

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Abderrahmane MIRA de Bejaia



Faculté de Science de la Nature et de la Vie
Département des Sciences Alimentaires
Spécialité : Qualité des produits et sécurité alimentaire

Mémoire de fin de cycle
En vue de l'obtention du diplôme

MASTER

Thème

**Etude des paramètres physicochimiques au cours
du procédé de Raffinage du sucre roux au sein du
complexe CEVITAL**

Présenté par :

- *HATRI Naziha*
- *HAYA Lamia*

Encadré par :

M^{me} BOULKBECHÉ L

Devant le jury composé de :

M^{me} BOULKBECHÉ Lila *Promotrice*

M^{me} OUCHMOUKH Nadia *Présidente*

M^{me} SOUFI Ouahiba *Examinatrice*

Année universitaire 2021/2022

Remerciement

*Nous remercions **Dieu**, le tout puissant pour nous avoir donné la foi qui nous a guidé jusqu'à la réalisation et l'aboutissement de ce travail.*

*Nous exprimons notre respect et notre gratitude à **madame BOULEKBACHE**, pour avoir accepté de nous encadrer et pour avoir suivi notre travail avec une extrême bienveillance.*

*Nous remercions également le membre de jury **madame ouchmoukh** et **madame soufi** pour avoir accepté de juger ce travail*

*Un grand merci pour le directeur de la raffinerie du sucre, unité 3000 **Cevital** monsieur **BIREM**, et le responsable de laboratoire physicochimique monsieur **KADA** de nous avoir données l'opportunité d'effectuer notre stage au sein de cette unité.*

Nous remercions également toute l'équipe de laboratoire pour leurs conseils et leurs aides.

Enfin, nous remercions toutes les personnes qui ont participées de près ou de loin.

Dédicace



Je dédie ce modeste travail principalement à :

*Ceux qui m'ont amenée au monde, **mes chers parents.***

*Mes très chers frères : **Walid, Sofiane, Rachid et Halim.***

Mes tantes et mes oncles et leurs familles

*Ma chère copine et binôme **Naziha***

*Mes meilleures et adorables amies : **Mounira, Latifa, Biba, Malika, Mina, Kahina, Saida, Nacéra,***

Sousou et Leila.

Et enfin pour tous les enseignants de la faculté de science de la vie et de la nature.

Lamia

Dédicace

Je dédie ce modeste travail principalement à :

*Ceux qui m'ont amenée au monde, **mes chers parents**, mon exemple de réussite, pour leur soutien et leur amour. Que dieu vous protège et vous prête une longue et heureuse vie.*

*Mes chères sœurs : **Anissa, Hadhra, Sabah***

Mon cher unique frère **Salim** et sa femme **Rima**

Mon beau-frère **Ayad**

Mes anges **Ihab, Manis et Riham**

Ma grande mère **Mahjouba**

Mes tantes **Taous, Nora, Sadika, Sabrina, Ghania, Nadia, Fazia et Rabiaa**

Mes oncles **Hanafi, Chaaban, Belkacem, Mouloud**

*Ma chère copine et binôme **Lamia***

Mes chères copines **Mounira, Latifa, Mina, Malika, Samia, Soussou, Jaja et Leila.**

Et enfin pour tous les enseignants de la faculté de sciences de la vie et de la nature.

Naziha

Liste des abréviations

BP : Bas produits

CC : cendres conductimétrique

CEE : Communauté Economique Européenne

CV : coefficient de variation

EDTA : éthylène diamine tétra acétique

EP : égout pauvre

ER : Egout riche

H : humidité

HP : Hauts produits

JC : jus chaulé

LS : liqueur standard

MS : matière sèche

OM : ouverture moyenne

Pol : polarisation

SC : Sirop carbonaté

SD : sirop décoloré

SF : Sirop filtré

SI : sucres invertis

SR : Sirop de refonte

T : trouble

T/j : tonnes par jours

Liste des tableaux

| | |
|---|----|
| Tableau I : composition moyenne de la canne | 5 |
| Tableau II : principale réaction de transformation de la chaux..... | 17 |
| Tableau III : les analyses physicochimiques effectuée sur les différents produits..... | 24 |
| Tableau IV : Résultats d'analyses physico-chimiques du sucre blanc de CEVITAL, suivie durant 20 jours..... | 40 |

Listes des tableaux en annexe

Tableau I : Liste des différents matériels utilisés au niveau de laboratoire de la raffinerie du sucre

Tableau II : Liste des réactifs

Tableau III : Table de correction pour la polarisation du sucre blanc

Tableau IV : Table de correction pour la teneur en sucre réducteurs du sucre blanc

Tableau V : Les normes des différents paramètres du processus de raffinage

Liste des figures :

| | |
|--|----|
| Figure 01 : Situation géographique de complexe CEVITAL | 2 |
| Figure 02 : Organigramme de complexe CEVITAL..... | 4 |
| Figure 03 : La structure de la canne à sucre..... | 5 |
| Figure 04 : Le sucre roux et le sucre blanc | 6 |
| Figure 05 : La formule de saccharose..... | 7 |
| Figure 06 : Différent étape du procédé d'extraction du sucre roux de canne | 11 |
| Figure 07 : Procédé de raffinage du sucre roux au niveau de complexe CEVITAL..... | 22 |
| Figure 08 : Polarimètre..... | 24 |
| Figure 09 : Pompe sous vide | 26 |
| Figure 10 : Spectrophotomètre UV visible | 26 |
| Figure 11 : Diluteur automatique | 27 |
| Figure 12 : Saccharimètre..... | 28 |
| Figure 13 : pH mètre | 29 |
| Figure 14 : Granulométrie par tamisage | 32 |
| Figure 15 : Evolution de la couleur du sucre roux | 35 |
| Figure 16 : Evolution de la polarisation du sucre roux..... | 35 |
| Figure 17 : Evolution de l'humidité du sucre roux | 36 |
| Figure 18 : Evolution de la moyenne du Brix au cours du processus de raffinage..... | 37 |
| Figure 19 : Evolution de la moyenne de la pureté au cours du processus de raffinage..... | 37 |
| Figure 20 : Evolution de la moyenne de la couleur au cours du processus de raffinage..... | 38 |
| Figure 21 : Evolution de la moyenne du ph au cours du processus de raffinage..... | 38 |
| Figure 22 : Evolution de l'alcalinité du jus chaulé durant le temps | 39 |

Liste des figures en annexe :

Figure 01 : fonctionnement du filtre à bougie.

Figure 02 : Schéma de cycle de cristallisation des hauts produits HP à Cevital.

Figure 03 : Schéma de cycle de cristallisation des bas produits BP à Cevital.

| | |
|---------------------------|---|
| Remerciements | |
| Dédicaces | |
| Liste des abreviations | |
| Liste des tableaux | |
| Liste des figures | |
| Sommaire | |
| Introduction | 1 |

PARTIE THEORIQUE

CHAPITRE I : Presentation de l'entreprise

| | |
|---|---|
| I.1. Présentation de complexe Cevital | 2 |
| I.2. Situation géographique..... | 2 |
| I.3. Présentation de l'organigramme | 3 |

CHAPITRE II : Generalités sur le sucre

| | |
|---|---|
| II.1. Canne à sucre..... | 5 |
| II.2. Le sucre roux | 6 |
| II.3. Le sucre blanc (saccharose)..... | 7 |
| II.4. Propriétés physicochimiques du sucre..... | 8 |

CHAPITRE III : Technologie d'extraction et de raffinage du sucre roux de canne

| | |
|--|----|
| III.1. Procèdes d'extraction du sucre roux | 10 |
| III. 1.1.Réception de la canne à sucre | 12 |
| III. 1.2. Broyage et extraction | 12 |
| III. 1.3. Clarification et filtration..... | 12 |
| III. 1.4. Evaporation et cristallisation..... | 13 |
| III. 1.5. Malaxage et turbinage | 13 |
| III. 1.6. Le séchage et stockage | 14 |
| III. 1.7. Emballage et entreposage..... | 14 |
| III.2. Procédé de raffinage de sucre roux | 14 |
| III.2.1. Section 01 : Affinage et fonte | 14 |
| III.2.2. Section 02 : Epuration calco-carbonique | 15 |
| III.2.3. Section 03 : Filtration..... | 17 |
| III.2.4. Section 04 : Décoloration..... | 18 |
| III.2.5. Section 05 : Concentration | 18 |
| III.2.6. Section 06 : Cristallisation | 19 |

| | |
|---|----|
| III.2.7. Section 07 : Séchage et maturation | 20 |
| III.2.8. Section 08 : Stockage et conditionnement | 20 |

PARTIE PRATIQUE

CHAPITRE IV : Matériels et méthodes

| | |
|--|----|
| IV.1. Matériels utilisé au niveau de laboratoire | 23 |
| IV.2. Prélèvements et échantillonnages | 23 |
| IV.3. Paramètres physico-chimiques étudiés | 23 |
| IV.3.1. La matière première (sucre roux)..... | 24 |
| IV.3.2. Les produits intermédiaires..... | 27 |
| IV.3.3. Le produit fini (sucre blanc)..... | 30 |

CHAPITRE V : Résultats et discussion

| | |
|---|----|
| V.1. Résultats de l'analyse de la matière première | 35 |
| V.1.1. Evolution de la couleur durant le temps..... | 35 |
| V.1.2. Evolution de la polarisation..... | 35 |
| V.1.3. Evolution de l'humidité..... | 36 |
| V.2. Résultats d'analyse des produits intermédiaires..... | 36 |
| V.2.1. Evolution du Brix | 36 |
| V.2.2. Evolution de la pureté..... | 37 |
| V.2.3. Evolution de la couleur..... | 37 |
| V.2.4. Evolution du pH | 37 |
| V.2.5. Evolution du l'alcalinité | 38 |
| V.3. Les résultats d'analyses du produit fini (sucre blanc) | 38 |
| Conclusion : | 40 |

Références bibliographiques

Annexes

INTRODUCTION

Le sucre (saccharose) est essentiellement produit à partir de la canne à sucre (en climat chaud) et de la betterave (en climat tempéré). En 2011 /2012 la production mondiale de sucre est estimée à 168 millions de tonnes métriques (MMT) en valeur brute, ou le rendement moyen était de 77 tonnes par hectare (**CONAB, 2011**).

La production mondiale de sucre est dominée par le sucre de canne qui est la principale source alimentaire de glucides (**Eggleston, 2018**), par conséquent, le sucre est une marchandise très utile, de sorte que la demande mondiale continue d'augmenter jusqu'à 175,7 millions tonnes en 2019/2020 (**FAO, 2020**).

En Algérie, la culture de canne reste inexploitée vu le climat Méditerranéen qui ne favorise pas sa culture. En effet, la production du sucre se limite au raffinage du sucre roux importé et le conditionnement du sucre blanc (**Achabou et Tozanli, 2007**).

La filière sucrière en Algérie est totalement dépendante du marché mondial, la consommation de sucre par habitant est l'une des plus importantes dans le monde avec 40Kg /an en 2019 et une consommation totale d'environ 1,3 millions de tonnes (**ONS, 2019**). Dans le contexte des réformes économiques engagées à partir de 1993, les raffineries sucrières publiques ont été privatisées et d'autres relevant de l'investissement privé ont été mises en service à partir de 2002 (raffineries de CEVITAL). La demande locale a été totalement satisfaite et le surplus de production est destiné à l'exportation. Le pays est devenu ainsi un pôle régional en matière de raffinage de sucre roux, sachant que cette matière première est importée (**Benzohra B,2015**).

L'objectif de la raffinerie du sucre de CEVITAL est d'assurer l'obtention d'un produit fini de bonne qualité. Pour y parvenir, il est nécessaire de maintenir le bon fonctionnement du processus de raffinage en assurant notamment sa stabilité. Cette dernière dépend de plusieurs paramètres devant être continuellement contrôlés.

Notre travail a été effectué au niveau du laboratoire d'analyses physicochimiques de la raffinerie de sucre 3000T au niveau du complexe CEVITAL, qui consiste à suivre l'évolution des paramètres physico-chimiques au cours du processus de raffinage de sucre roux de canne.

La première partie de ce travail est consacrée pour l'étude bibliographique dans laquelle sont présentés successivement : l'entreprise, les généralités sur la canne à sucre et les différentes étapes de procédés d'extraction et de raffinage du sucre roux. La deuxième partie concerne la présentation de matériels et des techniques utilisées au niveau du laboratoire, ainsi que les analyses effectuées et l'interprétation des résultats obtenus.

