pour un pH de 11,10 à 11,20 et une alcalinité de 1,0 à 1,25 g CaO/L (Decloux, 2002).

Les températures élevées diminuent l'absorption du gaz carbonique (CO_2) lors de la carbonatation, cela induit une malformation des cristaux de carbonates de calcium ce qui baisse de la filtrabilité (Jhilal, 2010).

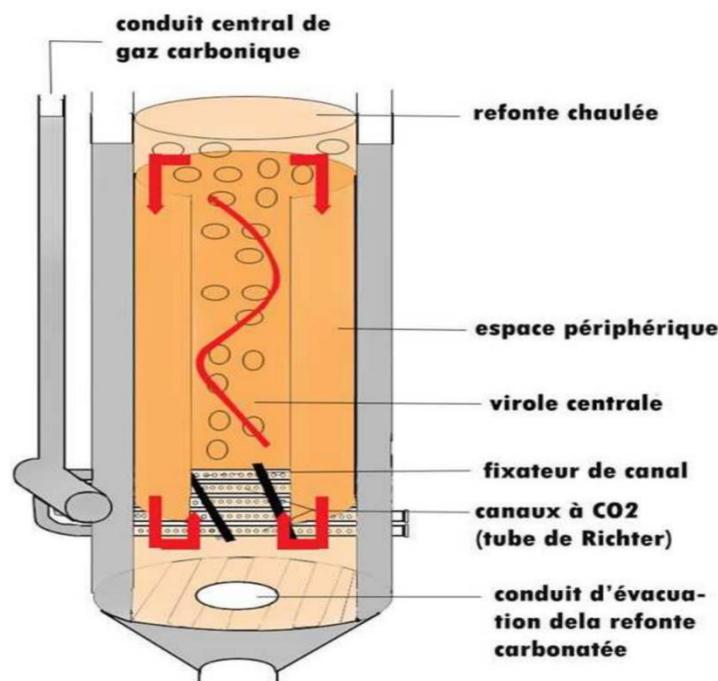


Figure 9 : Circulation du CO_2 dans une chaudière de carbonatation (Putsch, 2010).

La carbonatation à Cevital se fait en trois étapes :

2.3.1. Première carbonatation

La première carbonatation sert à précipiter sous forme de CaCO_3 la chaux en suspension dans le jus. Sur les cristaux de carbonate naissants s'adsorbent les impuretés et plus particulièrement les colorants provenant de la décomposition du sucre inverti (PDAH) (Mathlouthi et Barbara, 2001).

2.3.2 Deuxième carbonatation

La deuxième carbonatation a pour rôle d'éliminer le maximum de calcium encore en solution dans les sirops de la première carbonatation (**Burzawa, 1999**). A la sortie de la deuxième carbonatation, le pH final est d'environ 9,2 pour une alcalinité de 0,15 g CaO/L (**Bounie, 2004**).

2.3.2. Troisième carbonatation

La troisième carbonatation a un rôle complémentaire à la deuxième carbonatation qui est d'éliminer le maximum de calcium encore en solution. À la sortie, le pH final est d'environ 8,2 (**M C G, 2010**). Le tableau suivant résume les trois principales étapes de l'épuration.

Tableau I : Principales réactions de transformation de la chaux (**Burzawa, 1999**).

| | |
|---|--|
| Préparation de lait de chaux | $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{Ca(OH)}_2 + 159 \text{ Kcal}$ chaux + eau Lait de chaux + chaleur |
| Chaulage | Saccharose + lait de chaux \rightarrow saccharate de chaux ($\text{C}_{12}\text{H}_{20}\text{O}_{11}\text{Ca}$) |
| 1^{ère}, 2^{ème} et 3^{ème} carbonatations | Saccharate de chaux + $\text{CO}_2 \rightarrow \text{Ca CO}_3 + \text{saccharose} + \text{H}_2\text{O} + 276 \text{ Kcal}$ |

2.4. Mécanisme de l'épuration calco-carbonique

Selon Burzawa (**1999**), l'épuration du jus est assurée grâce à quatre types de réactions dont certaines sont fort complexes. L'ensemble de ces réactions sont résumés comme suit :

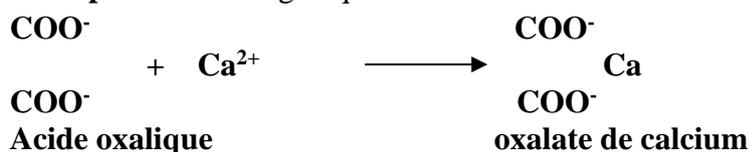
2.4.1 Précipitation

Cette réaction est essentiellement due à l'ion Ca^{2+} qui précipite sous forme de sels insolubles. C'est la formation de ce précipité qui va permettre à la réaction de se poursuivre, jusqu'à la disparition d'un des réactifs de départ (**Jhilal, 2010**). Elle concerne :

Acides (carbonique, oxalique, lactique, tartrique, etc).

Cations $2+$ $3+$ et Anions (sulfates, phosphates).

Exemple : Acides organiques

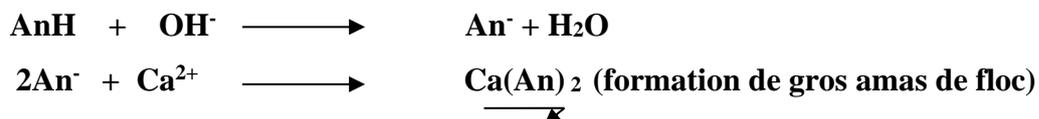


2.4.2 Coagulation-floculation

Pour comprendre la floculation, considérons un jus basique. Il contient des ions calcium Ca^{++} (cations) dont les charges positives sont comme deux mains tendues vers d'éventuelles charges négatives (**M.C.G, 2010**).

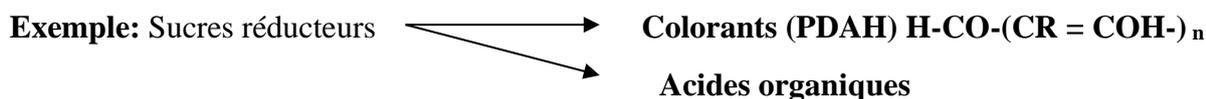
Les réactions de coagulation et de floculation font appel à la fois à l'alcalinité (ion OH-) et à la présence des ions actifs Ca²⁺. Ces réactions ont besoins d'une concentration en Ca⁺⁺ favorable et une agitation lente (**Jhilal, 2010**). Elle concerne les Protéines, saponines, colorants polyphénoliques, etc.

La réaction se fait comme suit :



2.4.3. Dégradation

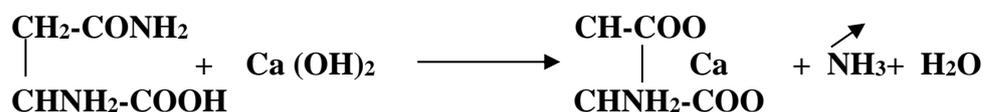
Les réactions de dégradation sont principalement dues à l'ion OH- et concernent les sels d'ammonium, les amides (asparagine, glutamine, etc,...), les matières pectiques et les sucres réducteurs (**Jhilal, 2010**).



Amides : réaction générale



Exemple: Asparagine



2.4.4. Adsorption

Le phénomène d'adsorption est une rétention de substance (le colorant) à la surface d'un solide adsorbant (les particules de carbonate de calcium). Plus il y a de surface d'adsorbant, meilleure est l'adsorption. La réaction a lieu au moment de la formation des cristaux de carbonate. Le carbonate naissant (CaCO₃) comporte des charges positives permettant la fixation (adsorption) de particules portant des charges négatives, ce qui est le cas des particules à haut PM (colorants et acides organiques) (**M.C.G, 2010**).

3. Filtration

Le principe de la filtration est de faire passer le sirop carbonaté contenant une suspension de carbonate de calcium à travers des filtres Exofalc auto nettoyants à bougies en toile (**figure 9**) (**M. C. G, 2010**).

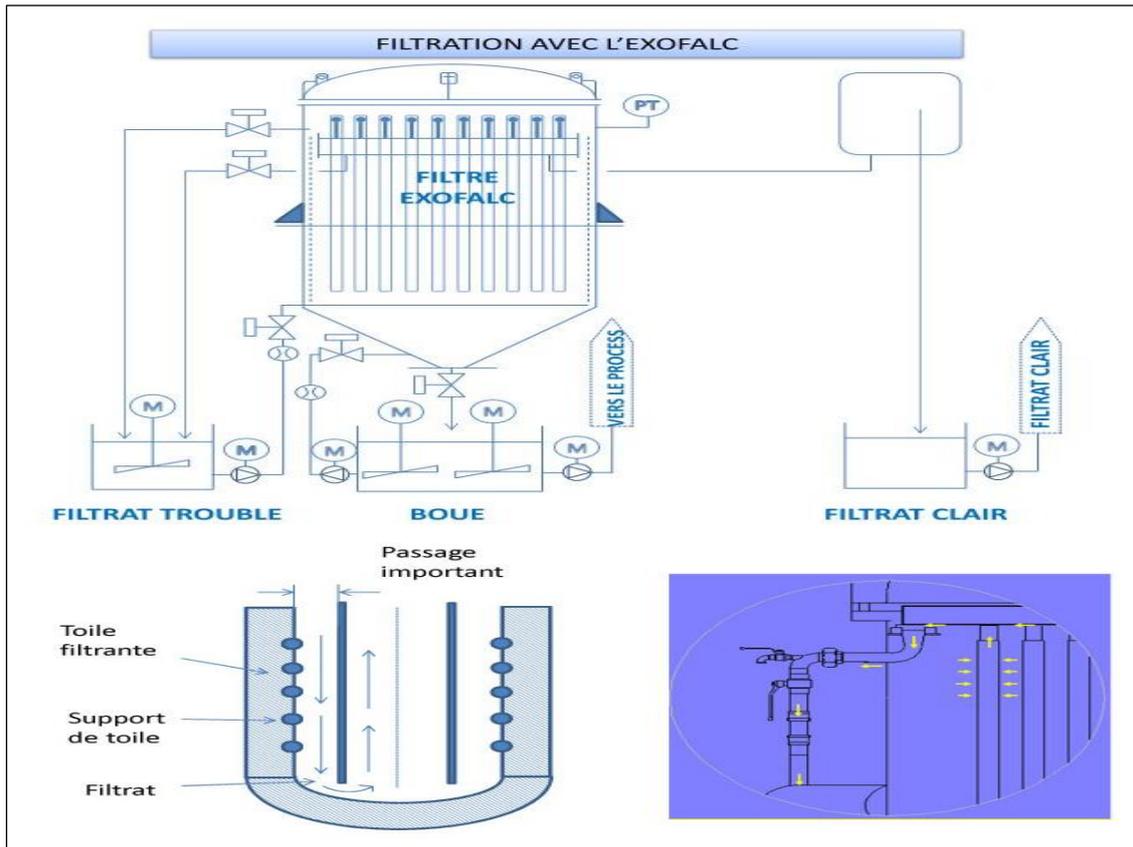


Figure 10 : Fonctionnement d'un filtre à Le filtre Exofalc (CHOQUENET, 2012).

Le sirop filtré est envoyé vers la décoloration alors que la boue résultante passe par un filtre presse (figure 10) pour récupérer le sucre résiduel sous forme de petit jus qui servira à la préparation du lait de chaux (Bounie, 2004; M C G, 2010).

Les boues d'épuration déssucrées appelées « écumes » renferment une grande quantité de substances organiques qui pourraient être valorisées. Dans certains pays, elles sont utilisées pour fertiliser les sols cultivables (Bonenfant, 1999; Arzate, 2005).

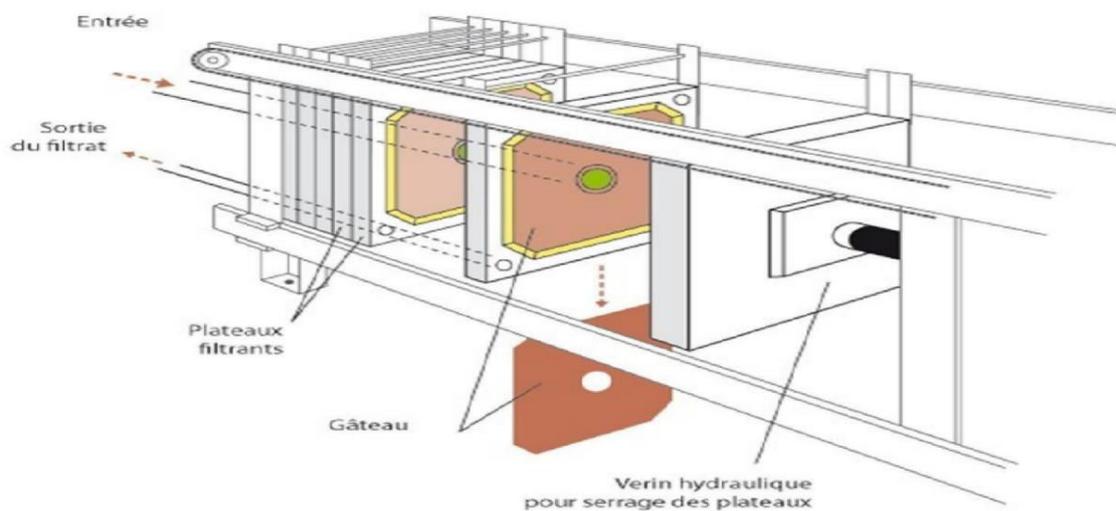


Figure 11 : Schéma d'un filtre à presse (Tidjani et Benchernine, 2012).