PARTIE THEORIQUE

CHAPITRE I

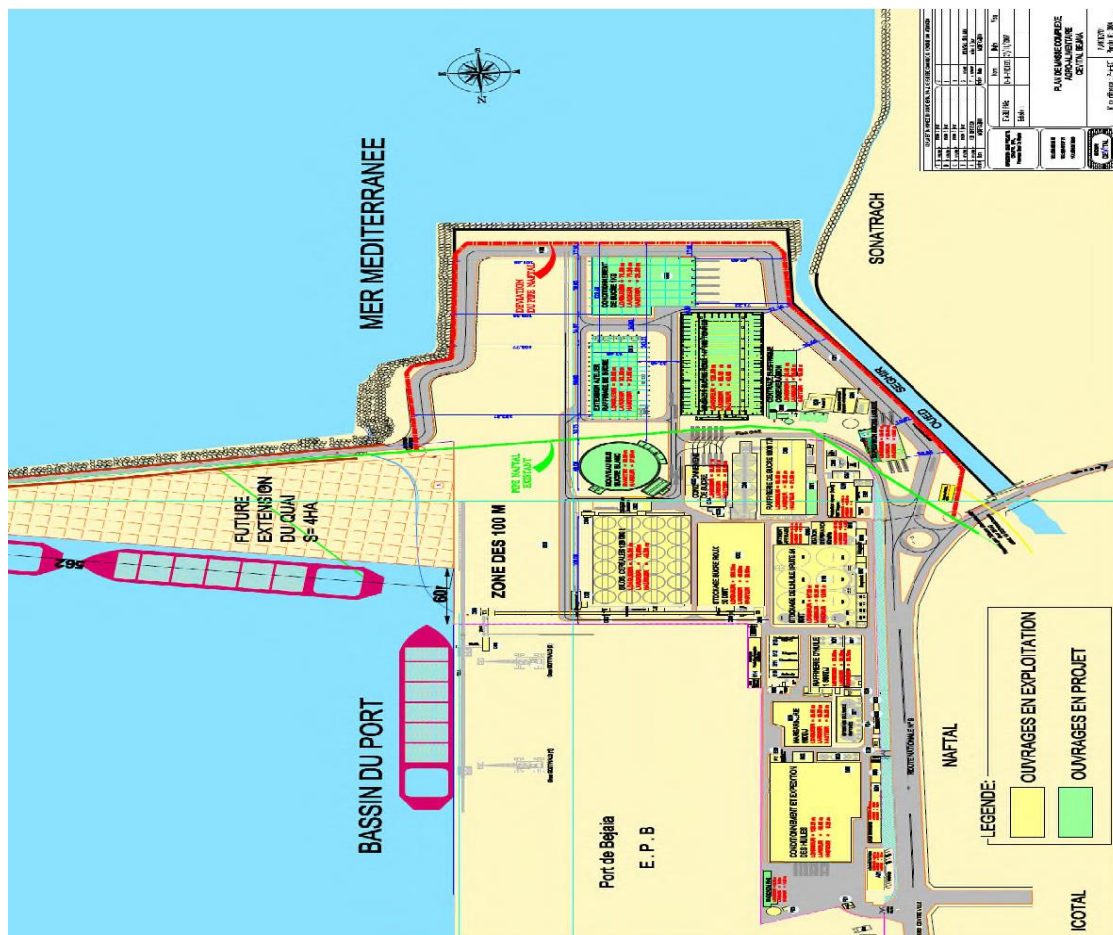
Présentation de l'entreprise

I.1. Présentation de complexe Cevital

L'entreprise Cevital constitue avec certains autres groupes privés (Ifri, Hamoud Boualem, etc.) un modèle de réussite industrielle dont la notoriété dépasse les frontières nationales. C'est une entreprise familiale qui a connu, depuis sa création en avril 1998, un développement important dans plusieurs secteurs. Son complexe agroalimentaire comporte aujourd'hui plusieurs unités de production.

I.2. Situation géographique

Le complexe (Figure 01) est implanté dans l'enceinte portuaire de Bejaia à 3 Km du sud de la ville de Bejaia, à proximité de la route nationale N° 26, soit à 280 Km de la capitale (Alger). Il s'étend sur une superficie de 75000 m². Grâce à cet emplacement stratégique, le complexe occupe une place importante dans l'économie locale et nationale.



I.3. Présentation de l'organigramme

L'effectif actuel de " Cevital " est reparti entre les différentes directions et unités de production:

- Direction Générale DG : Chargée de veiller sur le bien être humain et matériel du complexe, de la maintenance et de coordonner les différentes directions;
- Direction des Finances et Comptabilité: Chargée de préparer et mettre à jour les budgets, tenir la comptabilité et préparer les états comptables et financiers selon les normes et pratiquer le contrôle de gestion ;
- Direction Commerciale : Ce service s'occupe de l'élaboration de la politique de distribution des stratégies face à la concurrence et de gérer les campagnes de promotions;
- Direction Technique: dispose d'une bibliothèque très riche qui contient les informations techniques et les manuels d'utilisations des différents équipements mécaniques et électriques, ainsi que leurs schémas, les plans des différentes unités et de projets, ainsi que les livres et les revues techniques, elle s'occupe aussi du suivi du projet d'extension de l'usine;
- Direction Logistique : Elle assure le transport de tous les produits finis, que ce soit en moyens propres (camions de Cevital), affrétés ou moyens de transport des clients. Elle gère les stocks de produits finis dans les différents dépôts locaux (Bejaia et environs) et Régionaux (Alger, Oran, Sétif,...);
- Direction Contrôle de Qualité: Elle est dotée de quatre laboratoires qui assurent le suivi permanent et continu du processus de production sous la supervision du laboratoire central qui suit la qualité microbiologique des produits;
- Direction Système Informatique : Son rôle est d'informatiser le système administratif et la gestion des ateliers de production ;
- Direction des Ressources Humaines (DRH) : Elle prend en charge la gestion de la carrière professionnelle des employés, le recrutement, la section des effectifs, la formation et l'évolution du personnel, le règlement des salaires des employés, les relations humaines et les dossiers de la sécurité sociale des employés;
- Direction de Projets : Elle s'occupe de la réalisation des projets;
- Direction Médico-Sociale : Son rôle est de veiller sur le déroulement des bonnes conditions sociales et médicales des travailleurs.

L'activité de raffinage du sucre, entamée en 2002, représente aujourd'hui environ le tiers du chiffre d'affaires de cette entreprise. Les capacités de raffinage ont connu une croissance continue ces dernières années, ce qui a permis au groupe d'exporter une partie

de sa production vers les pays voisins (Tunisie, Libye). La nouvelle cible de Cevital aujourd'hui est le marché de l'Union européenne.

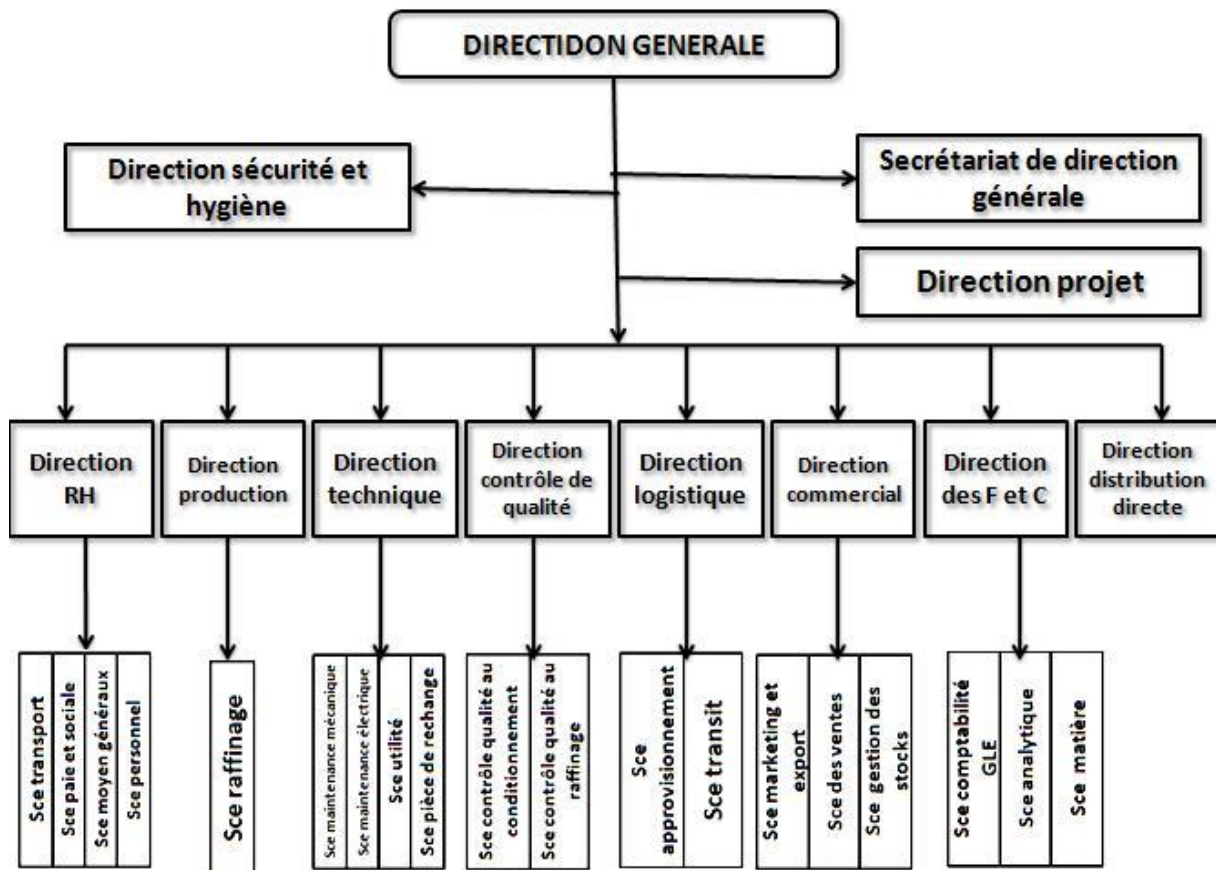


Figure 02 : Organigramme de complexe CEVITAL.

CHAPITRE II

Généralités sur le sucre

II.1. Canne à sucre

Depuis la préhistoire, la canne à sucre et le miel furent longtemps les seules sources de sucre de l'humanité.

La canne à sucre « *Saccharum officinarum* »(figure 03) est une graminée principalement cultivée dans les régions tropicales et subtropicales. Elle contient jusqu'à 14% de saccharose dans ses tiges, dont jusqu'à 96% peuvent être extraits lors d'un processus industriel. La croissance végétative de la canne est favorisée par des températures élevées, entre 26°C et 34°C, par contre elle ne croit plus à des températures inférieures à 20°C et ne tolère pas le gel (Alfa, 2007).



Figure 03 : Photographie de la canne à sucre.

La canne à sucre appartient au genre botanique *saccharum*, qui composé de :

- Trois espèces sucrées (*S. officinarum* dite « canne noble », *S. sinense* et *S. barberi*)
- Trois espèces non sucrées (*S. robustum*, *S. spontaneum*, *S. edule*).

La canne à sucre se multiplie par bouturage de portions de tiges que l'on enterre horizontalement. Au cours de la croissance, le sucre s'accumule dans les tiges jusqu'à un maximum appelé (maturité), correspondant au moment de la récolte (Goebel et al., 2008).

Les principaux composés, ainsi que leurs teneurs respectives, rencontrés dans la canne à sucre sont énumérés dans le tableau ci-dessous.

Tableau I: Composition moyenne de la canne à sucre (Benne, 2000)

| Composants | Teneur(%) |
|----------------|-----------|
| Eau | 70 |
| Fibre ligneuse | 14 |
| Saccharose | 14 |
| Impuretés | 2 |
| Totale | 100 |

II.2. Le sucre roux

Le sucre roux est extrait directement du jus de la canne à sucre pressée, filtré et concentré. C'est un sucre complet plus ou moins dépourvu de sa mélasse ; il 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), la teneur moyenne de saccharose dans le sucre brut est de 96% (Ait Amar, 1985). Les principales impuretés du sucre roux sont:

- **Les colorants**

Les colorants de sucre sont constitués de pigments naturels de canne et des colorants issus du procédé de fabrication (Decloux et Al, 1999).

Les colorants naturels sont les pigments typiques des plantes, les chlorophylles, les flavonoïdes, et les composés phénoliques (Smith et Paton, 1985).

Les colorants formés lors du procédé de fabrication sont les caramels produits par la dégradation thermique du saccharose (Mersad et al, 2002).

Les mélanoidines sont les produits de la réaction de Maillard, formé par combinaison d'un sucre réducteur, glucose, fructose, et d'un composé aminé tel que l'acide glutamique qui est le plus dominant (Shore et al., 1984 ; Paton,1992).

- **Les polysaccharides**

Les polysaccharides proviennent principalement de la canne (l'amidon et les gommés) ou bien d'infections bactériennes (les dextrines et les levanes). L'amidon est le polysaccharide le plus répandu dans l'industrie de canne (Decloux et al, 1999).



Figure 04 : le sucre roux et sucre blanc

II.3. Le sucre blanc (saccharose)

Le saccharose est produit à partir de la betterave sucrière ou de la canne à sucre, en 2001 -2002 la production mondiale est de 130,5 million de tonnes dont 72% à partir de la canne à sucre et 28% à partir de la betterave (**Decloux, 2002**). Le saccharose ($C_{12}H_{22}O_{11}$) est constitué d'une molécule de fructose et d'une molécule de glucose liées entre elles par un pont glycosidique (1-2). Son nom officiel selon la nomenclature internationale est le α -D-glucopyranosyl-(1 \rightarrow 2)- β -D-Fructofuranoside (**Belhamri, 2005**).

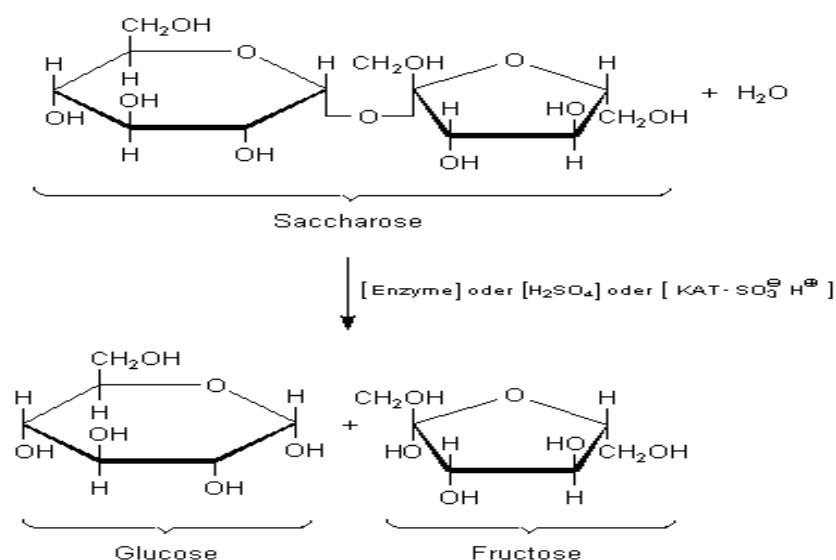


Figure 05 : Structure chimique du saccharose

Les autres variétés de sucre sont :

- **Le sucre en morceaux**

Le sucre en morceaux se présente sous la forme de dominos, formés par compression et moulage de cristaux de sucre blanc encore chauds et humides (**Arzate, 2005**).

- **Le sucre glace**

Le sucre glace est une poudre blanche impalpable obtenue par le broyage extrêmement fin du sucre cristallisé blanc. De l'amidon est ajouté afin d'éviter son agglomération. Ses grains sont tellement fins que c'est le sucre qui se dissout le plus rapidement. Il se présente sous forme de cristaux inférieurs à 0,15 mm (**Arzate, 2005**).

II.4. Propriétés physicochimiques du sucre

Aspect : Le sucre du commerce se présente sous forme d'une matière cristalline blanche et brillante (prismes rhomboïdaux), il n'est pas hygroscopique, inodore et de saveur caractéristique.

Le Brix : Dans les sucreries et raffineries, la teneur en matières sèches est généralement exprimée en degré brix (% MS). Le Brix des solutions est mesuré au moyen d'un réfractomètre. La conversion en matières sèches est faite en se basant sur la correspondance obtenue avec une solution pure de saccharose (**Piyasena, 1990**).

L'indice Brix est utilisé pour mesurer la densité ou l'indice de réfraction correspondant à une solution de sucre et d'eau pure à une température de référence égale à 20°C (**Arzate, 2005**).

La solubilité : Le saccharose est très soluble dans l'eau, l'alcool et les solvants polaires, mais il est insoluble dans les solvants organiques apolaires (**Arzate, 2005**). Sa solubilité dépend de la température, de la quantité et de la nature des autres molécules présentes, la vitesse de la dissolution dépend de la taille des particules et de la vitesse d'agitation (**Mathlouthi et reiser, 1995 ; Jarosz, 2020**).

La couleur : Selon la méthode ICUMSA (international commission for Uniform methods of sugar analysis) la coloration d'une solution sucrée se déduit de la mesure de l'absorbance à 420 nm de cette solution ajustée au pH 7 et pré filtrée sur une membrane dont les pores sont de 0,45 µm de diamètre (**ICUMSA, 1994**).

Point de fusion : La température de fusion du sucre cristallisé varie entre 160°C et 186°C (**Arzate, 2005; Multon, 1992**).

Pouvoir rotatoire: Le saccharose a la propriété de dévier le plan de la lumière polarisée vers la droite, son pouvoir rotatoire «dextrogyre» spécifique est $\alpha^{\circ}D=66.5^{\circ}$. Cette propriété fondamentale est mesurée à l'aide d'un instrument très précis appelé polarimètre utilisé officiellement pour la détermination de la pureté du sucre et de la teneur en saccharose des solutions de sucre dans l'eau (SGDIA). La pureté d'un sucre est le rapport entre la quantité de sucre et la quantité totale de matières sèches (**AFISUC, 2002**).

La Granulométrie : Le sucre se présente sous différentes formes granulométriques, chacune adaptée aux multiples besoins des industries alimentaires.

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, 1992**).

Inversion : L'hydrolyse du saccharose en présence d'un acide est appelée transformation du saccharose en un mélange équimolaire de glucose et fructose. La solution obtenue prend le nom de sucre inverti en raison du changement de signe du pouvoir rotatoire, qui passe du positif (Dextrogyre) vers le négatif (Lévogyre), cette inversion n'est pas réversible (**Mathlouthi, 2007**).

Les cendres : Les matières minérales ou les cendres correspondent au tiers des non sucres solubles contenus dans le sucre (**Ait Amar, 1985**).

Activité de l'eau : Une autre propriété importante du saccharose est sa capacité d'hydratation. Cette caractéristique affecte l'activité de l'eau (A_w) de la solution ou du produit dans lequel le saccharose est présent. L'apparence et la texture du produit, la sensation du produit dans la bouche et le temps de conservation du produit est ainsi affectée (**Arzate,2005**).

CHAPITRE III

Technologie d'extraction et de raffinage de sucre roux de canne

La fabrication de sucre blanc à partir de la canne résulte généralement d'une première purification en sucrerie de canne, et d'une seconde en raffinerie.

Le sucre de canne raffiné est classiquement obtenu à partir d'un produit intermédiaire « sucre brute » (Vu et al., 2020). Cela nécessite une multitude d'opérations unitaires destinées à éliminer le maximum d'impuretés afin que l'étape de cristallisation soit la plus efficace possible (Mersad et al., 2002).

III.1. Procèdes d'extraction du sucre roux

Les cannes à sucre, réceptionnées à la sucrerie, sont défibrées avant d'être pressées dans le but d'extraire le jus sucré contenu dans la tige (figure 06). L'extraction s'effectue à l'aide de cinq moulins ou de deux moulins, associés à un diffuseur, afin de récupérer plus de saccharose présent initialement dans la moelle de la tige. Les jus obtenus au cours de ces différentes étapes sont mélangés afin de donner un jus brut appelé « vesou ». Ce jus n'est pas le seul produit récupéré à l'issue de l'extraction, il reste aussi la matière fibreuse de la tige. Ce résidu, appelé bagasse, est le premier coproduit issu de l'industrie sucrière (Pislor, 2011).

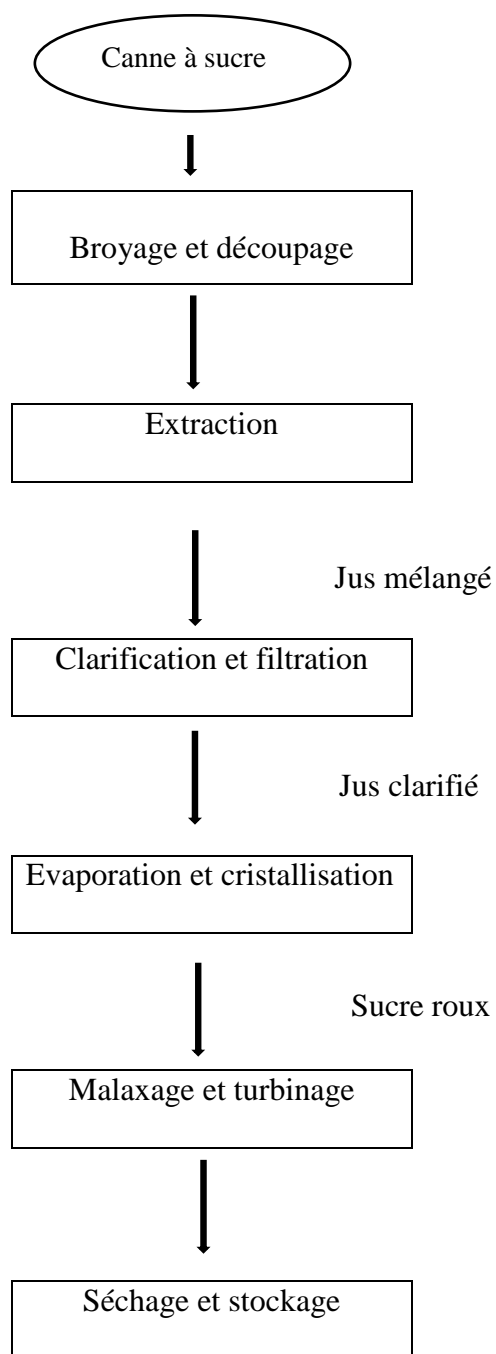


Figure 06: Organigramme des différentes étapes du procédé d'extraction du sucre roux de canne (Audar et al, 2018).

III.1.1. Réception de la canne à sucre

Les chargements de cannes qui arrivent par camions sont pesées, des prélèvements sont réalisés pour déterminer le pourcentage de saccharose contenu dans les cannes (**Courteau, 2005**). Celles-ci sont lavées, puis défibrées par des coupes cannes pour faciliter le broyage qui va servir pour l'extraction de jus (**Toure et al., 2010**).

III. 1.2. Broyage et extraction

La canne est coupée en petits morceaux très courts par un (coup-canne), hacher par un hacheur (schredder), puis broyée dans une batterie de moulins (généralement entre 4 et 6), le produit obtenu est appelé bagasse.

Le dispositif est composé de 4 moulins, chacun d'eux comporte 3 compartiments (compartiment d'entrée, compartiment supérieur et compartiment de sortie). La canne est broyée pour la première fois entre le compartiment d'entrée et le compartiment supérieur et une deuxième fois entre le compartiment supérieur et le compartiment de sortie (**Audar et al, 2018**).

Au passage du deuxième moulin, la canne a déjà abandonné une partie de son jus, mais il reste encore du saccharose. Au passage du dernier moulin, de l'eau chaude est injectée (Imbibition), et le jus récolté est collecté au niveau du troisième moulin, étant très dilué, il est renvoyé au deuxième moulin. La récupération des jus se fait alors au niveau du deuxième moulin et du premier moulin. Ces jus subiront différents traitements pour les débarrasser de toutes impuretés (**Audar et al, 2018**).

La bagasse qui sort des moulins, sert de combustible à la chaudière qui alimente toute l'usine de vapeur. La vapeur réchauffe les jus, cuit le sirop, fait tourner le turbo qui produit l'électricité. La vapeur se transforme ensuite en eaux condensées qui retourne à la chaudière, ceci pour des raisons d'économies d'énergie puisque l'eau étant déjà chaude, il n'est plus nécessaire de la réchauffer. Le jus est ensuite pesé afin de vérifier les quantités achetées et les quantités extraites (**Audar et al, 2018**).