PARTIE PRATIQUE

Chapitre IV

MATERIELS ET METHODES

Chapitre IV : Matériels et Méthodes

1. Notions générales sur la chimie sucrière

1.1. Brix

Le Brix est le rapport entre la quantité de matière sèche (MS) contenue dans la solution et la quantité de la solution. Il est exprimé en pourcentage par la formule suivante (AFISUC, 2002a):

$$\text{Brix} = \frac{\text{Quantité de matière sèche (g)} \times 100}{\text{Quantité de solution (g)}} \quad (\%) \quad \text{ou} \quad \text{Brix} = \frac{\text{MS} \times 100}{\text{MS} + \text{E}}$$

E : Eau, MS : matière sèche

1.2. Polarisation

La teneur en saccharose se mesure par polarimétrie (polarimètre thermostaté à 20°C). La concentration en saccharose d'une solution est proportionnelle à l'angle de rotation (Decloux, 2002). La polarisation d'une solution de sucre est le rapport entre la quantité de sucre contenue dans la solution et la quantité de solution. Elle est généralement exprimée en pourcentage par la formule suivante (AFISUC, 2002a):

$$\text{Polarisation} = \frac{\text{Quantité de sucre (g)} \times 100}{\text{Quantité de solution (g)}}$$

1.3. Pureté

La pureté de la solution est exprimée en grammes de saccharose pour 100 g de matière sèche (grammes S/100g MS). Elle se calcule à partir des mesures de polarisation et de brix (Decloux, 2002). Elle est généralement exprimée en pourcentage par la formule suivante:

$$\text{Pureté} = \frac{\text{Quantité de sucre (g)} \times 100}{\text{Quantité de matière sèche (g)}} = \frac{\text{S} \times 100}{\text{MS}} = \frac{\text{POL} \times 100}{\text{Brix}} \quad (\%)$$

La pureté du sucre cristallisé s'élève généralement à plus de 99,9%. Le non sucre présent étant constitué pour l'essentiel par de l'eau (Mathlouthi, 2002). La dilution ou la concentration d'une solution est sans effet sur sa pureté (AFISUC, 2002a).

1.4. Solubilité

La solubilité s'obtient en divisant la quantité de sucre dissout (Q) par la quantité d'eau (Q') dans laquelle il a été dissout selon la formule suivante (Asadi, 2007) :

$$\text{Solubilité} = \frac{\text{Q sucre dissout (g)} \text{ (à T}^\circ\text{C)}}{\text{Q' d'eau (g)}}$$

1.5. Colorimétrie

La mesure de la coloration en solution est effectuée à l'aide d'un spectrophotomètre UV/VIS. Elle est basée sur la diminution de la densité lumineuse d'un faisceau monochromatique qui traverse la solution à analyser. Pour la mesure de la couleur des solutions sucrées, ICUMSA a officiellement adopté la méthode de mesure à la longueur d'onde λ 420 nm \pm 0,2 (ICUMSA, 1994).

1.6. Saturation

Une solution de sucre est dite saturée à une température donnée lorsque, mise en présence des cristaux de sucre, ces derniers ne se dissolvent et ne grossissent pas. En dessous de cette concentration en sucre, la solution est dite sous-saturée, les cristaux peuvent se dissoudre (Mathlouthi et Barbara, 2004).

La Saturation est mesurée par la formule suivante :

$$\text{Saturation} = \frac{\text{Quantité maximale de sucre dissout (ms)} \text{ (à T}^\circ\text{C)}}{\text{Quantité d'eau (mE)}}$$

ms : masse de sucre, mE : masse d'eau

1.7. Non-sucre

Les non-sucre sont constitués de cendres et de matières organiques (macromolécules et colorants). Si on procède à l'évaporation totale de l'eau, il ne reste que la matière sèche. Si on continue à chauffer, le sucre et les matières organiques se consomment. À 128°C, l'ensemble donne du caramel. À 600°C, le sucre et les matières organiques disparaissent, il ne reste que les cendres (AFISUC, 2002a)

2. Echantillonnage et prélèvements

Notre étude réalisée au niveau de la raffinerie du sucre « Cevital » a consisté, d'une part, à suivre l'évolution des paramètres physico-chimiques essentiels à savoir le brix, la couleur, la pureté et le pH, à partir de sirop d'affinage jusqu'au sirop filtré, et d'autre part, à suivre l'évolution des différents paramètres de qualité (couleur, polarisation) de sucre blanc d'ensachage, tout en appréciant le rôle de la carbonatation et filtration et leur influence sur la qualité du sucre blanc. Le **tableau II** résume les échantillons qui ont été prélevés dans le cadre de notre étude ainsi que les paramètres étudiés.

Tableau II : Echantillons prélevés des sections concernées et leurs paramètres étudiés.

| Section | Echantillons prélevés | Paramètres étudiés |
|----------------------|---------------------------------|--|
| Refonte | Sirop de refonte (SR) | <ul style="list-style-type: none"> • Brix • Couleur • Pureté • Ph |
| Carbonatation | Jus chaule (JC) | <ul style="list-style-type: none"> • pH • Alcalinité |
| | Lait de chaux (LC) | <ul style="list-style-type: none"> • pH |
| | Sirop carbonaté (SC1, SC2, SC3) | <ul style="list-style-type: none"> • pH |
| Filtration | Sirop filtré (SF) | <ul style="list-style-type: none"> • Brix • Couleur • Pureté • pH • Taux de rendement |
| Ensachage | Sucre blanc | <ul style="list-style-type: none"> • Couleur • Polarisation • Dosage des sucres réducteurs • Détermination des cendres |

Pour l'analyse des sirops, des échantillons ont été prélevés chaque 3 heures au niveau des deux sections (carbonatation et filtration) alors que pour le sucre blanc d'ensachage, un échantillon a été prélevé chaque heure au niveau des conditionnements avec le calcul de l'échantillon moyen chaque 24 heures et cela durant 7 jours.

Le prélèvement des sirops s'effectue par l'ouverture des vannes permettant de recueillir une quantité d'échantillons. Ces derniers sont récupérés dans des flacons en plastiques de 500 ml. Pour le sucre blanc, un échantillon est prélevé sur une ligne d'ensachage. Les échantillons sont immédiatement portés au laboratoire pour les analyser.

2. Appareillage et matériels utilisés

Le matériel et les réactifs utilisés pour l'ensemble des analyses sont cités en **tableau II (Annexe II)**.

3. Analyses physico-chimiques (protocoles expérimentaux)

3.1. Mesure du brix, de la polarisation et de la coloration des sirops (SR, SF) : Ces paramètres sont mesurés selon la référence SNFS-Chapitre 1 Méthode n°41 (2001)

- **Objet**

Il s'agit de déterminer les analyses applicables sur les produits légers et lourds après épuration.

- **Principe**

Le principe est la mesure des différents paramètres (brix, polarisation et pureté) par les mêmes méthodes décrites au préalable en plus d'utilisation de dilution.

- **Mode opératoire**

De chaque sirop prélevé, 50 g à 60 g sont pesés puis dilués à 1/5 avec un diluteur. La solution est agitée soigneusement jusqu'à homogénéisation avant d'être filtrée à travers des membranes filtrantes (pour le sirop de fonte). 100 ml de filtrat récupéré sont versés dans un réfractomètre pour mesurer le brix (cette mesure est réalisée à 20°C) et une autre quantité de 100 ml est versée dans le polarimètre pour la lecture de la polarisation. Tandis qu'une autre quantité de 70 ml est ajustée à un pH $7 \pm 0,2$. A partir de cette dernière, une lecture au spectrophotomètre UV/VIS dans une cellule en quartz de 1 cm est effectuée à 420 nm, après avoir effectué le blanc avec de l'eau osmosée pour éliminer la réfraction de l'eau.

- **Expression des résultats**

Saisir les résultats lus sur les différents appareils (polarimètre, réfractomètre et spectrophotomètre) dans le logiciel Cléopâtre qui effectuera les calculs et donnera les résultats.

- **Taux de rendement de la carbonatation (Taux Rdt)**

Le taux de rendement de la carbonatation (**Taux Rdt**) est calculé à partir de la formule suivante :

$$\text{Taux Rdt (\%)} = \frac{\text{Couleur du SR (UI)} - \text{couleur du SF (UI)}}{\text{Couleur du SR (UI)}} \times 100$$

3.2. Mesure du pH : Il est mesuré selon la référence SNFS – Chapitre 1, n° 17 (1999)

- **Définition et principe**

Le pH, caractéristique essentielle d'une solution, est défini par l'OIML (Organisation International de Métrologie Légale) comme le cologarithme de l'activité ionique de l'ion hydronium.

$$\text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+]$$

- **Mode opératoire**

Après un rinçage soigné, les électrodes simples ou combinées sont placées dans la solution à mesurer de telle manière que le niveau de l'électrolyte interne dépasse d'environ 2 cm celui de la solution à étudier. La solution analysée doit être légèrement agitée dans les mêmes conditions que pour l'étalonnage. Au bout d'un certain temps, la lecture se stabilise.

- **Expression des résultats**

La mesure est lue directement sur l'appareil.

3.3. Mesure de l'alcalinité: Mesuré selon la référence SNFS-Chapitre 1 Méthode n°19 (1999)

- **Objet**

La détermination de l'alcalinité des jus de sucrerie a pour objet le contrôle, au cours des différentes phases de l'épuration, de la quantité de la chaux libre ajoutée ou résiduelle. Dans certains cas, cette alcalinité peut correspondre également à d'autres substances alcalines autres que la chaux (par exemple NaOH ou KOH).

- **Principe**

Après avoir repéré le pH initial du jus, l'alcalinité de celui-ci est déterminée à 20°C au titrimètre et au moyen d'un acide fort ; le point final de titration correspond à la zone de virage de la phénolphtaléine.

Remarque : L'acide fort employé est généralement de l'acide chlorhydrique. Cependant l'acide sulfurique est utilisable. Il a l'avantage d'être plus stable.

- **Mode opératoire**

Une quantité de 20 ml de jus chaulé est prélevée, après une homogénéisation convenable et refroidissement, l'échantillon est mis dans la cuve de titrage. Titrer avec les solutions acides jusqu'à pH 8,0.

- **Expression des résultats**

L'alcalinité est exprimée en g de CaO par litre de jus. La burette contenant l'acide N/1,4 l'indiquera directement, par lecture du nombre de ml utilisés.

3.4. Évaluation de la qualité du sucre blanc d'ensachage

3.4.1. Mesure de la couleur : Mesuré selon la référence ICUMSA Méthode GS 2/3-10 (2007).

- **Principe**

La coloration en solution est déterminée par spectrophotométrie UV/VIS à 420 nm sur une solution de sucre à 50° Brix préalablement filtrée sur une membrane de 0,45 µm. Le résultat est exprimé en unités ICUMSA (UI).

- **Mode opératoire**

Un échantillon de 50 g de sucre blanc est ajusté à 100 g avec de l'eau distillée dans un bécher, La solution est agitée jusqu'à dissolution complète du sucre, puis filtrer à travers un filtre de 0.45 µm de porosité. Le filtrat est récupéré dans un bécher, et désaéré dans un bain ultrason pendant quelques minutes dans le but d'éliminer les bulles d'air. 50 ml de filtrat récupéré sont versés dans un réfractomètre pour mesurer le Brix (cette mesure est réalisée à 20°C), tandis que 50 ml restant sont ajusté à pH à 7±0.1, par l'ajout de fines gouttelettes de solution de NaOH (0,1N) ou d'HCl (0,1N). A partir de cette dernière, une lecture au spectrophotomètre UV/VIS dans une cellule en quartz de 5 cm est effectuée à 420 nm, après avoir effectué le blanc avec de l'eau osmosée pour éliminer la réfraction de l'eau.

- **Expression des résultats**

La couleur est à partir de la formule inclut dans le logiciel Cléopâtre.

$$\text{Couleur ICUMSA} = \frac{1000 \cdot A}{b \cdot c}$$

A : absorbance de la solution à 420 nm. / **b** : longueur de la cellule en cm.

c : concentration de la solution en g/ml.

3.4.2. Polarisation : Mesuré selon la référence ICUMSA : GS 2/3-1 (1994).

- **Principe**

Cette méthode mesure la rotation optique d'une solution de sucre qui est la somme algébrique de l'effet majeur produit par sa teneur en saccharose et de celui produit par les traces d'autres constituants optiquement actifs.

- **Mode opératoire**

Dans une fiole de 100 ml séchée et pesée (**m₁**), $26 \pm 0,001$ g de sucre blanc sont pesés et 60 mL d'eau distillée sont ajoutées. Ensuite, La fiole est bouchée et la température de la solution de sucre est ajustée à 20°C en la mettant dans un bain d'eau environ 20 mn. Par la suite la paroi interne du col de la fiole est séchée avec du papier filtre, et le volume de la solution est ajusté exactement au trait de jauge avec de l'eau à 20°C. Après, l'extérieure de la fiole est séché et une pesée à une précision de ± 0.001 g (**m₂**) est réalisée. Une fois que la solution est bien mélanger en secouant énergiquement à la main et après vérification du zéro de polarimètre, le tube du polarimètre est rincé au moins 3 fois avec la solution. La lecture se fait à 20°C.

- **Expression des résultats**

Lire la polarisation puis apporter la correction du volume de la solution ($m_2 - m_1$) à la polarisation lue en se référant au tableau de correction.

3.4.3. Dosage des sucres réducteurs:

Mesuré selon la référence ICUMSA GS 2/3/9-5 (2007). Cette méthode convient pour le dosage de faibles teneurs en sucres réducteurs.

- **Principe**

Une solution de sucre est chauffée dans un bain d'eau bouillant avec un réactif alcalin cuivrique (exp : liqueur de Fehling). Les ions sont réduits en oxyde cuivreux par les sucres réducteurs présents. Après refroidissement les ions cuivriques résiduels sont titrés avec une solution d'EDTA en utilisant de la murexide comme indicateur.

- **Mode opératoire**

Un échantillon de 5 g de sucre blanc est pesé dans un tube à essai, et 5 ml d'eau distillée est ajouté, la solution est agité jusqu'à dissolution complète. Ensuite 5 ml de solution alcaline au cuivre est ajoutée. Le tube est mis dans un bain d'eau bouillant pendant 5 mn exactement, ensuite ce dernier est refroidit immédiatement à l'eau courante. Transvaser le contenu du tube et les eaux de rinçage dans un erlenmeyer et ajouter une pincée de murexide et titrer la solution avec EDTA 0.005 mol/l jusqu'au virage du vert au pourpre et noter le volume de titrage T.

- **Expression des résultats**

La teneur en sucres réducteurs est calculée à partir du **tableau 5 (annexe II)** présentant le % en sucres réducteurs par rapport au volume de titrage.

2.4.4. Détermination de la teneur en cendres conductimétriques:

Mesuré selon la référence ICUMSA GS 2/3-17 (2002).

- **Principe**

On détermine la conductivité spécifique d'une solution de sucre blanc de 28 % (m/m) et on calcule les cendres équivalentes en utilisant un facteur conventionnel.

- **Mode opératoire**

Peser $28 \text{ g} \pm 0.1 \text{ g}$ de sucre blanc dans bécher de 250 ml, ajuster à 100 g avec de l'eau distillée de conductivité $\leq 2 \text{ } \mu\text{S/cm}$. La solution est mélangée soigneusement jusqu'à dissolution complète. Mesurer la conductivité de cette solution à $20 \pm 0.2^\circ\text{C}$ ($C_{\text{mesurée}}$), ensuite mesurer la conductivité de l'eau distillée à $20 \pm 0.2^\circ\text{C}$ (C_{eau}).

- **Expression des résultats**

La conductivité corrigée (C_{28}) de la solution à 28 % est donnée par la formule suivante :

$$C_{28} = C_{\text{mesurée}} - 0,35 C_{\text{eau}}$$

$$\text{Cendres conductimétriques (\%)} = 6 \times 10^{-4} \times C_{28}$$

$C_{\text{mesuré}}$: Conductivité de la solution à $20 \pm 0.2^\circ\text{C}$, C_{eau} : Conductivité de l'eau distillée à $20 \pm 0.2^\circ\text{C}$

Chapitre V

RESULTATS ET DISCUSSIONS

1. Résultats de mesure du Brix, pureté et couleur des sirops de refonte (SR) et filtré (SF) et le taux rendement de la carbonatation (Taux Rdt)

Les résultats de mesure du Brix, pureté et couleur du sirop de refonte (SR), sirop filtré (SF) et le taux de rendement de la carbonatation (Taux Rdt) sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau III : Résultats de mesure du Brix, pureté et couleur du sirop de refonte (SR), sirop filtré (SF) et le taux de rendement de la carbonatation (Taux Rdt).

| Ech | Sirop de refonte (SR) | | | Sirops filtré (SF) | | | |
|-----|-----------------------|--------|---------|--------------------|--------|---------|----------|
| | Brix | Pureté | Couleur | Brix | Pureté | Couleur | Taux Rdt |
| 1 | 62,45 | 99,04 | 1409 | 58,45 | 99,18 | 535 | 62,03 |
| 2 | 59,75 | 99,1 | 970 | 57,8 | 99,31 | 324 | 66,60 |
| 3 | 59,3 | 99,03 | 1225 | 57,5 | 99,12 | 452 | 63,10 |
| 4 | 61 | 99,1 | 1271 | 58,15 | 99,24 | 439 | 65,46 |
| 5 | 64,05 | 99,07 | 1241 | 58,25 | 99,25 | 467 | 62,37 |
| 6 | 62,2 | 98,97 | 1186 | 58,2 | 99,16 | 485 | 59,11 |
| 7 | 61,85 | 98,79 | 1231 | 58,65 | 99,08 | 502 | 59,22 |
| 8 | 61,15 | 98,84 | 1251 | 56,55 | 99,04 | 552 | 55,88 |
| 9 | 62,45 | 98,8 | 1276 | 58,45 | 99,26 | 511 | 59,95 |
| 10 | 59,75 | 98,74 | 1265 | 57,8 | 99,09 | 534 | 57,79 |
| 11 | 59,3 | 98,66 | 1230 | 57,5 | 99,32 | 519 | 57,80 |
| 12 | 61 | 98,8 | 1290 | 58,15 | 99,17 | 552 | 57,21 |
| 13 | 64,05 | 98,91 | 1289 | 58,25 | 99,16 | 531 | 58,81 |
| 14 | 62,2 | 98,7 | 1206 | 58,2 | 99,13 | 558 | 53,73 |
| 15 | 61,85 | 98,97 | 1285 | 58,65 | 99,14 | 580 | 54,86 |
| 16 | 61,15 | 98,8 | 1273 | 56,55 | 99,18 | 473 | 62,84 |
| 17 | 62,45 | 98,8 | 1276 | 58,45 | 99,26 | 511 | 59,95 |
| 18 | 59,75 | 98,74 | 1265 | 57,8 | 99,09 | 534 | 57,79 |
| 19 | 61 | 98,66 | 1230 | 57,5 | 99,2 | 519 | 57,80 |
| 20 | 64,05 | 98,8 | 1290 | 58,15 | 99,17 | 552 | 57,21 |
| 21 | 62,2 | 98,91 | 1289 | 58,25 | 99,16 | 531 | 58,81 |
| 22 | 61,85 | 98,7 | 1206 | 58,2 | 99,13 | 558 | 53,73 |
| 23 | 61,15 | 98,97 | 1285 | 58,65 | 99,13 | 580 | 54,86 |
| 24 | 62,45 | 98,8 | 1273 | 56,55 | 99,18 | 473 | 62,84 |
| 25 | 59,75 | 98,69 | 1276 | 58,45 | 99,26 | 511 | 59,95 |
| 26 | 59,3 | 98,83 | 1265 | 57,8 | 99,09 | 534 | 57,79 |
| 27 | 61 | 98,84 | 1230 | 57,5 | 99,32 | 519 | 57,80 |
| 28 | 64,05 | 98,91 | 1290 | 58,15 | 99,17 | 552 | 57,21 |
| 29 | 64,05 | 98,85 | 1289 | 58,25 | 99,16 | 531 | 58,81 |
| 30 | 62,2 | 98,76 | 1206 | 58,2 | 99,13 | 558 | 53,73 |

Rdt: Rendement de la carbonatation. **Ech** : Échantillons.

Le tableau III représente les résultats de trente prélèvements qui ont été réalisés avec trois heures d'intervalle pour les sirops de refonte (SR), sirops filtré (SF) ainsi que le calcul du taux de rendement de la carbonatation (Taux Rdt). Les résultats obtenus sont pour la majorité conforme aux normes de l'entreprise ce qui traduit la bonne maitrise l'étape de carbonatation et filtration.

1.1. Résultats du suivi du Brix du sirop de refonte (SR) et du sirop filtré (SF)

La figure 12 représente la variation du Brix du sirop refonte (SR) et du sirop filtré (SF)

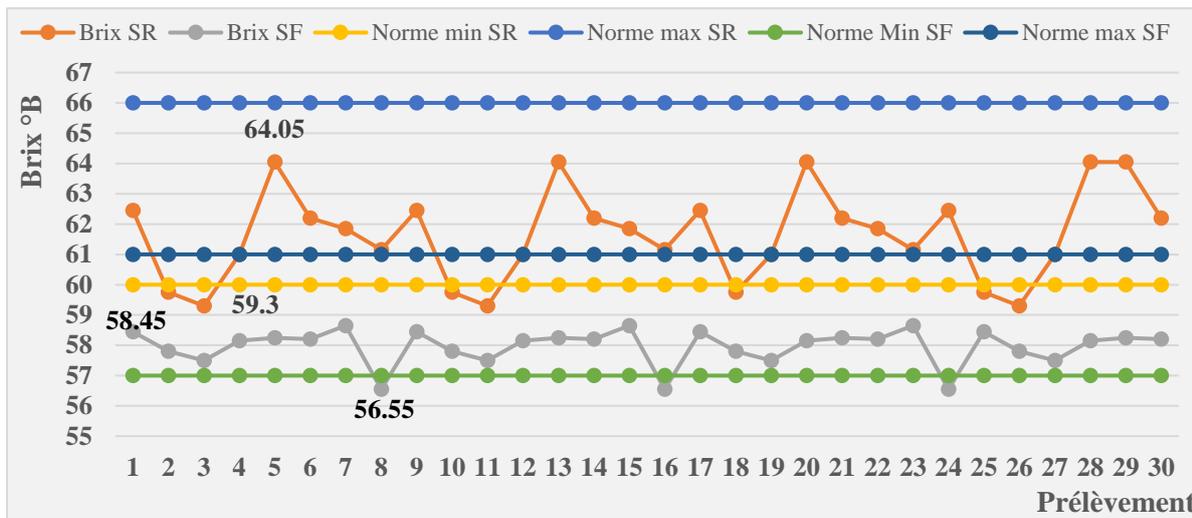


Figure 12 : Variation du Brix du sirop refonte (SR) et du sirop filtré (SF).

D'après le graphe du sirop refonte (SR) illustré ci-dessus, on remarque que le brix du SR n'est pas stable, nos résultats varient entre 59,3 et 64,05°B. On remarque aussi que la plupart des valeurs sont inférieures à la norme minimale (60°B) aux 3^{ème}, 11^{ème} et 26^{ème} prélèvements où la valeur la plus basse est enregistrée mais qui n'est pas très loin de la norme. Pour les valeurs les plus élevées enregistrées aux 5, 13, 20, 28 et 29^{ème} prélèvements, elles sont inférieures à la norme supérieure (65°B).

La variation du brix du sirop de refonte est liée probablement à la variation du brix du sirop de refonte d'affinage suite à l'utilisation de l'eau osmosée ou eau sucrée dans la refonte du sucre roux et la variation du Brix de la refonte du sucre A (provenant de l'unité sucres spéciaux) et/ou une mauvaise régulation du matériel (brix mètre de refonte affinage).

Pour le sirop filtré, les résultats obtenus sur les 30 prélèvements étudiés montrent qu'il y'a une légère variabilité du brix du SF qui se situe entre 58,45 et 56,55°B sans pour autant dépasser la limite supérieure (61°B). Des pics légèrement au-dessous de la norme inférieure

(57°C) lors des 8^{ème}, 16^{ème} et 24^{ème} prélèvements ont été notés. La comparaison des deux courbes SR et SF montre des écarts de brix entre les deux sirops d'environ quatre points. Cette variation est liée à la variation du brix du sirop de refonte ainsi que le mélange de sirop de refonte avec le lit de chaux constitué d'environ 80 % d'eau.