III. 1.3. Clarification et filtration

Le jus extrait des moulins, de couleur allant de jaune verdâtre au brun foncé, est acide (pH voisin de 5,5) et trouble. Le procédé de clarification visant à éliminer le maximum d'impuretés solubles et insolubles, utilise généralement la chaux (CaO) et la chaleur. Le lait

de chaux ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) neutralise l'acidité naturelle du jus, et forme des sels de chaux insolubles (**Chen et Chou, 1993**).

Le jus est décanté afin d'éliminer les matières organiques et minérales sous forme de boues.

Les boues générées par précipitation sont désucriées et filtrées. Le filtrat retourne au chaulage alors que les écumes sont ré pondues dans les champs comme fertilisant. Le jus clarifié contenant au moyen 15% de matières sèches avec une pureté 81 et 90 est dirigé vers les évaporateurs ou 75% de l'eau est évaporée dans un système d'évaporation à multiples effets qui fonctionnent à des pressions de plus en plus faibles. Le sirop quitte généralement le dernier effet avec un degré Brix de 65, il est envoyé ensuite vers l'atelier de cristallisation (**Chen et Chou, 1993**).

III. 1.4. Evaporation et cristallisation

L'évaporation, qui permet de passer d'un jus clair de faible concentration (12%) à un sirop concentré (70 %), est considérée comme la première étape de la cristallisation. L'étape finale de transformation amène le sirop d'une concentration de 70 % jusqu'au point de sursaturation. Ces conditions de sursaturation sont indispensables à la formation et au grossissement de cristaux de sucre de forme régulière. A sa sortie des cristallisoirs, le produit obtenu (la masse cuite) est dirigé vers des malaxeurs qui achèvent la cristallisation en séparant les cristaux de la liqueur-mère. La recherche de l'épuisement maximal de la liqueur-mère avec une consommation minimale d'énergie a conduit au développement d'un procédé séquentiel. Deux ou trois opérations successives assurent la fonction globale de cristallisation suivant une séquence à contre-courant : la progression du sirop, puis de la masse cuite s'accompagne d'un appauvrissement de la liqueur-mère et de l'augmentation de la pureté du sucre produit. En sortie des appareils à cuire, des malaxeurs assurent la poursuite de la cristallisation de la masse cuite et l'épuisement maximum de la liqueur-mère (**Michel B, 1999**). Cette masse est chauffée à 80°C, le jus restant est appelé « mélasse » (**Rageot et Rene, 2004**).

III. 1.5. 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 2^{ème} et 3^{ème} jets ne produisent que du sucre roux (**Deminiac, 1991 ; Rageot et Rene, 2004**).

III. 1.6. Le séchage et stockage

Le sucre est séché dans des granulateurs, à l'air chaud et sec, puis refroidi par l'air froid et sec. Le sucre est ensuite stocké dans des silos (**Libelle, 2007**). La teneur en eau du sucre roux est d'environ 0,5 à 2 % en sortie des centrifugeuses. L'ultime opération de séchage des cristaux permet de descendre jusqu'à 0,1 à 0,2%, ce qui assure une meilleure conservation du produit et un gain financier supérieur à la perte de poids provenant de l'eau évaporée (**Hugot 1987**).

III. 1.7. Emballage et entreposage

Pour la consommation locale dans les pays producteurs, le sucre brut obtenu est souvent vendu et consommé tel qu'il est.

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**).

III.2. Procédé de raffinage de sucre roux

La raffinerie est une industrie complémentaire de la sucrerie, elle traite des sucres roux de canne, des sucres bruts de betterave et des sirops de sucrerie. Le but du raffinage est d'éliminer les impuretés (sels minéraux, matières organiques) (**Romain et al, 2007**).

- Le processus de raffinage de sucre de canne est principalement axé sur l'élimination des impuretés et les composés colorés qui altèrent la qualité du produit final. Il subit différents traitements et transformations à travers les différentes sections de l'unité de raffinage permettant l'obtention d'un sucre blanc pur (**Cartier et al., 1997 ; Mersad et al., 2002**).

Le raffinage du sucre au niveau de la raffinerie de CEVITAL comporte huit sections à savoir :

III.2.1. Section 01 : Affinage et refonte

➤ L'affinage

L'affinage est la première étape de raffinage du sucre qui consiste à un malaxage du sucre roux avec un sirop chaud légèrement sous saturé donnant un produit appelé magma d'affinage, cette étape a pour objectif la dissolution de la couche superficielle impure des

cristaux de sucre. Une masse cuite est obtenue, cette dernière est centrifugée pour donner le sucre d'affinage (**Donovan, 2003 ; Arzate, 2005**).

Cette étape a été temporairement supprimée au niveau de la raffinerie CEVITAL, vu que le sucre roux importé a une couleur relativement inférieure, pouvant atteindre 800UI.

➤ **La refonte**

Le sucre affiné passe dans des turbines d'affinage pour être débarrassé des impuretés et matières colorantes sur la surface des cristaux, puis refondu dans un fondoir avec de l'eau sucrée et chaude à 85°C (pour augmenter la solubilité du sucre) pour donner « un sirop de refonte » (**Rachedi, 2002**).

La refonte permet la dissolution des cristaux de sucre affiné obtenue, il est refondu dans un fondoir à une température de 85°C dans une eau sucrée chaude pour atteindre un Brix de 66% et former un sirop de refonte (**Asadi, 2007 ; MOL, 2009**). Ce dernier est filtré à travers un tamis pour éliminer la majeure partie des particules étrangères mélangées avec les cristaux de sucre (**Decloux et al., 1999**).

III.2.2. Section 02 : Epuration calco-carbonique

Le sucre affiné est refondu à 68 Brix, ce refont est réchauffé jusqu'à 80-85°C. Le sirop contient encore des impuretés telles que les polysaccharides non éliminés par la clarification de la sucrerie, il doit subir un traitement complémentaire, l'épuration chimique à base de chaux et de dioxyde de carbone (carbonatation) (**Cartier, 1997**).

Le grand agent épurant est la chaux, Les jus sont additionnés de lait de chaux et filtrés après une légère ébullition : c'est ce qui est appelé la défécation simple et pure. Actuellement, un autre procédé joint à la défécation est appliqué, c'est la carbonatation, l'additionne du jus d'une plus grande quantité de chaux, au cours de la défécation simple, nécessite l'ajout de l'acide carbonique (pour éliminer le surplus) qui forme du carbonate de chaux insoluble, ce dernier enrobera les matières colorantes et les gommes (**Charles 1907**).

• **Préparation du lait de chaux**

Le lait de chaux est constitué d'un mélange de chaux industrielle et du petit jus provenant de la filtration, ce petit jus est utilisé car la chaux se dissout plus facilement dans une eau sucrée afin d'augmenter sa solubilité et de minimiser la quantité d'eau dans le processus (**Rachedi, 2002**).

- **Chaulage**

Le sirop de refonte est chauffé à une température de 80 à 90 °C dans un échangeur de chaleur et mélangé avec le lait de chaux pour obtenir un jus chaulé qui sera mélangé avec le gaz carbonique (**Belhamri, 2005**).

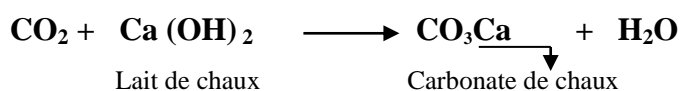
Le jus traverse le préchauffeur en 20 minutes avec augmentation graduelle de l'alcalinité jusqu'à 2 à 3 g de CaO/L, ce qui correspond à des pH supérieurs à 11, le jus est ensuite chaulé massivement, l'alcalinité passe alors à 10-15 g de CaO/L, augmentant le pH au-delà de 12. Le but de chaulage massif est de dégrader les invertis et de précipiter les protéines, les saponines et certains acides organiques du jus. Ensuite le jus chaulé est envoyé en carbonatation (**Mersad, 2001**).

Le chaulage assure les réactions de dégradation, coagulation, floculation et la précipitation et apporte une charge suffisante de chaux qui carbonatée, servira de support de filtration (**Burzawa, 1999**).

- **Carbonatation**

Le sirop chaulé est envoyé vers la première chaudière pour subir « la première carbonatation ». Le gaz carbonique est pompé avec un débit régulé par une vanne jusqu'à avoir un pH = 11, le produit est renvoyé dans la deuxième chaudière pour subir « la deuxième carbonatation ». Le sirop carbonaté sort avec un pH d'environ 8 et à une température de 90°C vers la troisième section (**Rachedi, 2002**).

Le précipité formé est granuleux et filtre aisément, comme le montre la réaction suivante (**Hugot, 1987**) :



- **La première carbonatation**

En première carbonatation, le dioxyde de carbone (CO₂) est barboté dans le jus chaulé, celui-ci provoque la formation de carbonate de calcium (CaCO₃) insoluble (précipité granuleux), afin d'enrober une partie des impuretés précipités.

Elle permet aussi de baisser le pH du jus, pour éviter la redissolution des impuretés, le jus est légèrement alcalin (1 à 1,5 g de CaO/L et pH 11,2 environ) (**Mersad, 2001**).

• La deuxième carbonatation

Le jus qui provient de la première carbonatation (SC1) est trouble et contient une quantité très importante de chaux ; donc une deuxième carbonatation est obligatoire. Cette opération est similaire à la première carbonatation, mais dans ce cas le pH diminue et l'alcalinité augmente (Chen et Chou, 1993 ; MOR, 2009).

• La troisième carbonatation

Après la deuxième carbonatation, un jus (SC2) est obtenu, il contient encore des impuretés et du carbonate de calcium non précipité. Cette étape a pour but d'éliminer le maximum de molécules de carbonate de calcium. Un jus Claire (SC3) est obtenu avec un pH proche de la neutralité et une alcalinité de 5.5 g CaO/L (Burzawa, 1999; MOR, 2009).

Tableau II : principales réactions de transformation de la chaux (Burzawa,1999)

| Etapes | Réactions |
|------------------------------|--|
| Préparation du lait de chaux | $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{Ca}(\text{OH})_2 + 159 \text{ Kcal}$ Lait de chaux |
| Chaulage | Saccharose + lait de chaux \longrightarrow saccharate de chaux |
| Carbonatation | $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CO}_2 \longrightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} + 276 \text{ Kcal}$ Cristaux de carbonate de calcium |

III.2.3. Section 03 : Filtration

La filtration a pour but d'éliminer le carbonate de calcium en suspension dans le sirop carbonaté et de récupérer le petit jus. Le sirop issu de la carbonatation passe à travers des filtres à bougie (filtre EXOFALC), dont le but d'obtenir un jus clair et dont les impuretés, précipitées par la chaux et absorbées sur le carbonate de calcium, seront retenues par les filtres (Bounie, 2003).

Les particules déposées finissent par former une pré-couche, qui au fur et à mesure que la filtration avance, se transforme en un "gâteau" (Rachedi, 2002).

Les filtres sont nettoyés pour récupérer la boue, cette dernière est passée à travers un filtre à presse, ce qui permet d'obtenir un petit jus utilisé dans la préparation d'un lait de chaux tandis que les écumes seront utilisées comme engrais (**Rachedi, 2002 ; Hamachi et al, 2003**).

Les éléments du filtre à presse sont des plaques carrées en plastique portant des cannelures sur chaque face, ses faces supportent des toiles filtrantes en plastique, l'ensemble sera entre deux plaques en acier (voir la figure 01 en annexe) (**Rachedi, 2002**).

III.2.4. Section 04 : Décoloration

Dans de nombreuses raffineries, la décoloration du sucre est basée sur l'utilisation de résines d'échange d'ions. Les colorants, principalement composés de macromolécules présentant un caractère d'acides faibles, sont fixés sur des résines anioniques sous forme chlorures. Deux mécanismes d'échange ont été identifiés : adsorption, par mécanisme hydrophobe sur la matrice de la résine, et échange d'ions, permutation des acides faibles du sirop avec les ions chlorure de la résine. (**Marc et al, 2016**).

La régénération des résines est obtenue par passage d'une saumure basique relativement concentrée. Le pH élevé, 12 à 13, de la saumure favorise l'ionisation des colorants et leur solubilisation.

La concentration en sel, 100 g/L intervient pour diminuer les interactions hydrophobes et, par effet osmotique, contraction des résines, l'expulsion de colorants fixés dans la matrice de la résine (**Marc et al, 2016**).

III.2.5. Section 05 : Concentration

Avant de le cristalliser, le sirop est concentré dans un évaporateur et les vapeurs issues de ce dernier sont récupérées pour les besoins de chauffage durant le processus (**MCG, 2009**)

Le but de l'évaporation ou la concentration est d'éliminer l'eau (**Hugot, 1987**).

Le sirop initialement environ 58% de brix, se retrouve à la sortie du concentrateur à un brix de 78%. A la fin de l'évaporation, le sirop de sucre se caractérise avec un taux de pureté de 93% , il est destinée vers les cuites pour la cristallisation (**Mathlouthi et Barbara, 2004**).

III.2.6. Section 06 : Cristallisation

La cristallisation du sucre se fait dans des chaudières à cuire pouvant produire jusqu'à 50 tonnes. L'eau est évaporée sous vide à environ 70 °C, ce qui économise l'énergie et empêche la caramélisation du sucre (**Arzate, 2005**).

Le sirop est alimenté dans les appareils à cristalliser (ou cuites) , puis il estensemencé par des germes de sucre (semence) pour l'amener à sursaturation. Au cours de la cuisson (croissance des cristaux) qui va suivre, chaque germe va donner un cristal de sucre de 0,5 à 1 mm de grosseur, selon la demande.

Les cristaux doivent être séparés du restant de sirop non cristallisé, cette opération se fait dans des centrifugeuses ouessoreuses (**Burzawa, 1994**).

- **Cristallisation Haut Produit (HP)**

Cette étape est généralement effectuée en trois (3) jets, chaque jet comprend lui-même 3 étapes : la cuisson, le malaxage et l'essorage ou turbinage, (voir la figure 02 en annexe).

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 est dit 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 de sucre dans les turbines centrifugeuse constitue « l'égoutriche » (**Mathlouthi et Barbara, 2001**). 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.

- **Cristallisation Bas produit (BP)**

Cette section permet de récupérer le sucre contenu dans les égouts provenant des cuites Haute Pureté, ou des égouts pauvres d'affinage, pour leurs épuisements en sucre, cela se fait en trois étapes (jets) dans des cuites puis des centrifuges, (voir la figure 03 en annexe).

Les cuites sont identiques à celle de la cristallisation HP, la première étape donne un sucre A qui peut être séché et consommé comme sucre roux ou fondu pour être réintégré au raffinage. 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 le non sucre et une partie équivalente de sucre qui n'est plus cristallisable s'appelle la mélasse.

La mélasse est un sous-produit qui est commercialisable pour diverse utilisation dont :

- La production d'alcool (distillation après fermentation).
- La fabrication de levure boulangère.
- L'introduction dans l'alimentation du bétail (**Anonyme III, 2009**).

III.2.7. Section 07 : Séchage et maturation

Le séchage consiste à éliminer une partie de l'eau d'un produit humide par évaporation. Généralement l'objectif de séchage est d'abaisser la teneur en eau de telle sorte que son activité de l'eau soit portée à une valeur permettant sa conservation à température ordinaire pour des longues durées (**Djendoubi, 2012**).

Le sucre sorti desessoreuses est humide (0,05%), pour permettre une bonne conservation, il est séché à l'air chaud et sec dans un sécheur tambour puis refroidi par de l'air froid et sec dans un refroidisseur. Ces deux étapes sont nécessaires à la bonne conservation du sucre et permettent d'éviter son altération (**Burzawa, 1994**).

Enfin envoyé vers les silos de maturation pendant une durée minimum de 48h pour finaliser la déshumidification et assurer son stockage en vrac.

III.2.8. Section 08 : Stockage et conditionnement

Après séchage, le sucre est tamisé et dirigé vers l'atelier d'ensachage ou vers les silos de stockages ou il est conservé en vrac. Au niveau de la raffinerie de Cevital, il y a quatre silos de stockage d'une capacité de 3200 tonnes chacun (**Manuel CEVITAL, 2008**).

Les conditions de stockage recommandées sont :

- Température ambiante;
- Humidité relative inférieure à 65% (20°C);
- Évité les chocs thermiques et le contact avec des surfaces humides;
- Endroit propre.

La DLUO (date limite d'utilisation optimale) est de deux ans après la date de conditionnement (**Manuel Cevital 2016**).

La figure suivante montre le procédé de raffinage du sucre roux au niveau de complexe Cevital.

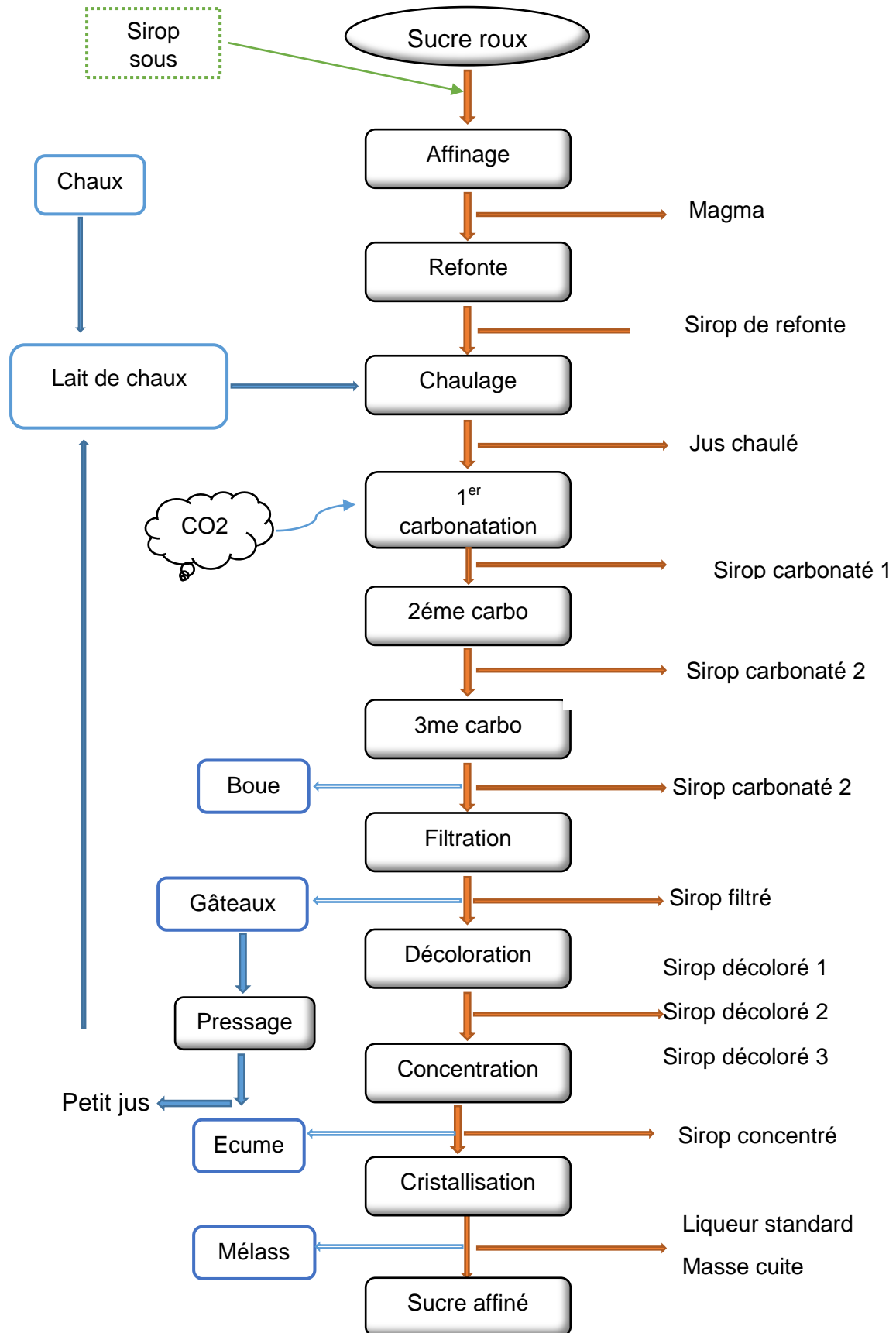


Figure 07 : procédé de raffinage du sucre roux au niveau de complexe Cevital

PARTIE PRATIQUE

CHAPITRE IV

Matériels et méthodes

IV.1. Matériels utilisé au niveau de laboratoire

La liste du matériel et solutions utilisés au niveau du laboratoire 3000T/J est présentée dans l'annexe (tableau I et II).

IV.2. Prélèvements et échantillonnages

- Le prélèvement des échantillons au cours de la fabrication s'effectue chaque deux heures, il consiste à ouvrir le robinet, qui se trouve juste après la pompe de soutirage de chaque bac, et recueillir une quantité suffisante dans des pots en plastique.
- Le prélèvement du sucre cristallisé (1001) qui s'effectue chaque une heure consiste à remplir un pot de sucre au niveau du tapis A1001.

IV.3. Paramètres physico-chimiques étudiés

Les analyses ont été réalisées sur différents échantillons dont la matière première du raffinage du sucre, les produits intermédiaires (produits obtenus au cours du procédé de raffinage) et les produits finis (le sucre blanc) sont résumés dans le tableau III.

Tableau III : Analyses physico-chimiques effectuées sur les différents produits

| Types de produits | | Types d'analyse | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|------------------|-----------------|--------------|--------|---------|----------|---------------|---------|---------------|---------|----------|------------|----|
| | | Brix | Polarisation | Pureté | Couleur | Humidité | Sucre inverti | Cendres | Granulométrie | Trouble | Sulfites | Alcalinité | pH |
| Matières premières | Sucre roux | - | + | - | + | + | - | - | - | - | - | - | - |
| Produits Intermédiaires | Magma | + | + | + | + | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | Sirop de refonte | + | + | + | + | - | - | - | - | - | - | - | + |
| | Jus chaulé | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | + | + |
| | Sirop carbonaté | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | + |
| | Sirop filtré | + | + | + | + | - | - | - | - | - | - | - | + |
| | Sirop décoloré | + | + | + | + | - | - | - | - | - | - | - | + |
| | Sirop concentré | + | + | + | + | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | LS1 | + | + | + | + | - | - | - | - | - | - | - | + |
| | LS 2 | + | + | + | + | - | - | - | - | - | - | - | + |
| | LS 3 | + | + | + | + | - | - | - | - | - | - | - | + |
| | LS A | + | + | + | + | - | - | - | - | - | - | - | + |
| | LS B | + | + | + | + | - | - | - | - | - | - | - | + |
| | LS C | + | + | + | + | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 1001 | - | - | - | + | - | - | - | - | - | - | - | - |
| EP3 | + | + | + | + | - | - | - | - | - | - | - | + | |
| Produit fini | Sucre blanc | - | + | - | + | + | + | + | + | + | + | - | - |

Tel que : Le signe + signifie que le produit subit l'analyse ;

Le signe - signifie que le produit ne subit pas l'analyse.

IV.3.1. La matière première (sucre roux)

a) Mesure de la polarisation

➤ Principe

Cette méthode a pour objectif de déterminer la teneur en saccharose présente dans une solution de sucre brut, en mesurant la rotation optique normale par un polarimètre thermostat à 20°C.

La polarisation est exprimée en °Z de l'échelle saccharimétrique internationale.

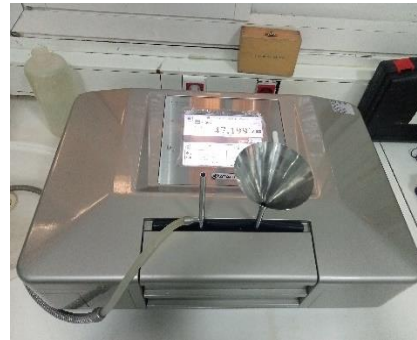


Figure 08: photographie du polarimètre

➤ Mode opératoire

- Peser 26,00 g de sucre roux dans une fiole de 100 ml puis ajouter environ 60 ml d'eau distillée ;
- Mélanger la solution jusqu' à dissolution complète ;
- Ajouter 1ml d'acétate de plomb basique ;
- Ajouter de l'eau distillée presque jusqu'au trait de jauge (s'il y a présence de bulles, ajouter de l'alcool ou de l'éther) ;
- Mettre dans un bain d'eau à 20°C pendant 15 à 20 min puis ajuster avec de distillée jusqu'au trait de jauge,
- Filtrer la solution à travers un filtre contenant de la terre infusoire ;
- Mettre le filtrat dans le polarimètre et lire la polarisation à 20°C.

b) Mesure de la couleur

➤ Principe

La coloration en solution est déterminée selon la méthode ICUMSA, mesurée à une longueur d'onde de 420 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV-visible.