Selon **Cosumar (2012)**, le brix est un paramètre qui doit faire l'objet d'un contrôle continu. À l'étape d'épuration, on doit s'assurer au moment de la fonte que le brix ne soit pas trop élevé afin d'éviter la formation de sucres invertis. Un brix trop élevé rend le sirop trop visqueux pour être filtré, de même un brix trop bas aura pour effet l'apport de plus d'énergie pour l'évaporation car la refonte traitée sera trop diluée, ce qui aura pour conséquence l'augmentation de temps d'évaporation, par conséquent la réduction de production.

1.2. Résultats du suivi de la variation de la pureté du sirop de refonte (SR) et du sirop filtré (SF).

La figure 13 représente la variation de la pureté du sirop de refonte (SR) et du sirop filtré (SF)

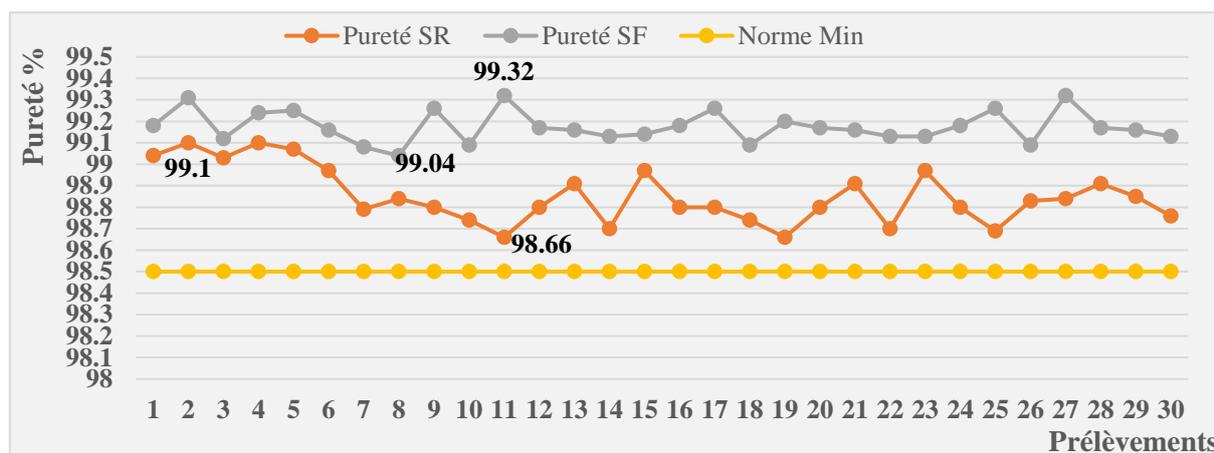


Figure 13 : Variation de la pureté du sirop de refonte (SR) et du sirop filtré (SF).

D'après graphes du sirop de refonte, les valeurs de la pureté varient de 98,66 % à 99,1%. Ces valeurs répondent toutes à la norme minimale exigée.

Cette variation est due à la quantité d'impuretés présentes dans la matière première (sucre roux) ainsi que l'arrivée du sirop de la refonte sucre A de pureté comprise entre 95 à 98%.

La courbe des échantillons sirop filtré (SF) indique une augmentation de la pureté à des valeurs supérieures à 99%. Elles sont comprises entre 99,04 et 99,32% répondant toutes aux normes exigées.

D'après **Toure et al., (2010)**, la pureté continue d'augmenter dans le SF jusqu'à une valeur de 99,05 %. Cela s'explique par l'élimination des impuretés dont 1/3 de ces dernières sont éliminées durant la deuxième carbonatation.

1.3. Résultats du suivi de l'évolution de la couleur du sirop de refonte (SR) et du sirop filtré (SF).

La figure 14 représente l'évolution de la couleur du sirop refonte (SR) et du sirop filtré (SF).

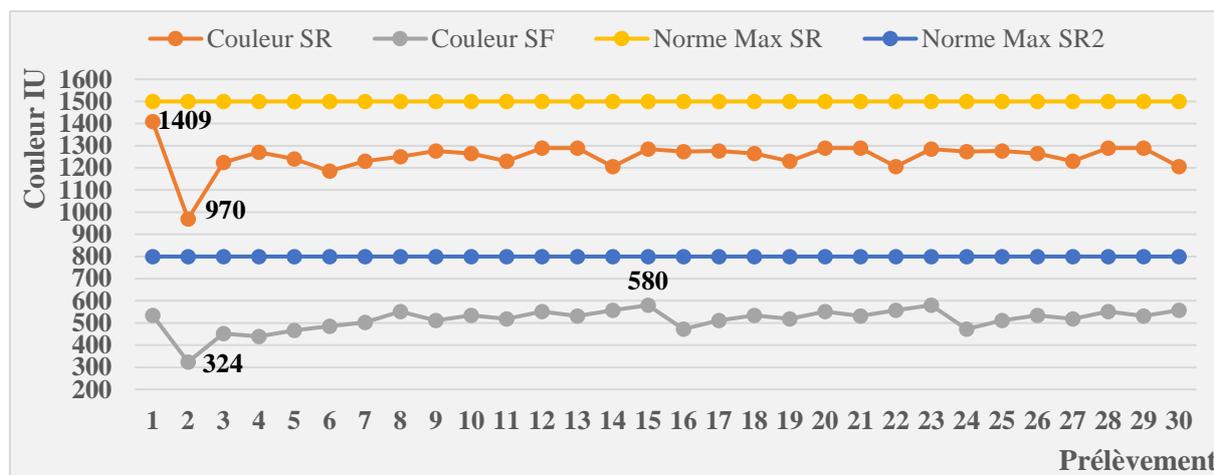


Figure 14 : Évolution de la couleur du sirop refonte (SR) et du sirop filtré (SF).

D'après la courbe de la couleur du SR, nous constatons que la majorité des résultats sont stables (environs de 1200 IU) et ne présentent pas des fluctuations importantes et ils sont inférieurs à la limite maximale (1500 IU). Cela indique une couleur stable de la matière première. On remarque deux grandes variations pour les deux premiers échantillons 1409IU et 970 IU. Cela pourrait s'expliquer par l'arrivée de la refonte sucre A de couleur très élevée pour le premier échantillon qui a été suivi d'un arrêt d'envoi pour le deuxième ou une refonte importante de grugeons de sucre blanc au niveau d'affinage.

La courbe du SF montre des couleurs plutôt stables aux alentours de 500 IU et elles sont toutes inférieures à la norme maximale fixée par l'entreprise. La valeur la plus faible enregistrée suit celle du sirop de refonte.

Selon **Almohammed (2017)**, la couleur diminue à cause de l'élimination des impuretés résiduelles piégées après la carbonatation et éliminées par filtration.

1.4. Taux de rendement de la carbonatation (Taux Rdt)

La figure 15 représente la variation du taux de rendement de la carbonatation (taux Rdt).

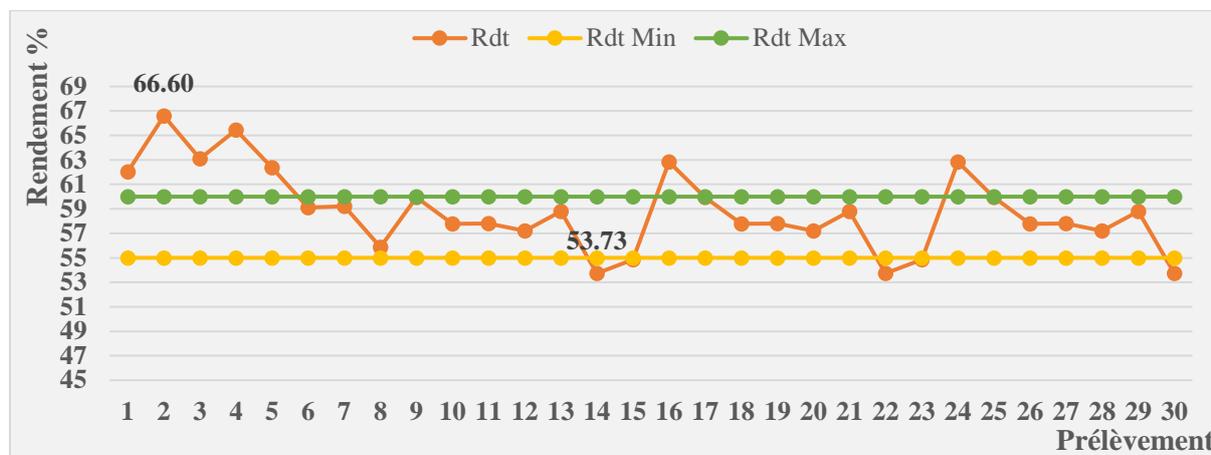


Figure 15 : Variation du taux de rendement de la carbonatation (Taux Rdt).

D’après le graphe illustré sur la figure 15, nous constatons une instabilité dans le taux de rendement de la carbonatation. Ces résultats présentent des valeurs qui oscillent entre 53,73 et 66,60%. La plupart des résultats entrent dans l’intervalle des limites exigées (55 % à 60%).

En effet, nos résultats révèlent des valeurs inférieures à 55% pour les prélèvements 14, 22 et 30. Néanmoins des valeurs supérieures sont enregistrées pour les cinq premiers prélèvements là où le meilleur Taux Rnt (66,6 %) est enregistré ainsi que les 16 et 24^{ème}.

La variation du taux de rendement de la carbonatation est liée à plusieurs facteurs. Selon **Burzawa (1999)**, ceci est dû à la teneur du lait de chaux en chaux active qui est en solution car sa propriété épurant est due à sa solubilité en milieu sucré, ainsi que la concentration en CO₂ du gaz injecté et la dimension des bulles de gaz de barbotage et la hauteur de barbotage. Selon **Bonenfant (1999)** et **Cosumar (2012)**, un gaz pauvre en CO₂ entrainera automatiquement une diminution de chaux et par la suite une formation insuffisante en précipité. L’idéal serait d’avoir une valeur supérieure au seuil de 12%.

2. Résultats de mesure du pH des sirops de fonte (SR), sirop carbonaté (SC), sirop filtré (SF) et jus chaulé (JC).

Les résultats de mesure du pH des sirops de fonte (SR), sirop carbonaté (SC), sirop filtré (SF) et jus chaulé (JC) sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau IV : Résultats de mesure du pH des sirops de refonte (SR), carbonaté (SC), filtré (SF) et jus chaulé (JC).

| Echantillons | pH | Norme | Echantillons | pH | Norme |
|--------------|-------|-------------|--------------|------|-----------|
| SR | 6,44 | 6,5 à 7,5 | SC2 | 9,4 | 09 à 10 |
| JC | 11,12 | 10,5 à 11,5 | SC3 | 8,19 | 8,2 à 8,8 |
| SC1 | 9,85 | 9,5 à 10,5 | SF | 7,82 | 7,5 à 8,5 |

Le Tableau IV représente la moyenne de mesure du pH de trente prélèvements des sirops de refonte (SR), carbonaté (SC), filtré (SF) et jus chaulé (JC) et les normes exigées. Nous constatons que toutes les valeurs mesurées sont conformes aux normes.

La figure 16 représente l'évolution du pH des sirops de refonte (SR), carbonaté (SC), filtré (SF) et jus chaulé (JC).

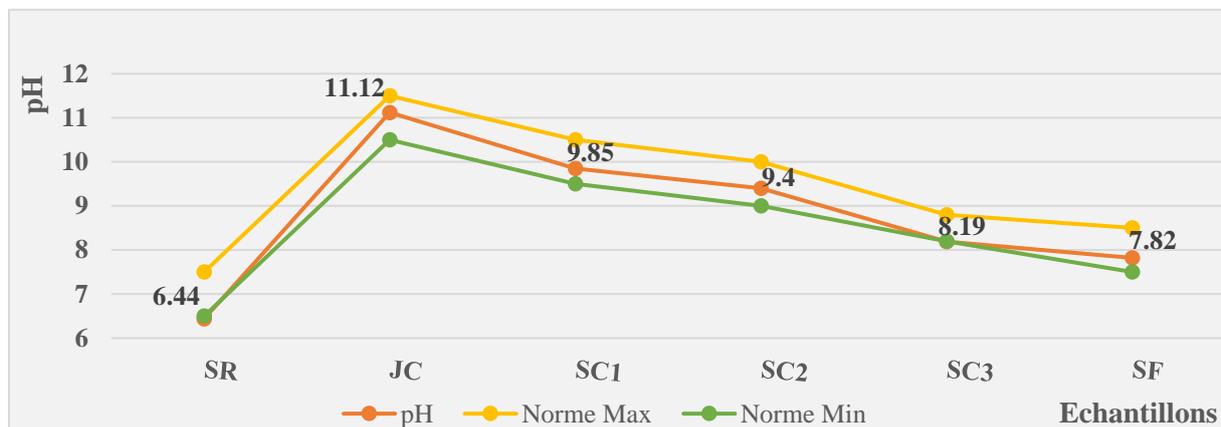


Figure 16 : Evolution du pH des sirops de refonte (SR), carbonaté (SC), filtré (SF) et jus chaulé (JC).

Les résultats de la figure 16 révèlent que les valeurs du pH des sirops sont conformes aux normes.

Le pH du SR (6,44) est inférieur à la norme vu que la régulation de ce dernier est réalisée grâce à l'injection de lait de chaux au niveau de l'affinage et l'arrivée de la refonte sucre A qui légèrement acide (5 à 6).

Selon **Almohammed (2017)**, l'augmentation du pH du JC jusqu'à 11,12 est dû à l'étape de chaulage. Après cette étape on procède à une première carbonatation du jus chaulé, ce qui diminuera le pH à 9,85. Puis une deuxième carbonatation diminuant le pH jusqu'à un 9,4. Enfin une troisième carbonatation pour avoir un pH de 8,19 qui est pratiquement juste à la norme minimale. L'évolution des pH de la carbonatation est conforme à la norme. L'objectif

de la carbonatation étant l'injection du CO₂ qui réagirait avec le Ca(OH)₂ pour former le carbonate de calcium CaCO₃ qui absorbe les non-sucre contenus dans le jus et utilisé comme support de filtration, ensuite éliminer le calcium résiduel. Selon **Cosmeur et Mathlouthi (1999)**, le calcium provoque le trouble du sucre, principalement lorsqu'il est lié au saccharose sous forme saccharate. Les composés isolés (calcium, colorants de haut PM, polysaccharides) provoquent la diminution de la vitesse de cristallisation ainsi que la baisse de l'ouverture moyenne (OM) du sucre fini.

Le pH du sirop filtré est supérieur à la norme minimale exigée (7,5) et inférieur au pH SC3. Ceci est la conséquence de l'élimination des matières basique lors de la filtration.

3. Résultats de mesure de l'alcalinité (g CaO/L) du jus chaulé (JC).

Les résultats de mesure de l'alcalinité (g CaO/L) du jus chaulé (JC) sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau V : Résultats de mesure de l'alcalinité (g CaO/L) du jus chaulé (JC).

| Echantillons | Alcalinité | Echantillons | Alcalinité | Echantillons | Alcalinité |
|---------------------|-------------------|---------------------|-------------------|---------------------|-------------------|
| 1 | 4,9 | 11 | 5,1 | 21 | 5,4 |
| 2 | 5 | 12 | 5 | 22 | 5,2 |
| 3 | 5,1 | 13 | 5,4 | 23 | 5 |
| 4 | 5 | 14 | 5,2 | 24 | 5,3 |
| 5 | 5,4 | 15 | 5 | 25 | 4,9 |
| 6 | 5,2 | 16 | 5,3 | 26 | 5 |
| 7 | 5 | 17 | 4,9 | 27 | 5,1 |
| 8 | 5,3 | 18 | 5 | 28 | 5 |
| 9 | 4,9 | 19 | 5,1 | 29 | 5,4 |
| 10 | 5 | 20 | 5 | 30 | 5 |

Le tableau V représente la mesure de l'alcalinité (g CaO/L) du jus chaulé (JC) sur trente prélèvements avec un intervalle de trois heures. Tous les résultats sont inclus dans l'intervalle de normes exigées.

La figure 17 représente la variation de l'alcalinité (g CaO/L) du jus chaulé (JC).

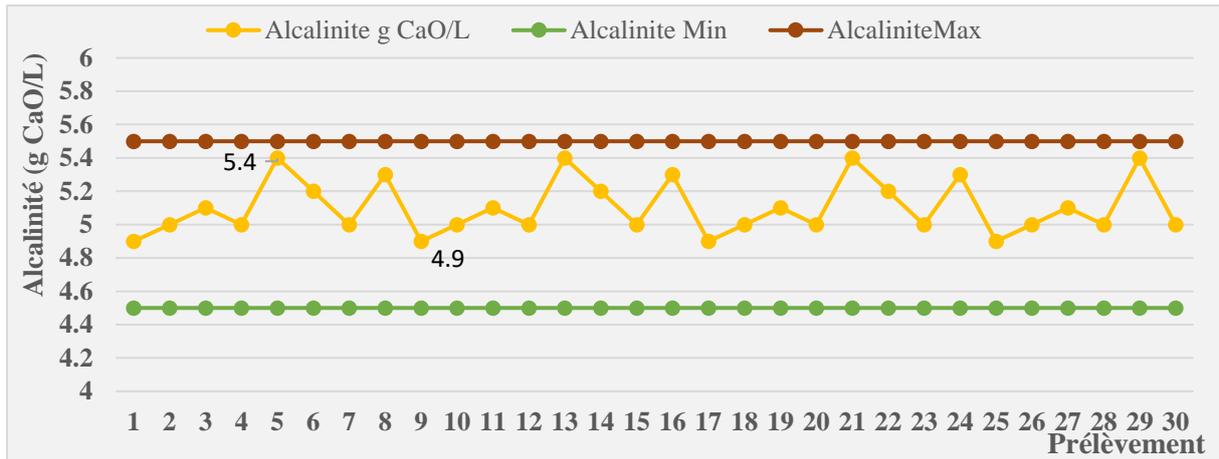


Figure 17 : Variation de l’alcalinité (g CaO/L) du jus chaulé (JC).

D’après les résultats obtenus, les valeurs d’alcalinité varient de 4,9 à 5,4 g CaO/L, mais restent dans conformes aux normes exigées. Cette variation est due aux préparations de lait de chaux qui diffèrent en quantité de chaux active et concentration de chaux qui entre en réaction et le débit de mélange avec le sirop de refonte (ration).

D’après **Burzawa (1999)**, le chaulage assure les réactions de dégradation et apporte une charge suffisante de chaux qui, carbonatée, servira de support de filtration. La dégradation des substances azotées est très importante; elle assure la stabilité des jus, évitant les chutes de pH en évaporation et l’hydrolyse du saccharose.

4. Conformité du sucre blanc (produit final) de Cevital

Les résultats des analyses physicochimiques du sucre blanc produit au niveau de la raffinerie du sucre Cevital sont représentés dans le tableau VI. Ces résultats indiquent que la moyenne journalière pour chaque paramètre physicochimique analysé (Polarisation, couleur, cendres conductimétriques et teneur en sucres réducteurs (invertis)) du sucre blanc sont conformes aux normes de qualité CEE (Communauté Européen Economique) qui sont adoptée par Cevital en sa qualité d’exportateur (plus grand producteur de sucre blanc au monde) ainsi qu’à la norme A qui est la réglementation adoptée en Algérie (Norme Codex Alimentarius).

Tableau VI : Résultats d'analyse du sucre blanc (produit fini).

| Sucre blanc Jours | Polarisation (%) | Invertis(%) | Cendres (%) | Couleur (UI) |
|----------------------|------------------|-----------------|-----------------|---------------|
| Normes CEE | Min 99,7 | Max 0,04 | Max 0,04 | Max 45 |
| Normes A | Min 99,7 | Max 0,04 | Max 0,04 | Max 60 |
| J 1 | 99,9 | 0,018 | 0,012 | 26 |
| J 2 | 99,9 | 0,017 | 0,011 | 26 |
| J 3 | 99 ,89 | 0,017 | 0,012 | 25 |
| J 4 | 99 ,88 | 0,019 | 0 ,010 | 27 |
| J 5 | 99,89 | 0,022 | 0,01 | 27 |
| J 6 | 99,87 | 0,021 | 0,014 | 28 |
| J 7 | 99 ,85 | 0,020 | 0,023 | 27 |

Max : Maximum, **Min** : Minimum, **Norme CEE** (norme adopté par l'entreprise), **Norme A** : Norme de spécification A selon la réglementation algérienne (Norme Codex Alimentarius).

D'après le Tableau VI, on constate que les résultats des analyses du sucre blanc sont conformes au Norme CEE (Communauté Européen Economique) normes adoptées par l'entreprise et la norme de spécification A selon la réglementation algérienne (Norme Codex Alimentarius).

4.1. Résultats de mesure de la polarisation

La figure 18 représente les résultats de mesure de la polarisation.

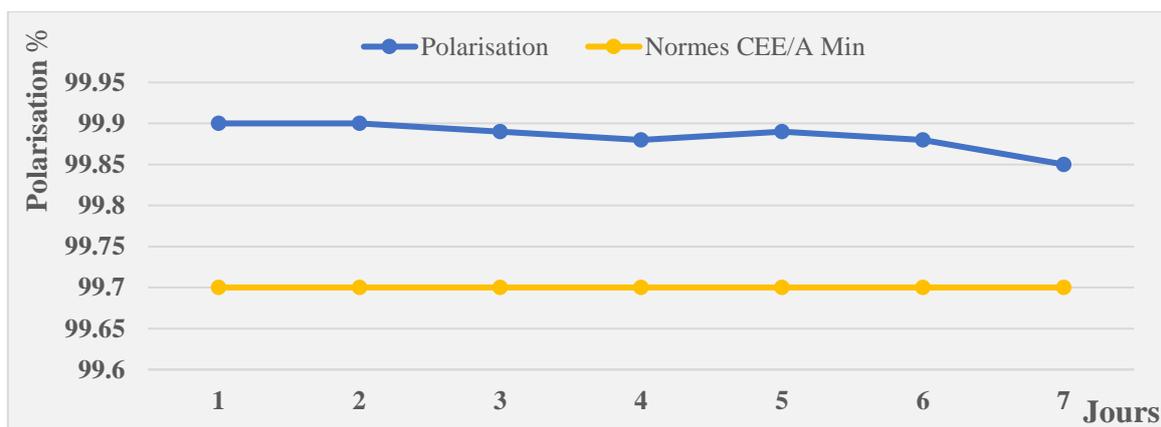


Figure18 : Polarisation du sucre blanc.

D'après la figure18, les valeurs de la polarisation du sucre blanc (99,90% en moyenne) restent au-dessus des deux normes CEE et A, malgré une légère baisse au septième jour.

A partir de ces résultats, on peut dire que, du point de vue de la polarisation, le sucre blanc produit par Cevital est conforme aux normes CEE et A.

4.2. Résultats de mesure de la couleur

La figure 19 représente les résultats de mesure de la couleur.

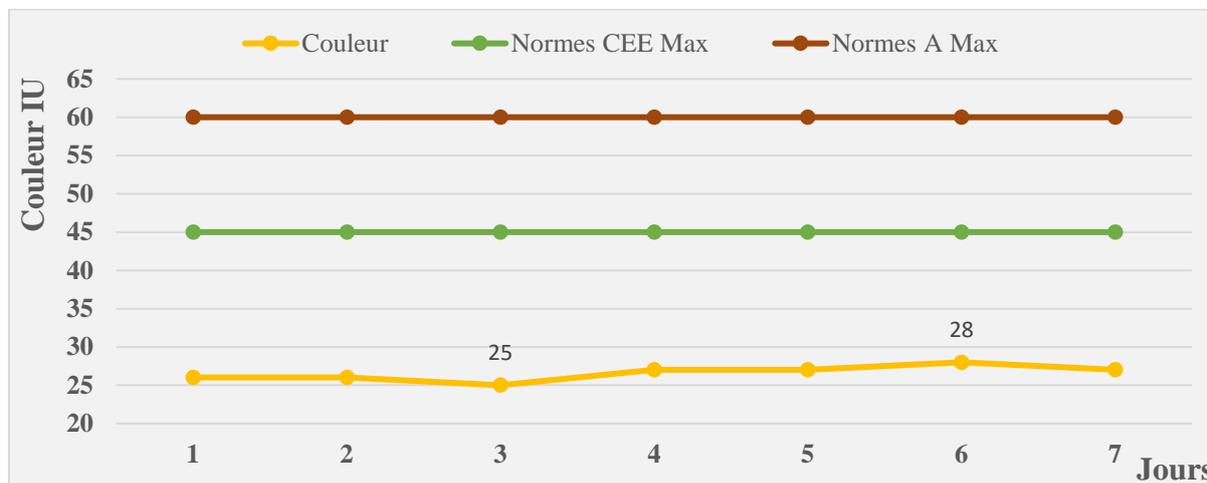


Figure 19 : Couleur du sucre blanc.