Figure 09 : photographie de la pompe sous vide



Figure 10 : photographie du spectrophotomètre UV-visible

➤ Mode opératoire

- Préparer une solution sucrée d'un Brix de 30 ($30 \pm 0,1$ g de sucre avec $70 \pm 0,1$ g d'eau) ;
- Dissoudre le sucre à température ambiante soit manuellement ou à l'aide d'un agitateur mécanique ;
- Ajouter à la solution une cuillère de terre infusoire (la silice), filtrer la solution à travers une membrane filtrante ($0,45 \mu\text{m}$) ;
- Ajuste le pH du filtrat à 7 (avec la solution NaOH ou HCl ($0,1 \text{ N}$)) après avoir nettoyé et séché l'électrode.
- Après avoir fait la zéro base avec de l'eau distillée filtrée, mesurer l'absorbance de la solution à l'aide d'un spectrophotomètre à une longueur d'onde de 420 nm, en utilisant la cellule de 1 cm.

➤ Expression des résultats

Les résultats sont exprimés selon l'équation suivante :

$$\text{Couleur ICUMSA} = (\text{Abs} \times 1000) / (\text{b} \times \text{c})$$

Abs: L'absorbance à 420 nm (solution).

b: Longueur de la cellule cm (cuve).

c: Concentration de la solution en g/l.

c) Mesure de l'humidité

➤ Principe

Le principe de la méthode est le séchage du sucre à l'étuve à une température de 105°C suivi d'un refroidissement dans les conditions normalisées, cette technique permet de doser l'humidité libre (humidité présente à la surface des cristaux).

➤ Mode opératoire

- Sécher le récipient à l'étuve pendant 30 min, puis le refroidir au dessiccateur jusqu'à T° ambiante ;
- Peser le récipient vide (M1) à 0,0001 g puis mettre 20 à 30 g d'échantillon, mettre le couvercle et peser (M2) ;
- Remettre le récipient ouvert à l'étuve pendant 3h ;
- Après refroidissement au dessiccateur refaire la pesé (M3).

➤ Expression des résultats

$$H(\%) = 100 * (M_2 - M_3) / (M_2 - M_1)$$

M₁ : masse du récipient vide ;

M₂ : masse du récipient + l'échantillon ;

M₃ : masse du récipient + l'échantillon après séchage.

IV.3.2. Les produits intermédiaires

a) La couleur: (Magma, SR, SF, SD1, SD2, SC, LS1, LS2, LS3, LSA, LSB, EP3)

-A partir des échantillons prélevés, peser 50 g de chaque produit avec une balance de précision, puis réaliser une dilution de 1/5 à l'aide d'un diluteur automatique ;

-Filtrer les différents sirops à travers un filtre plissé (magma et sirop de fonte) ;

-Ajuster le pH entre 6,80 et 7,20 par l'ajout de gouttelettes de solution NaOH ou HCl (0,1N) ;

-Mesurer l'absorbance avec un spectrophotomètre UV-visible à 420 nm en utilisant la cellule de 1cm.



Figure 11 : Photographie du diluteur automatique

Les résultats sont calculés selon l'équation suivante :

$$\text{Couleur ICUMSA} = (\text{Abs} \times 1000) / (b \times c)$$

b) Le Brix

C'est le rapport entre la quantité de matières sèches (MS) contenues dans la solution et la quantité de la solution. Il est réalisé par mesure de l'indice de réfraction au moyen d'un réfractomètre thermostaté à 20°C.

Les résultats sont exprimés soit en g/L ou par pourcentage (%) de matière sèche présent dans la solution.



Figure 12: Photographie du Saccharimètre

A partir de la solution précédemment préparée, verser un certain volume dans le réfractomètre et lire le Brix . La formule suivante indique comment calculer le brix en % :

Brix (%) = la valeur affichée sur le réfractomètre \times le facteur de dilution.

c) La polarisation

La solution préalablement préparée est versée dans le polarimètre la teneur en saccharose (polarisation) s'affiche aussitôt, elle est généralement exprimée en pourcentage.

Pol(%) = la valeur affichée sur le polarimètre \times le facteur de dilution.

d) La pureté

C'est le rapport entre la teneur en saccharose et la teneur en matière sèche.

$$\text{Pureté (\%)} = \frac{\text{pol}}{\text{brix}} \times 100$$

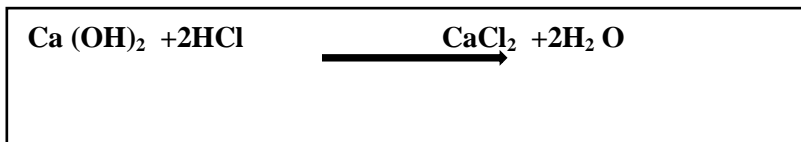
e) L'alcalinité (jus chaulé, SD)

C'est la quantité de chaux exprimée en g/l de CaO qui n'a pas réagi avec le sirop, l'alcalinité doit être contrôlée durant le chaulage (la 1^{ère} carbonatation et la 2^{ème} carbonatation). Les ions calcium réagissent avec un acide (HCl) et forment des chlorures de calcium.

➤ Mode opératoire

- Ajouter 2 à 3 gouttes de phénophtaléine à 20 ml de sirop chaulé (au carbonate) ;
- La solution est titrée avec le HCl jusqu' à la zone de virage (pH=8), c'est à dire changement de couleur du rose à l'incolore ;

L'alcalinité est exprimée en gramme de CaO par litre de jus. La burette contenant l'acide (HCl) indique directement, par lecture du nombre de ml utilisés, l'alcalinité en gramme de CaO par litre.



La chute de la burette donne directement le N^{bre} de gramme de CaO/l.

f) Mesure du pH

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

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

Le pH de l'eau pure à 20 °C définit la neutralité à pH 7,0.

Le pH d'une solution est obtenu par lecture directe sur un pH mètre munie d'une électrode combinée en verre.



Figure 13 : photographie d'un pH mètre

IV.3.3. Le produit fini (sucre blanc)

a) La couleur

➤ Principe

La mesure de la coloration en solution est réalisée au moyen d'un photo-colorimètre ou d'un spectrophotomètre. Elle est basée sur la diminution de l'intensité lumineuse d'un faisceau monochromatique qui traverse la solution à analyser, les résultats sont exprimés selon la méthode ICUMSA.

➤ Mode opératoire

- Peser 50 g de sucre blanc et ajuster à 100 g avec de l'eau distillée ;
- Dissoudre le sucre, puis filtrer à travers une membrane filtrante de 0,45 µm de porosité ;
- Jeter la première fraction de la solution (10 ml environ) ;
- Récupérer le filtrat dans un bécher propre et sec ;
- Lire l'absorbance de la solution à 420 nm dans une cellule de 5 cm, après avoir fait le zéro de base, avec de l'eau distillée filtrée dans la même cellule ;
- Rincer la cellule avec la solution du sucre avant de la remplir (éviter les bulles d'air) .

Les résultats sont exprimés selon formule incluse dans le logiciel Cléopâtre par l'expression ci-dessous :

$$\text{Couleur(ICUMSA)} = (\text{Abs} \times 1000) / (b \times c)$$

b) Sucre invertis

➤ Principe

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 par l'action d'une enzyme spécifique: l'invertase.

Grâce à la présence du fructose, le sucre inverti est un inhibiteur efficace de la cristallisation du saccharose et également un rétenteur d'eau.

➤ Mode opératoire

- Peser 5g de sucre blanc dans un tube à essai, ajouter 5 ml d'eau distillée, puis agiter jusqu'à dissolution complète,
- Ajouter 5 ml de solution alcaline au cuivre, mettre le tube dans un bain d'eau bouillante pendant 5 mn exactement ;

- Refroidir immédiatement le tube à l'eau courante et transvaser le contenu du tube et les eaux de rinçage dans un erlenmeyer en ajoutant une pincée de murexide ;
- Titrer la solution avec l'EDTA à 0,005 mol/l jusqu'au virage du vert au pourpre et noter le volume du titrage (T).

➤ **Expression des résultats**

La teneur en sucres réducteurs est calculée à partir du (tableau IV annexe) qui présente le pourcentage en sucre réducteur par rapport au volume du titrage.

c) **Les cendres conductimétrique**

✓ **Principe**

Pour mesurer la teneur en cendres (sels minéraux), on mesure la conductivité de la solution de sucre blanc de 28 g/100 g par un conductimètre, en utilisant un facteur conventionnel.

✓ **Mode opératoire**

- Peser $28 \pm 0,1$ g de sucre blanc dans un bécher de 250 ml, ajuster à 100 g avec de l'eau distillée de conductivité $\leq 2 \mu\text{S} / \text{cm}$;
- Mélanger soigneusement jusqu'à dissolution complète ;
- Mesurer la conductivité de la solution à $20 \pm 0,2$ °C ;
- Mesurer la conductivité de l'eau distillée à $20 \pm 0,2$ °C.

✓ **Expression des résultats**

La conductivité corrigée de la solution à 28 g/ 100 g est :

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

Et :

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

Si la mesure de la conductivité ne peut pas être faite à 20°C, on apporte une correction de T° pour exprimer le résultat à 20 °C, cette mesure ne doit pas excéder ± 5 °C.

La correction est donnée par :

$$C_{20} = C_{\text{mesurée}} / (1 + 0,026 (T^{\circ} \text{lue} - 20))$$

d) Granulométrie**✓ Principe**

Cette méthode a pour objet la mesure de la dimension et de l'hétérogénéité des cristaux de sucre.

Elle s'applique au sucre blanc sec commercialisé mais pas aux sucres ayant une distribution anormale, comme certains sucres tamisés ou des fines.



Figure 14 : Photographie d'un Granulométrie par tamisage

✓ Mode opératoire

- Sécher les tamis dans une étuve à 60°C ;
- Laisser refroidir, et les peser vides ;
- Disposer les tamis de bas en haut dans l'ordre croissant d'ouverture de maille ;
- Homogénéiser et subdiviser l'échantillon ;
- Continuer la subdivision jusqu'à l'obtention d'un poids de 80 à 100 g ;
- Placer sur le tamis supérieur la prise d'essai et tamiser pendant 15 min ;
- Peser ensuite successivement les quantités de sucre restant sur chacun des tamis puis sur le collecteur.

Les résultats sont reportés sur un logiciel qui va donner les caractéristiques de la granulométrie qui sont:

- Ouverture moyenne (OM) qui est la dimension moyenne des cristaux ;
- Coefficient de variation (CV) qui caractérise la dispersion des cristaux.

e) Polarisation

La mesure de la polarisation du sucre blanc est similaire à celle de la matière première Elle est exprimée en pourcentage selon l'équation suivante :

$$\text{Teneur en sucre}(\%) = \frac{\text{quantité de sucre}}{\text{quantité de solution}} \times 100$$

On fait la lecture de la polarisation qui est exprimée en °S puis on apporte la correction du volume de la solution ($m_2 - m_1$) à la polarisation lue, en se référant au tableau III dans l'annexe.

$$pol = polarisationlue - correction$$

f) Le trouble

✓ Principe

Le principe de cette méthode se base sur la différence entre la mesure de la coloration d'une solution de sucre à 50 °Brix non filtré (coloration + trouble) et la mesure de la coloration de la même solution après filtration sur membrane de 0,45 μm , les résultats sont exprimée en unité ICUMSA.

✓ Mode opératoire

- Peser $50 \pm 0,1$ g de sucre blanc dans un bécher de 250 ml, et ajouter 50 g d'eau distillée ;
- Laisser agiter jusqu'à dissolution complète ;
- Désaérer la solution dans un bain ultrason pendant 3 minutes ;
- Mesurer sa couleur N1 tout en éliminant les stries de la solution dans la cuve de mesure ;
- Filtrer l'échantillon restant à travers une membrane de 0,45 μm et mesurer sa couleur N2 ;
- Utiliser de l'eau distillée pour les zéro bases lors de la détermination de N1 et N2 ;

✓ Expression des résultats

Le trouble est exprimé par l'expression suivante :

$$T = N1 - N2$$

g) Les sulfites

✓ Principe

Cette méthode est basée sur le dosage colorimétrique du SO_2 et n'est applicable qu'aux sucres blancs.

✓ Mode opératoire

- Dissoudre entre 10 et 40 g d'un échantillon de sucre blanc en solution aqueuse dans une fiole jaugée de 100 ml ;

- Ajouter 4 ml d'hydroxyde de sodium (NaOH) à 0,1 mol /l ;
- Ajuster avec de l'eau distillée au trait de jauge ;
- Transvaser 10 ml dans un tube à essai propre et sec ;
- Ajouter 2 ml de solution de rosaniline décolorée ;
- Ajouter 2 ml de la solution de formaldéhyde ;
- Laisser reposer les tubes à température ambiante pendant 30 min ;
- Mesurer l'absorbance dans une cellule de 1 cm à 560 nm, en utilisant de l'eau distillée comme référence.

✓ **Expression des résultats**

La concentration en sulfite est calculée en se référant à la courbe d'étalonnage, elle est exprimée en mg/Kg de sucre blanc.

h) Humidité

La mesure du taux d'humidité dans le sucre blanc est similaire à de la matière première.

CHAPITRE V

Résultats et discussion

V.1. Résultats de l’analyse de la matière première

V.1.1. Evolution de la couleur durant le temps

Le graphe illustré dans la figure 15 montre que la couleur du sucre roux est très élevée, elle varie entre 894 et 1071 ICUMSA, ceci est due aux impuretés présentes dans la matière première, cependant, ces valeurs restent toujours conformes aux normes.

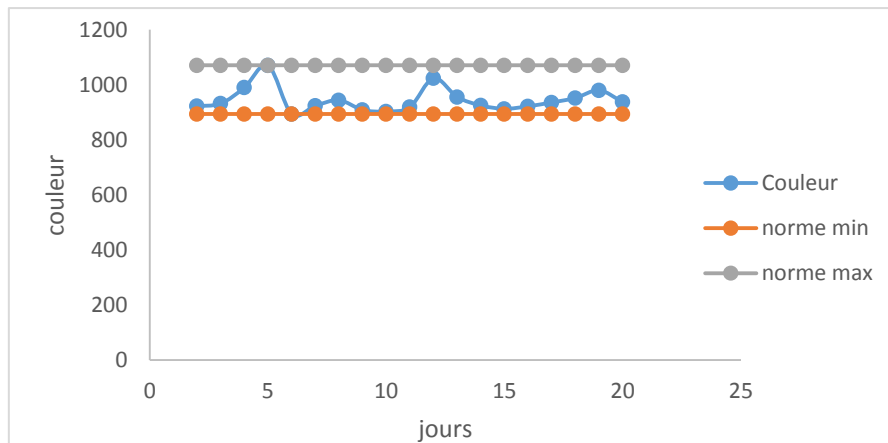


Figure 15: Evolution de la couleur du sucre roux durant le temps

V.1.2. Evolution de la polarisation

D’après le graphe ci-dessous, les valeurs de la polarisation du sucre roux varient entre 99,02 et 99,30°Z durant toute la période d’analyse, cela signifie que la matière première contient un taux de saccharose élevé.

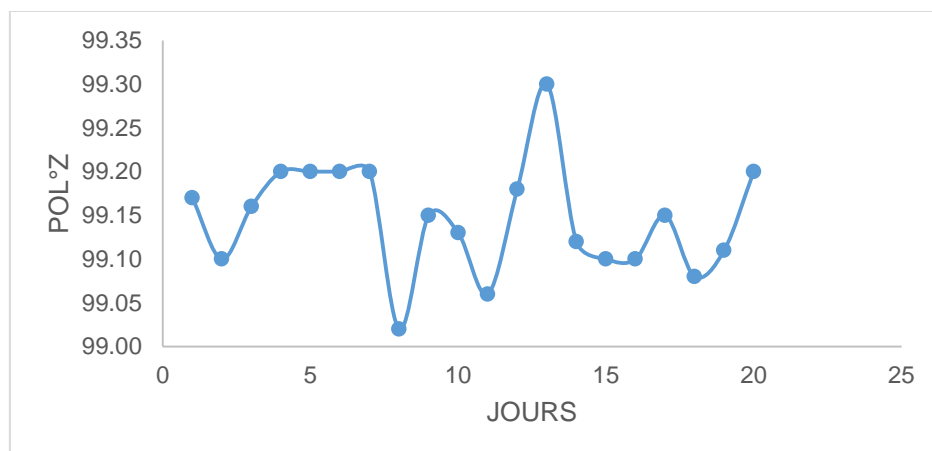


Figure 16 : Evolution de la polarisation de sucre roux durant le temps

V.1.3. Evolution de l'humidité

Le graphe ci-dessous indique que le taux d'humidité du sucre roux est instable, il varie entre 0,055 et 0,105% au cours des 20 jours d'analyse, mais il demeure toujours au-dessous de la norme maximale qui est 0,14%.

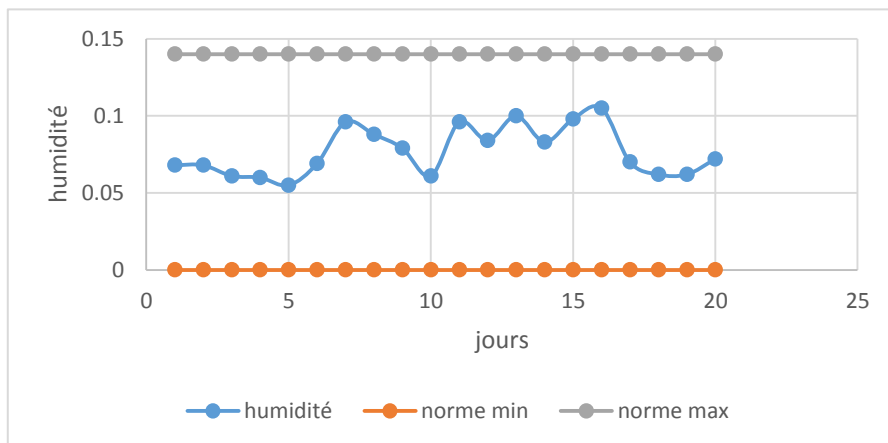


Figure 17 : Evolution de taux d'humidité de sucre roux durant le temps

V.2. Résultats d'analyse des produits intermédiaires

V.2.1. Evolution du Brix

Le graphe de l'évolution de la moyenne du Brix durant le processus de raffinage, montre que le magma a une valeur moyenne de Brix qui est de 71,73%, ce dernier diminue jusqu'à une valeur de 60% dans le fondoir, ceci est probablement due à l'ajout de l'eau chaude permettant la dissolution des cristaux de sucre.

La diminution de la moyenne du Brix dans le SF (sirop filtré) jusqu'à une valeur de 56,5% est due à la carbonatation, cette dernière devient stable jusqu'à SD2 (sirop décoloré 2), puis elle augmente au niveau du concentrateur avec une valeur moyenne de 63,78%.

Dans les liqueurs standards la moyenne de brix est élevée grâce à l'accumulation des égouts récupérés.

Les valeurs moyennes du Brix durant tout le processus de raffinage sont conformes aux normes.

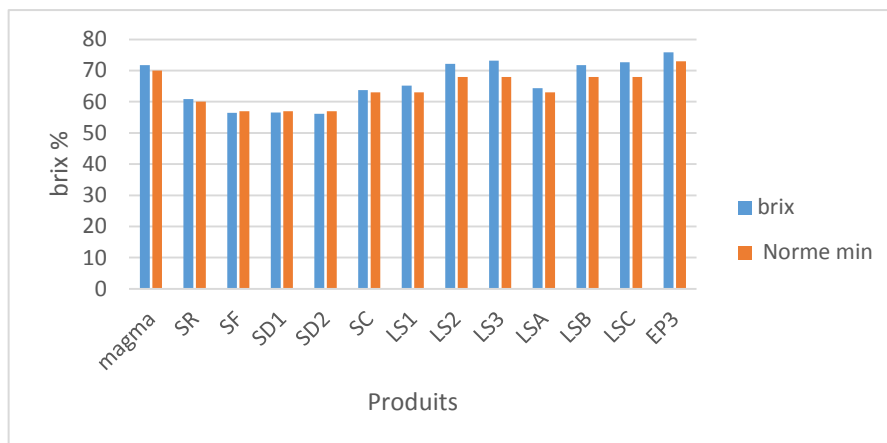


Figure 18: Evolution de la moyenne du Brix durant le processus de raffinage du sucre roux

V.2.2. Evolution de la pureté

Le graphe de l'évolution de la pureté durant le processus de raffinage, montre une stabilité de la moyenne de la pureté qui très proche de la norme (98,5 ICUMSA) dans toutes les sections de raffinage, ce qui peut être expliqué par la présence de produits très riches en saccharose par rapport aux impuretés, à l'exception du LS3, LSC et EP3 avec des valeurs moyennes de 95,12 ; 95,02 et 89,6%, respectivement, cela peut être expliqué par la diminution du taux de saccharose après la cristallisation.

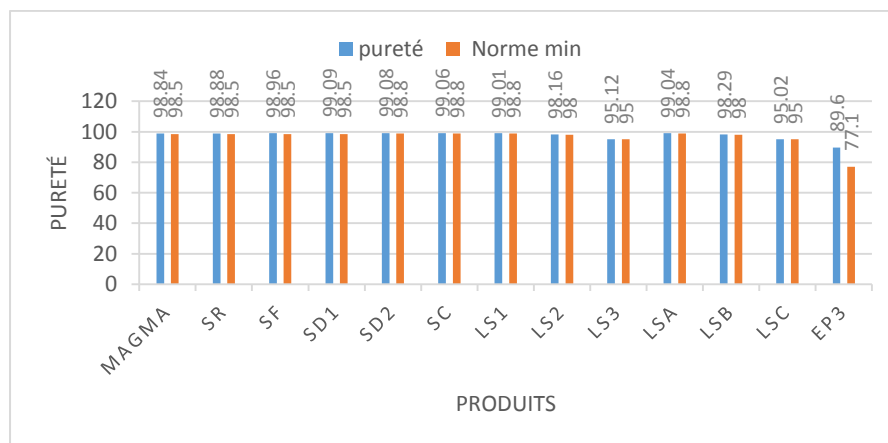


Figure 19 : Evolution de la moyenne de la pureté au cours du processus de raffinage

V.2.3. Evolution de la couleur

D'après le graphe la couleur du magma augmente progressivement pour atteindre une valeur moyenne de 1261,8 ICUMSA, ceci est probablement dû à l'ajout de la liqueur d'affinage durant l'empattage qui lui-même riche en impuretés. La couleur continue d'augmenter dans le fondoir, à cause de l'eau saturée en sucre qui est ajoutée pour dissoudre la couche superficielle d'impuretés contenues dans les cristaux de sucre roux, ainsi qu'à l'effet du sucre riche en impuretés qui est recyclé dans le fondoir.

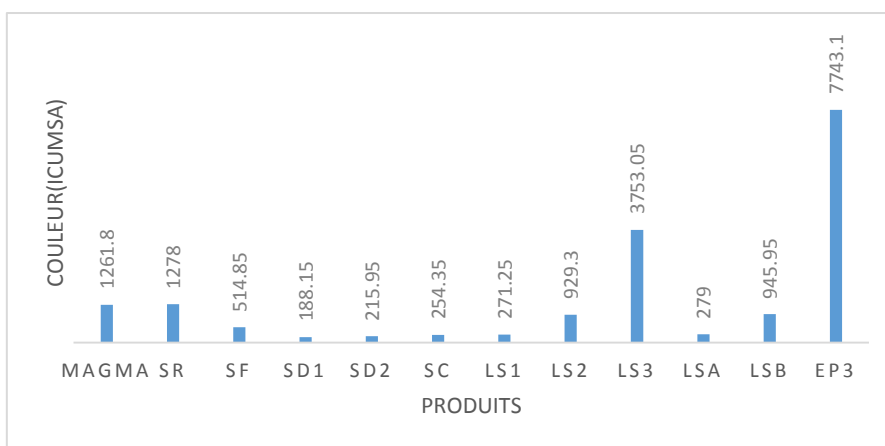


Figure 20 : Evolution de la moyenne de la couleur durant processus de raffinage de sucre roux

La couleur diminue après filtration et décoloration, celle-ci est retenue par les filtres et la résine qui sont responsables de rétention des colorants et des impuretés piégées après l'épuration carbonique.

Au niveau du concentrateur la couleur augmente à une valeur de 254,35 ICUMSA, ceci s'explique par l'effet thermique qui engendre la formation des colorants.

Dans la section LS1 et LSA la couleur a atteint une valeur moyenne de 271,25 et 279 mais elle demeure toujours dans la norme qui est de 300 ICUMSA.