Le graphe ci-dessus montre que les résultats d'analyse de la couleur du sucre blanc sont très en dessous des valeurs représentant les deux normes CEE (Max 45 UI) et A (Max 60 UI), ce qui certifie la conformité du sucre blanc de Cevital et montre l'efficacité de la décoloration, de la carbonatation et de la filtration.

4.3. Résultats de mesure de la teneur en cendres conductimétriques

La figure 20 représente les résultats de mesure de la teneur en cendres conductimétriques

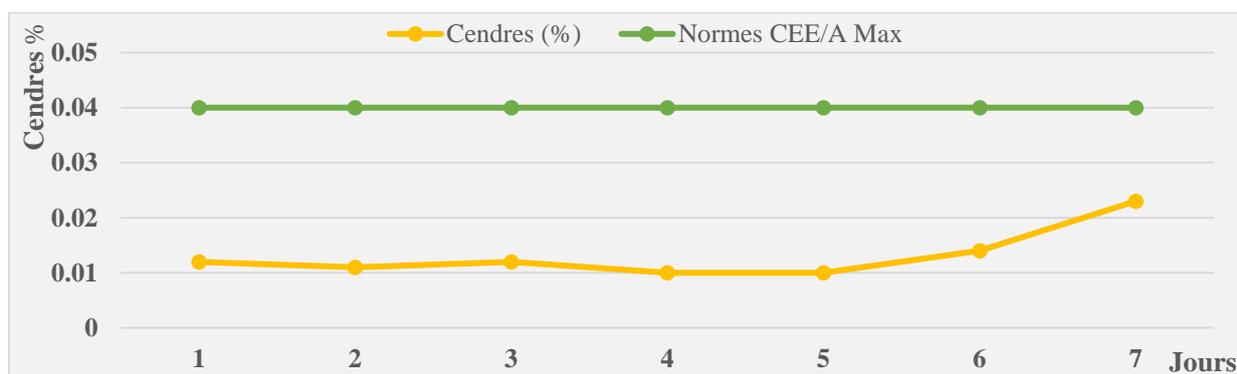


Figure 20 : Teneur en cendres conductimétriques du sucre blanc.

Le graphe de la teneur en cendres conductimétriques montre que les résultats de mesure sont stables du premier au cinquième jour. À partir du sixième jour, elles augmentent pour atteindre au septième jour pratiquement le double de la moyenne des jours précédents.

Les valeurs enregistrées restent au-dessous de la valeur maximale représentant à la fois les deux normes CEE et A. Cela nous permet de dire que de point de vue de la teneur en cendres conductimétriques, le sucre blanc produit au niveau de Cevital est conforme aux deux normes CEE et A.

4.4. Résultats de mesure de la teneur en sucres réducteurs (invertis)

La figure 21 représente les résultats de mesure de la teneur en sucres invertis.

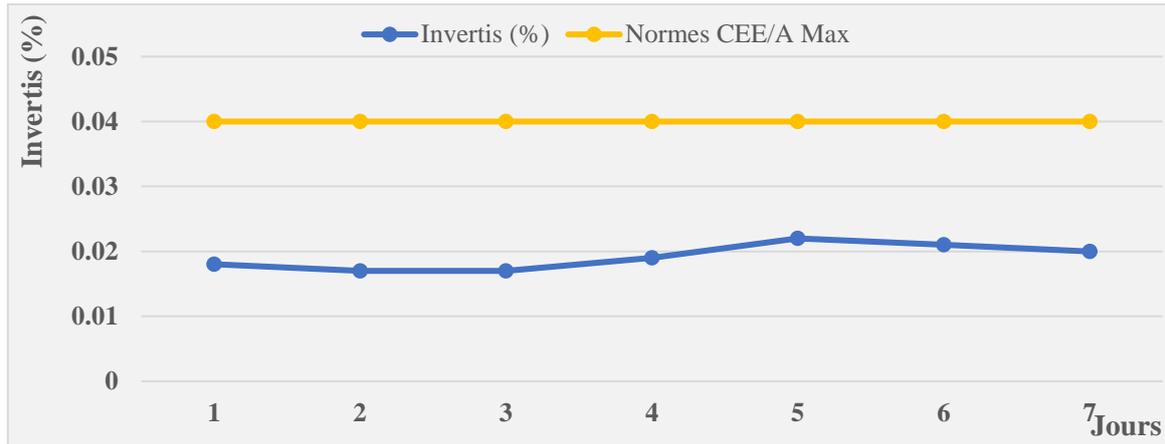


Figure 21 : Teneur en sucres réducteurs du sucre blanc.

D'après la figure 21, les valeurs de la teneur en sucres réducteurs du sucre blanc varient de 0,015 à 0, 022%. Ces valeurs sont au-dessous de la valeur maximale exigée par les deux normes A et CEE qui est de 0,04%. Cela confirme que la teneur en sucres réducteurs du sucre blanc répond aux deux normes A et CEE.

Les résultats obtenus pour les différents analyses de conformité atteste que le sucre blanc produit au niveau de la raffinerie de sucre Cevital est de bonne qualité. Cette dernière est le résultat d'un bon fonctionnement du processus de raffinage dont l'épuration calco-carbonique et la filtration occupent un rôle déterminant.

CONCLUSION

Conclusion

L'optimisation de la carbonatation à la raffinerie de sucre Cevital 3500T/j demeure un travail qui doit être fait périodiquement et continuellement pour les sections refonte, épuration et filtration puisqu'une bonne carbonatation et filtration permet d'avoir par conséquent une bonne qualité et rentabilité des étapes ultérieures.

Dans le cadre de cette étude, un intérêt a été particulièrement porté aux sections carbonatation et filtration et au regard des résultats des analyses physico-chimiques que nous avons effectuées à chaque étape (couleur, Brix, polarisation, pureté, pH..), les conclusions suivantes ont été tirées :

- ▶ Le brix du sirop de refonte est instable.
- ▶ Le niveau de pureté des sirops de refonte et filtré est pratiquement supérieur à la norme.
- ▶ Le rendement de la carbonations est instable même si il est dans les normes.
- ▶ Le pH des sirops est maîtrisé met à part pH sirop de refonte.
- ▶ Instabilité de l'alcalinité même si elle est dans les normes.
- ▶ Le sucre blanc «Cevital » est conforme aux normes Algérienne et aux normes de la Communauté Economique Européenne (adoptées par l'entreprise).

Au terme de notre étude, nous suggérons pour une amélioration et un meilleur contrôle des paramètres liés à l'épuration calco-carbonique et à la filtration :

- ▶ L'augmentation de la fréquence d'analyse pour un meilleur contrôle des paramètres physicochimiques.
- ▶ Mise en place d'un plan de contrôle rigoureux de l'appareillage (brix-mètre) de régulation du brix du sirop de refonte.
- ▶ L'automatisation du suivi du pH par l'intégration des pH-mètres dans les chaudières de carbonatation en tenant compte de paramètre température.
- ▶ Vérification journalière de la qualité de chaux utilisée.

En attendant la mise au point industrielle des nouveaux procédés d'épuration (telle que l'ultrafiltration par exemple), l'épuration calco-carbonique reste encore le procédé le plus économique permettant d'obtenir un jus convenablement épuré conduisant à un sucre de qualité avec des rendements satisfaisants. L'ensemble des réactions intervenant au cours de cette épuration calco-carbonique ne permettent d'éliminer en fin de compte qu'environ 60% des 2% d'impuretés contenues dans le jus de diffusion. Ce sont néanmoins des non-sucres les plus nocifs et leur élimination est indispensable pour obtenir un sucre «loyal et marchand».

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

A

AFISUC. (2002)a. Association pour la Formation et le Perfectionnement dans les Industries Sucrières. Cristal. pp 1-15.

Almohammed F. (2017). Application des électro technologies pour une valorisation optimisée de la betterave à sucre dans un concept de bioraffinerie. Thèse de doctorat. Université technologie Compiègne .Spécialité génie de procédés industriels et développement. pp 70-71.

Amrani M. (2006). Détermination de la qualité du pain de sucre à partir des concentrations des sucres réducteurs. African Journal of Science and Technology. pp1-7.

Applexion. (2008). Assurance qualité. Décoloration sur résine et nanofiltration. Manuel Opérateur Cevital-Algérie. 131p.

Applexion-Orelis. (2008). Management de la qualité. Décoloration sur résines. Extension de l'unité de décoloration existante. Manuel Opérateur Cevital-Algérie. 87p.

Arzate A. (2005). Extraction et raffinage du sucre de canne, revue de l'ACER (Centre de Recherche, de Développement et de Transfert Technologique en Acériculture). Saint-Norbert-d'arthabaska. pp 1-41.

Asadi M. (2007). Beet-Sugar Handbook. Ed: John Wiley & Sons, Inc. Hoboken. New Jersey. USA. 884p. pp. 45 – 62.

B

Belhamri R. (2005). Extraction des macromolécules pariétales des eaux de presse de betteraves sucrières « Etude de leur composition, de leurs propriétés physico-chimiques et de leur effet sur le process sucrier ». Th, doct : Chimie Physique Industrielle. Université de Reims champagne – Ardenne. 233 p.

Beck C ., Cardon N ., Deldon D ., Fuchs P ., Gaillard J ., Guillaumie A. et Liefoghe C. (1999). La filière confiserie, thèse Universitaire de technologie de compiègne Qualimapa. France. pp 23-27.

Bonenfant Ph. (1999). Évolution du matériel dans les ateliers d'épuration. AVH Association, 6ème Symposium, Reims. pp 11-15.

Bounie D. (2004). La vergeoise. Cours de technologies industrielles : l'usine agroalimentaire. École Polytechnique Universitaire de Lille. pp 1-42.

Bubnik Z. et Kadlec P. (1995). La solubilité du saccharose. In “ Le saccharose, Propriétés et Applications “. Ed : Polytechnica, Paris. pp 106-131.

Burzawa E. (1999). Rappel des bases de l'épuration calco-carbonique. AVH Association, 6^{ème} Symposium, Reims. pp 5-7.

C

Cartier S. (1999). Sucrose recovery in new refinery: comparison between crystallization and chromatographic operations. Sugar industry technologists. Ed : Estoril. Portugal. pp 171-193.

Chi Chou C. et Chen J.C.P. (1993). Cane sugar Handbook. In A manual for cane sugar manufacturers and their chemists. Ed John Wiley & Sons Inc. ny. usa. 1075 p.

Choquenot. (2012). Notice technique. Fabrication et ateliers. choquenot sas 19, rue Charles Brunette 02300 Chauny France. pp 57-58

Cirad. (2009). Canne à sucre la recherche relève de nouveaux défis. In La canne à sucre un défi agricole et environnemental. Agronews nouvelles de la recherche agronomique au Cirad. Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement direction régionale de la Réunion. BP 20 97408 St Denis France. pp 7-9.

Cortés R.A. (2007). Direct white sugar production. Optimization and chemical regeneration of fixed-bed activated carbon adsorbers. Th, master: Science Biological and Agricultural Engineering. Louisiana state university. 133 p.

Cosmeur A et Mathlouthi M. (1999). Étude en microcuite de l'effet de certaines impuretés sur la qualité du sucre blanc de betterave. AVH Association, 6^{ème} Symposium, Reims. pp 45-57.

COSUMAR. (2012). Optimisation de la conduite d'épuration raffinerie et amélioration du rendement de décoloration de la refonte raffinée .Rapport annuel. Casablanca Maroc. 67p.

Courteau A. (2005). La canne à sucre et l'environnement à la reunion : revue bibliographique. Institut universitaire professionnalisé génie des territoires et de l'environnement, filière diagnostic et gestion des systèmes écologiques, université de Franche-Comté. p31.

D

David D. et Kitts P.h.D. (2010). Le saccharose du champ à la table. Université de Colombie-Britannique. Département des sciences des aliments .Disponible sur: «glucides- info». 88p.

Decloux M., Tatoud L . et Mersad A. (1999). Rétention des impuretés de refonte de sucre roux de canne par filtration tangentielle. AVH Association, 6ème Symposium, Reims. pp 58-63.

Decloux M. (2002). Procédés de transformation en sucrerie (partie1). In “ Techniques de l’ingénieur “, traité Agroalimentaire. pp 1-18.

Decloux M. (2003). Procédés de transformation en sucrerie (partie 2). In “ Techniques de l’ingénieur “, traité Agroalimentaire. pp 1-16.

Dilmi Bouras M. (1998). Les constituants alimentaires et leur rapport avec la santé. Office des Publications Universitaires (OPU), Alger. 272 p.

Doressamy T J. (2010). Etude sur l’identification et la validation d’un procédé de cristallisation Rapport de stage. Laboratoire LE²P Université de Saint-Denis. Paris France.56p.

Doucet J. (1992). Le sucre (saccharose) et ses dérivés traditionnels et nouveaux. In “ Le sucre, les sucres, les édulcorants et les glucides des charges dans les industries agroalimentaires “. Ed : Tec et Doc, Lavoisier. pp 258-278.

Doucet J. (1999). Le sucre, les sucres, les édulcorants et les glucides de charge dans les I.A.A. pp 123-126.

H

Hugot E, (1987). Carbonatation. In. La sucrerie de canne 3ème édition. Technique & Documentaiton-Lavosieir (Ed.). 11, rue Lavosieir F 75384 Paris. pp 375-384.

I

ICUMSA (International Commission for Uniform Methods of Sugar analysis).(1994). Icumsa Method Book. Bartens. Berlin. Germany.

J

Jhilal F. (2010). Modélisation statistique pour la maîtrise de procédé de carbonatation du jus du sucre. Cosumar casa. pp 22-24

K

Kessous C. (2008). Biochimie Structurale : Protéines, Glucides, Lipide et Acides nucléiques. Ed : Office des Publications Universitaires. 105 p.

Khirani S. (2007). Procédés hybrides associant la filtration membranaire et l'adsorption/échange ionique pour le traitement des eaux usées en vue de leur réutilisation. Th, doct : Génie Des Procédés et Environnement. Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse. 176 p.

L

Lameloise M.L. (2007). Sucrierie/raffinerie de canne. In Applications actuelles et potentielles des techniques séparatives en sucrierie / raffinerie. IRC / Montpellier Sup Agro Formation Ingénieurs. pp 1- 42.

M

M.C.G (Manuel de Connaissances Générales). (2010). Cevital spa. 28p.

M.O.C (Manuel opératoire carbonatation). (2010). Cevital spa.10p.

M.O.F (Manuel opératoire filtration). (2010). Cevital spa, 08p.

Mathlouthi M. et Barbara R. (2004). La sucrierie de canne. Dossier CEDUS avec la collaboration de l'université de Reims. pp 1-7.

Mathlouthi M. et Barbara R. (2001). L'extraction du sucre. CEDUS (Centre d'Etude et de Documentation du Sucre). pp 1-21.

Mathlouthi M. (2002). Les propriétés physiques et chimiques du saccharose. Dossier CEDUS avec la collaboration de l'Université de Reims. pp 1-11.

Mc Neill T. (2004). Sugar quality. In "Sugar Trading Manual (S T M) ". Jonathan Kingsman. Ed: Woodhead Publishing Limited. Cambridge England. pp 285-300.

O

Ouerfelli M. (2008). Le sucre : production, commercialisation et usages dans le méditerranée médiévale. Leyden-Boston, Brill, 2008.

P

Putsch. (2010). Technologie du sucre de canne. Catalogu Putsch GmbH & Co. KG, Hage. Allemagne. p14.

R

Rachedi N. (2002). Précèdes de transformation dans la raffinerie de sucre de Cevital. Rapport de formation. pp 1-30.

Reiser P., Birch G. et Mathlouthi M. (1995). Propriétés physiques. In “ Le Saccharose Propriétés et Applications “. Ed : Polytechnica, Paris. pp 197-235.

Romain J., Thomas C., Pierre S. et Gérard B. (2007). Science des aliments. Ed : Tec et Doc, Lavoisier. 449 p.

S

Schrevel G. (2001). Interaction eau - saccharose et conséquences sur le séchage, la maturation et le stockage du sucre cristallisé. AVH Association, 8ème Symposium, Reims. pp 1-9.

T

Teddy Jeannick Libelle. (2007). Modèles de connaissance de la cristallisation de troisième jet en sucrerie de cannes. Expérimentations et simulations. Thèse de doctorat en génie des procédés. Université de la réunion u.f.r de sciences et technologies. p 261.

Theoleyre M.A., Cartier S. et Decloux M. (1999). Couplage de la décoloration et de la nanofiltration des éluants de régénération en sucrerie de canne. AVH Association, 6ème Symposium, Reims. pp 1-15.

Tidjani H. et Benchernine I. (2012). Production de sucre blanc cas de la raffinerie GRD la belle Boumerdes. Thèse master II en génie des procédés option qualité et conservation des aliments. Université M’hamed Bougara Boumerdes. p 63.

Tour F.K., Bohoussou., Koffi E., Agbo G.N. (2010). Facteurs lies au rendement dans la raffinerie de canne du périmètre sucrier de FERKE 1 en côte d’ivoire. Université de cocody, UFR biosciences LABSA, BP 42 Abidjan 22. Agronomie africaine 22(1) : pp 85-95.

V

Vercambre B. et Langellier P. (2008). La culture de la canne à sucre. Cours ENSIA-IAARC, Institut des régions Chaudes - Montpellier Sup Agro. Ed : CIRAD-PERSYST. pp 1-40.

ANNEXES

Tableau I : Principaux colorants présents en sucrerie et raffinerie de canne (Decloux et al., 1999).

| Origine | Colorants | Formation | caractéristiques |
|---|---|--|--|
| Pigments et précurseurs de colorants de la canne | Flavones | / | Composés polyphénoliques pâles en milieu acide Jaunes-verts en milieu basique |
| | Mélanines | Brunissement enzymatique des composés polyphénoliques présents dans la canne | Polymères colorés bruns ou noirs |
| Colorants de fabrication | Caramels | Dégradation thermique du saccharose | |
| | Mélanoïdines | Réaction de Maillard: Réaction entre un sucre réducteur et un acide aminé | Composés azotés Couleur très foncée |
| | Produits de dégradation alcaline des hexoses (PDAH) | 1. Inversion du saccharose en milieu acide 2. Dégradation des hexoses en acides et produits colorés en milieu basique | Molécules que l'on distingue difficilement des précédentes Acides - Couleur brune |

Tableau II : Liste de matériel et réactifs utilisés.

| Matériels |
|---|
| <ul style="list-style-type: none">• Un Refractomètre de Bellingham + Stanley LTD, model : RFM 340.• Un spectrophotomètre (HERIOS gamma), pour la mesure de l'absorbance.• Un diluteur automatique muni d'une balance de précision, type DP 64.• Un pH mètre, de marque HANNA instruments.• Un polarimètre, de marque POLASER-S/R.E.I.• Un bain marine.• Un agitateur magnétique, de marque VELP Scientifica.• Une balance de précision, de marque SARTORIUS CP4201.• Une balance analytique, de marque KERN ALS 2204.• Une pompe à vide MULTIFIX M 80.• Un papier filtre de 0.45 µm et des filtres plissés standard.• Des bouteilles pour la réalisation des différentes dilutions.• Des entonnoirs.• Les pots en plastiques de 500 ml pour la réalisation des différents prélèvements.• Des ordinateurs munis d'un logiciel 'CLEOPATRE'. |
| Réactifs |
| <ul style="list-style-type: none">• HCl à 0.1N,• NaOH à 0.1N,• Des solutions tampons 7 et 10.• Une eau osmosée et filtrée.• Eau distillé.• Solution d'EDTA.• Murexide |

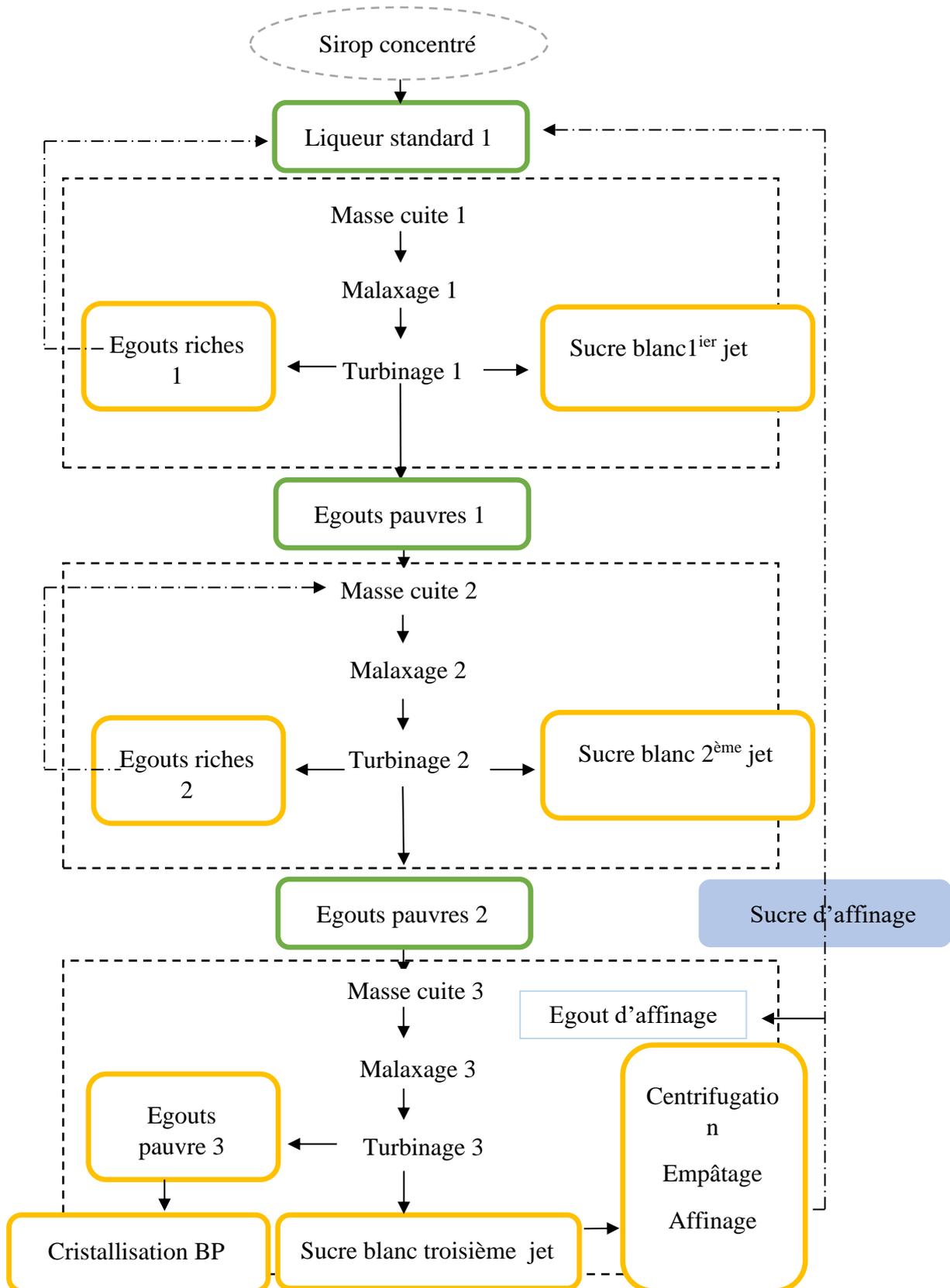


Figure 1 : Cycle de cristallisation des hauts produits en 3 jets (Romain et al., 2007).

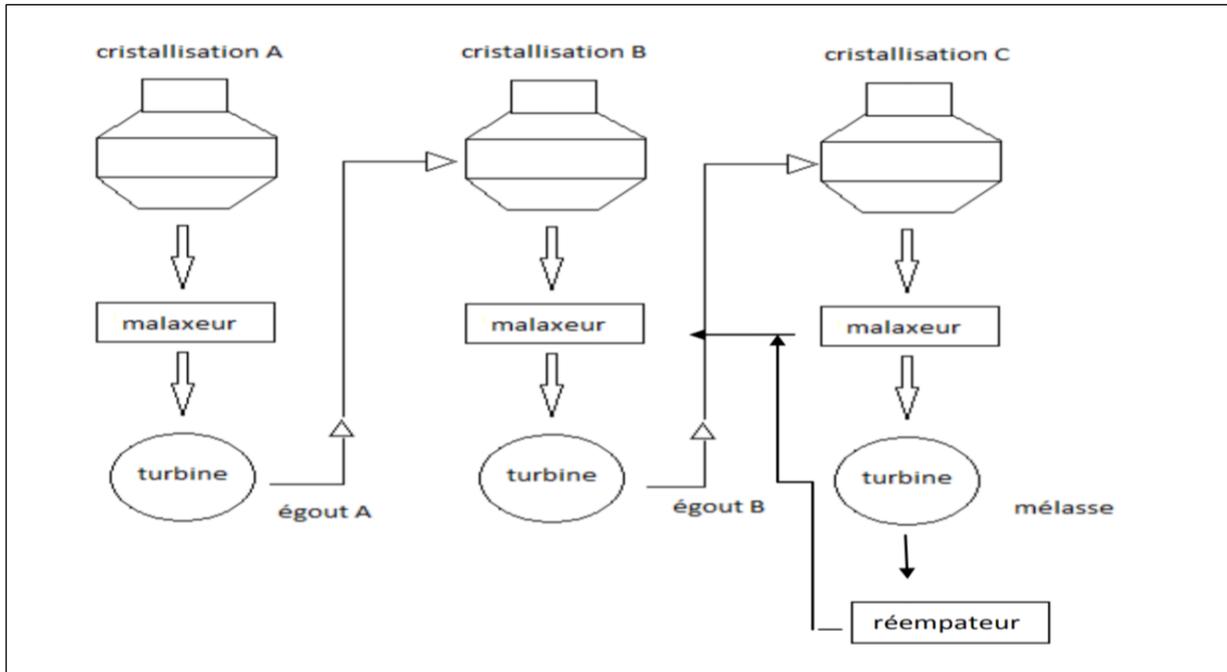


Figure 2 : Cycle de cristallisation en 3 jets des bas produits (Doressamy, 2010).

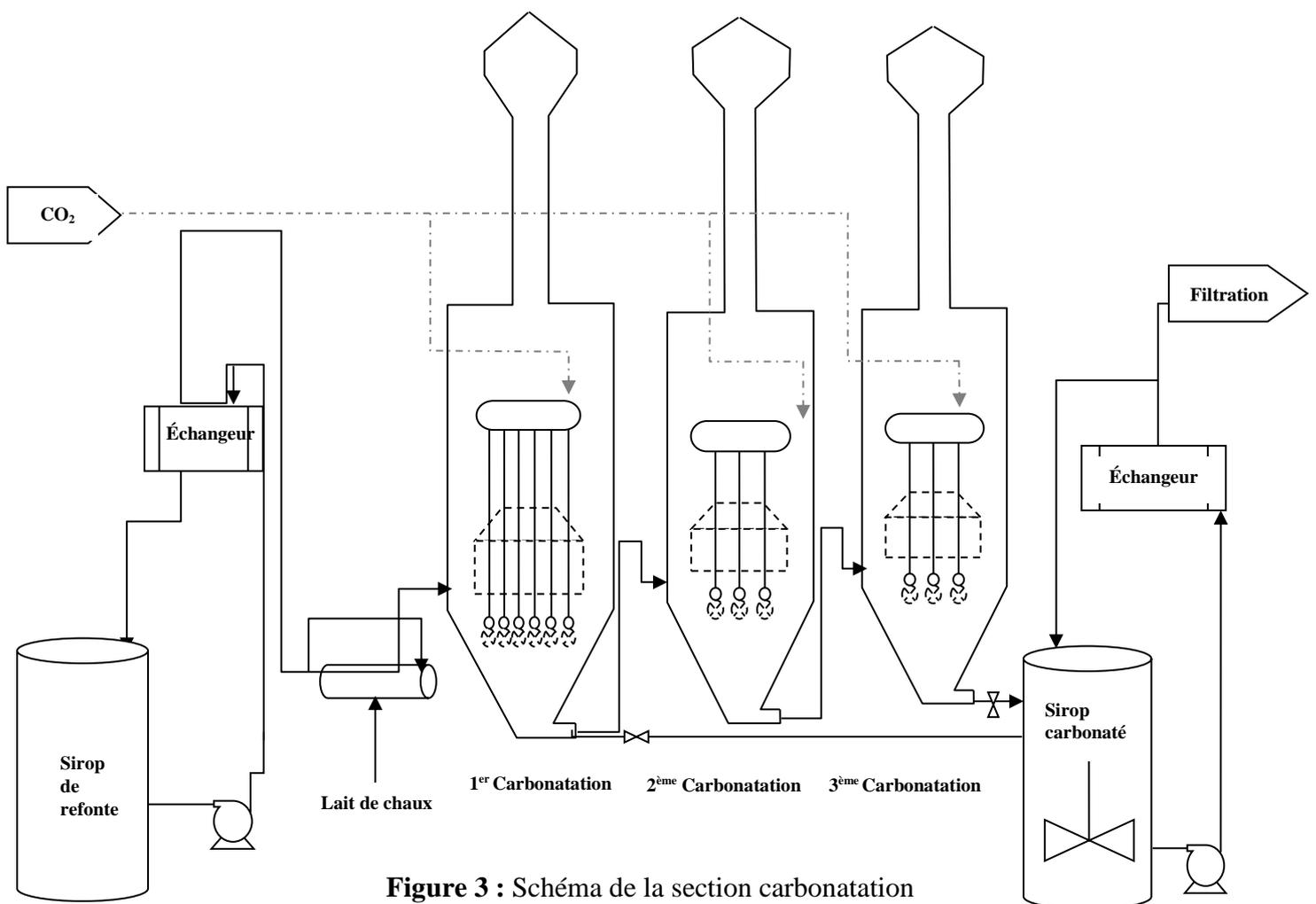


Figure 3 : Schéma de la section carbonatation

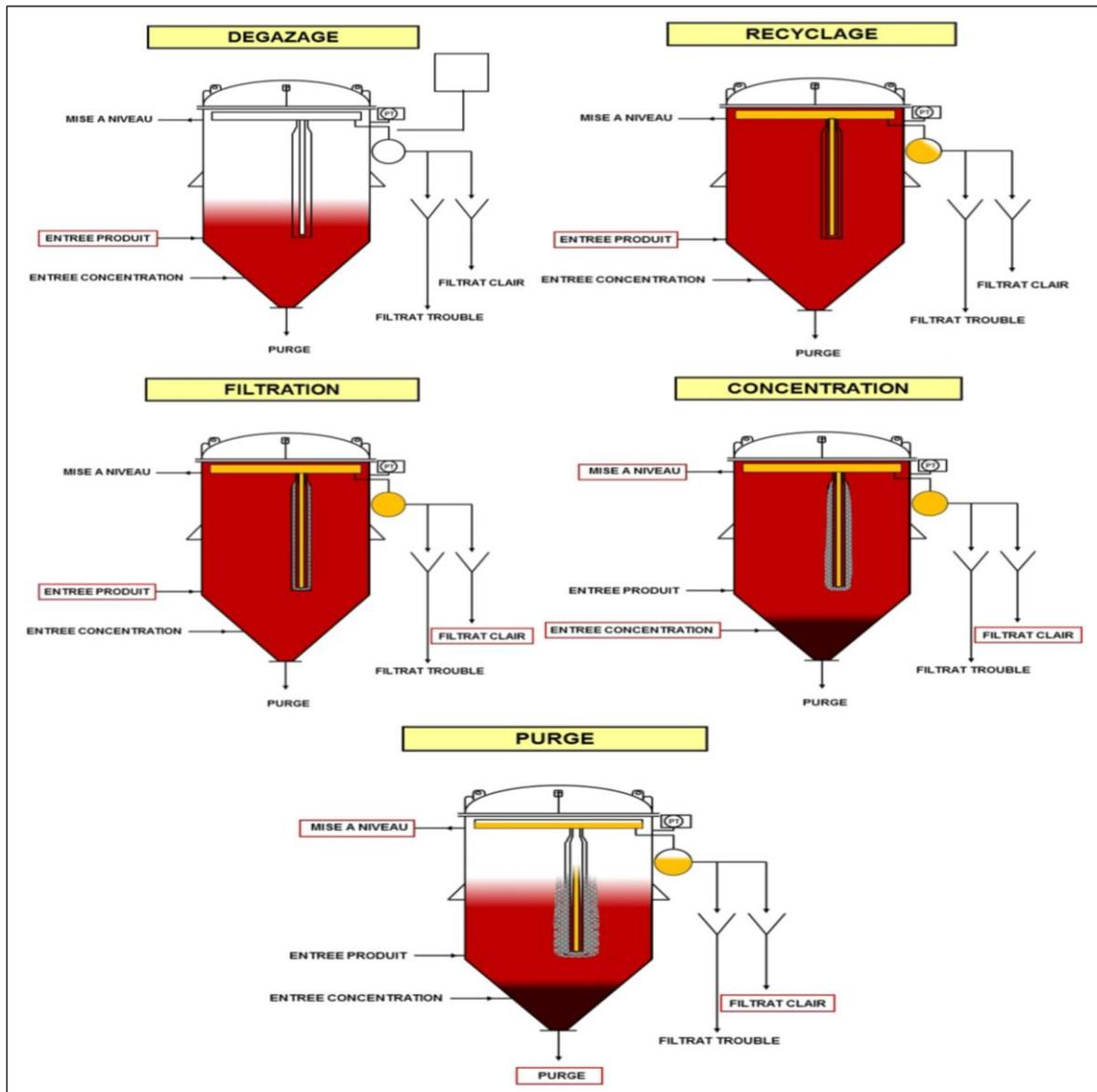


Figure 4 : Étapes de fonctionnement d'un filtre Exofalc (Choquet, 2012).

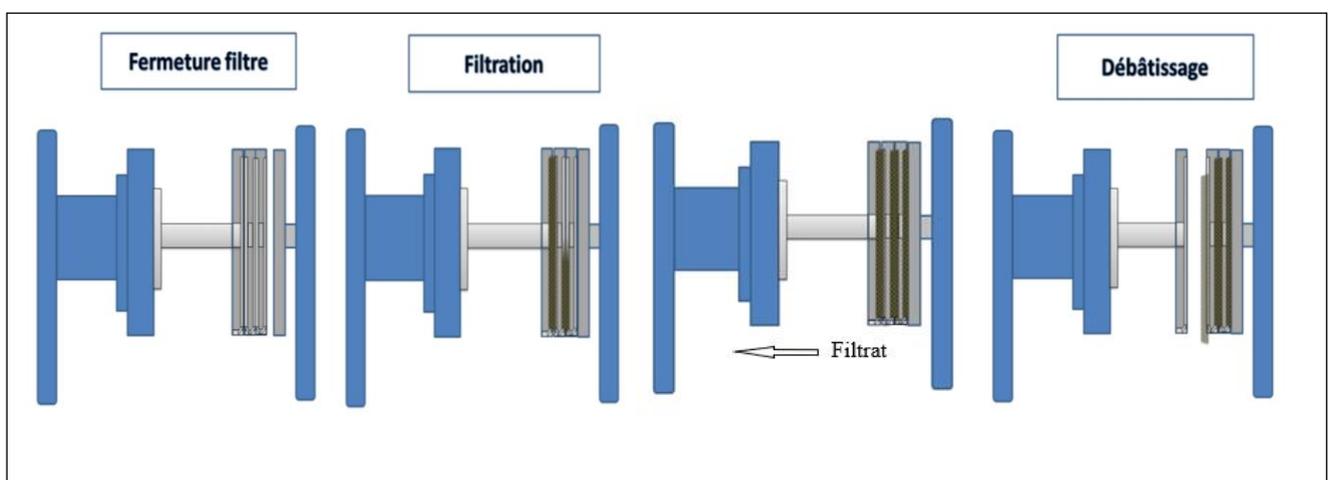


Figure 5 : Étapes de fonctionnement d'un filtre presse (Choquet, 2012).

Résumé

Le présent travail a porté sur le suivi des paramètres physicochimiques, à savoir la couleur, pureté, brix et le pH du sucre durant son traitement d'épuration calco-carbonique et filtration, et de mettre au clair l'importance major et l'influence déterminante des deux sections la carbonatation et filtration sur la qualité de sucre blanc.

Les analyses physicochimiques effectuées pour cet objectif, nous ont permet de déceler les points critiques influençant l'opération d'épuration calco-carbonique et filtration et les moyens de les maitriser.

D'autres analyses complémentaires sont pratiquées pour pouvoir affiner la perception de la qualité du sucre blanc. Selon le type d'utilisation auquel les sucres sont destinés et les conditions imposées par l'acheteur. Enfin les résultats industriels obtenus ont permet de répondre bien à cette approche.

Mots clefs : Raffinage, Epuration, Carbonatation, Sucre, Filtration, Canne à sucre.

Abstract

This work focused on monitoring the physicochemical parameters, namely the color, purity, brix and pH of the sugar during its treatment of carbon dioxide purification and filtration, and to clarify the major importance and influence determining of the two sections carbonation and filtration on the quality of white sugar.

The physicochemical analyzes carried out for this objective have enabled us to detect the critical points influencing the operation of carbon dioxide purification and filtration and the means of controlling them.

Other additional analyzes are carried out to be able to refine the perception of the quality of white sugar. Depending on the type of use for which the sugars are intended and the conditions imposed by the buyer. Finally, the industrial results obtained have made it possible to respond well to this approach.

Keywords : Refining, Purification, Carbonation, Sugar, Filtration, Sugar cane.