Au niveau des sections LS2, LS3 et LSB la couleur dépasse les normes cela est due à la formation des colorants.

V.2.4. Evolution du pH

Le pH du jus chaulé est très élevé il est de 10,96 (figure 21) , ceci est dû à la présence de la chaux pendant cette étape.

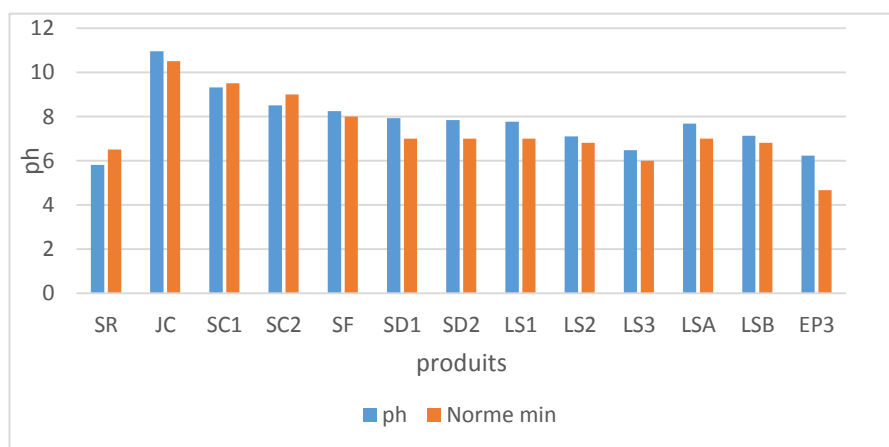


Figure 21 : Evolution de la moyenne de pH durant le processus de raffinage de sucre roux

La diminution progressive du pH lors de la première et la deuxième carbonatation (9,31 et 8,51, respectivement) peut être expliquée par la transformation de la chaux en carbonate de calcium qui piège et précipite certaines impuretés, d'où la diminution du calcium et des impuretés chargées négativement.

Le pH continue de baisser légèrement au cours de la filtration et de la décoloration, ceci est due à la rétention des impuretés et du calcium, en excès, par le filtre à bougie d'une part et la résine d'autre part.

Après la décoloration, le pH reste neutre en allant du sirop décoloré aux liqueurs standards 1, 2, A et B, ce qui favorise la cristallisation.

Le pH diminue légèrement dans LS3 et EP3, cette acidification des liqueurs revient à l'accumulation des égouts riches en impuretés et en molécules chargées après la récupération du sucre.

V.2.5. Evolution de l'alcalinité

D'après le graphique ci-dessous, les échantillons de jus chaulé présentent une stabilité de l'alcalinité qui est d'environ 5 g CaO/L par rapport aux normes exigées pendant 20 jours. Cela confirme la bonne qualité de la chaux utilisée ainsi que la bonne préparation du lait de chaux.

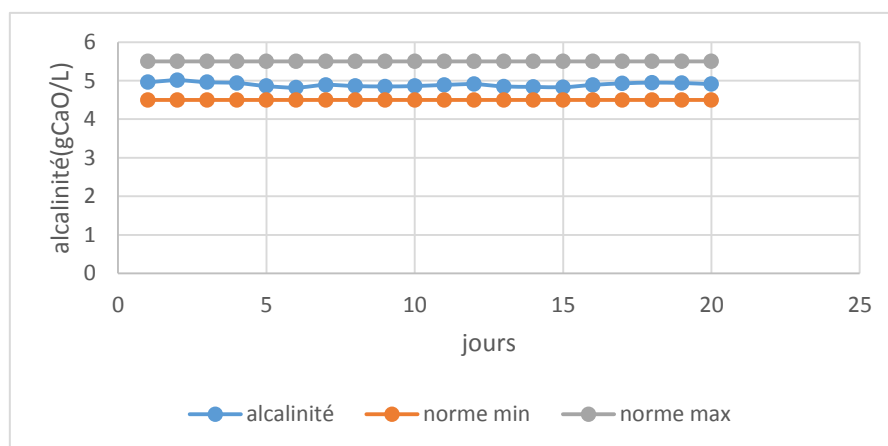


Figure 22 : Evolution de l'alcalinité de jus chaulé au cours du temps

V.3. Les résultats d'analyses du produit fini (sucre blanc)

Les résultats d'analyses physico-chimiques pour la conformité du sucre blanc de CEVITAL, sont présentés dans le Tableau IV. En effet, les différents paramètres

physicochimiques du produit fini répondent largement aux normes Algériennes de spécification A et Communauté Economique Européenne (CEE).

Tableau IV : Résultats des analyses physico-chimiques du sucre blanc de CEVITAL, suivie durant 20 jours

| Jours | Pol(%) | SI(%) | CC(%) | H(%) | Couleur ICUMSA | T(UI) | OM(mm) | CV(%) | Fines | Sulfites (ppm) |
|--------------|--------|-------------|-------------|-------------|-------------------|-----------|----------------|-----------|-------|-------------------|
| 1 | 99,22 | 0,010 | 0,009 | 0,012 | 29 | 06 | 0,572 | 41,47 | 3,06 | 00 |
| 2 | 99,90 | 0,014 | 0,012 | 0,018 | 30 | 06 | 0,611 | 43,50 | 2,91 | 00 |
| 3 | 99,89 | 0,012 | 0,009 | 0,015 | 26 | 06 | 0,582 | 36,80 | 3,46 | 00 |
| 4 | 99,92 | 0,016 | 0,009 | 0,024 | 32 | 07 | 0,574 | 39,90 | 4,04 | 00 |
| 5 | 99,92 | 0,020 | 0,010 | 0,010 | 29 | 07 | 0,570 | 38,40 | 2,75 | 00 |
| 6 | 99,90 | 0,016 | 0,011 | 0,013 | 29 | 06 | 0,580 | 40,40 | 2,70 | 00 |
| 7 | 99,90 | 0,014 | 0,007 | 0,019 | 26 | 06 | 0,631 | 36,10 | 3,12 | 00 |
| 8 | 99,89 | 0,018 | 0,009 | 0,019 | 30 | 07 | 0,613 | 35,85 | 2,93 | 00 |
| 9 | 99,90 | 0,014 | 0,007 | 0,017 | 30 | 06 | 0,596 | 36,70 | 2,90 | 00 |
| 10 | 99,88 | 0,018 | 0,011 | 0,017 | 29 | 06 | 0,588 | 38,30 | 1,17 | 00 |
| 11 | 99,90 | 0,014 | 0,012 | 0,019 | 26 | 04 | 0,649 | 37,40 | 0,030 | 00 |
| 12 | 99,90 | 0,016 | 0,010 | 0,018 | 27 | 06 | 0,596 | 36,70 | 3,19 | 00 |
| 13 | 99,89 | 0,014 | 0,010 | 0,021 | 28 | 06 | 0,604 | 35,20 | 2,71 | 00 |
| 14 | 99,90 | 0,018 | 0,010 | 0,021 | 27 | 05 | 0,556 | 44,50 | 3,84 | 00 |
| 15 | 99,89 | 0,016 | 0,010 | 0,014 | 28 | 07 | 0,611 | 41,60 | 1,55 | 00 |
| 16 | 99,90 | 0,018 | 0,009 | 0,019 | 28 | 05 | 0,608 | 39 | 1,82 | 00 |
| 17 | 99,92 | 0,016 | 0,010 | 0,020 | 27 | 06 | 0,613 | 36,80 | 2,12 | 00 |
| 18 | 99,90 | 0,016 | 0,010 | 0,018 | 28 | 07 | 0,582 | 35,70 | 2,37 | 00 |
| 19 | 99,90 | 0,014 | 0,011 | 0,019 | 29 | 05 | 0,576 | 35,60 | 3,15 | 00 |
| 20 | 99,90 | 0,016 | 0,014 | 0,023 | 28 | 05 | 0,591 | 39,10 | 2,38 | 00 |
| Norme A | 99,70 | 0,04 max | 0,04 max | 0,10 | 60 max | 10max | 0,5 à 0,7 | 35 | / | 10 |
| Norme CEE | 99,70 | 0,04 max | 0,04 max | 0,06 max | 45 max | 10 max | 0,55 à 0,65 | 40 max | / | 10 |

CONCLUSION

Conclusion :

Le sucre est considéré comme un aliment essentiel entrant dans la composition calorique de la ration alimentaire de base, que ce soit pour le consommateur ou le producteur sa qualité est devenue un enjeu stratégique et prise au sérieux.

Le travail effectué au niveau de laboratoire de la raffinerie de complexe agroalimentaire CEVITAL a été consacré pour analyser la qualité du sucre roux d'autre part, et suivre les différents paramètres physicochimiques au cours du processus de raffinage du sucre roux d'autre part, ainsi qu'évaluer la qualité du produit fini (sucre blanc) et sa conformité aux normes adoptées par l'entreprise.

Sur la base des résultats expérimentaux obtenues, nous pouvons tirer les conclusions suivantes :

- La matière première importée est conforme aux normes, dont elle contient un taux de saccharose élevé (la polarisation élevé).
- La diminution de la valeur moyenne de la couleur après filtration et décoloration indique l'efficacité de traitement de carbonatation, ainsi l'effet de la résine échangeuse d'ions qui confirme l'élimination de la majorité des impuretés.
- Les résultats d'analyse des paramètres étudiés obtenus (Brix, couleur, pureté, pH, alcalinité et humidité), ont montré que l'ensemble des échantillons analysés sont conformes aux normes adoptées par l'entreprise.
- Le sucre obtenue est de bonne qualité ce qui confirme l'efficacité du système de raffinage au niveau de la raffinerie CEVITAL.

Enfin le raffinage du sucre roux de canne est un processus très délicat nécessitant un contrôle continu qui aboutit à un sucre blanc.

Références bibliographiques

A

- Achabou M. A. & Tozanli S. 2007.** Association agreement between Algeria and the European Union: consequences on the Algerian sugar industry. In 103 rd Seminar :theMediterraneanConference of Agro-Food Social Scientists. N° 9408, April 23-25, Barcelona, Spain : European Association of Agricultural Economists. 18 p
- Afisuc. 2002.** Association pour la formation et le perfectionnement dans les industries sucrières. Cristal 1- 15p
- Anonyme III, 2009.** Manuel opératoire des connaissances générales utilisé à CEVITAL. 12p.
- 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, novembre, 41p
- Asadi M. 2007.** Beet-Sugar Handbook. Ed : John Wiley et Sons, Inc. Hoboken New Jersey. USA. 884p.
- Audar,R.Boulot,B.Gelie,P.sadikalay,S .2018.**Espace et mouvement,transformation de l'espace: le sucre de canne (26 pages) . AVH, 6ème symposium. Reims.

B

- Belhamri R. 2000.** Extraction des macromolécules pariétales des eaux de presse de betteraves sucrières étude de leur composition, de leurs propriétés physico-chimiques et de leur effet sur le processus sucrière p4, 98,99.
- Belhamri R. 2005.** Extraction des macromolécules pariétales des eaux de presse de betteraves sucrières étude de leur composition, de leurs propriétés physico-chimiques et de leur effet sur le processus sucrière p4, 98,99
- Benne M.,Grondin-Perez B.,Chabriat J.P. et Hervé P. 2000.** Artificial Neural Networks for Modelling and Predictive Control of An Industrial Evaporation Process. Journal of Food Engineering, 46(2), 227-234.
- Benzohra B, Bencharif A, Boukella M, 2010.** La filière mondiale des édulcorants : une introduction. Cahiers Agricultures 19 : 210-219.
- Boukella M, 1999.** Les industries agro-alimentaires en Algérie » : politiques, structures et performances depuis l'indépendance. Cahiers options Méditerranéennes –CIHEAM/CREAD volume 19.
- Bounie D, 2003.** Cours de technologies industrielles : l'usine agroalimentaire (p42), école polytechnique universitaire de Lille.

Burzawa E, 1999. Rappel des bases de l'épuration calco-carbonique (p 1-9). Association collaboration de l'université de Reims.

Burzawa E,1994. La cristallisation du sucre : des bases théoriques a la production industrielle. Etablissement de sainte Emilie.18p

C

Cartier S.1997.Application des procédés membranaires en sucrerie et raffinerie de canne. Thèse de doctorat. Ecole national supérieure des industries agricoles et alimentaire. 135p

Chen J. C. P. & Chou C. C. 1993. Cane sugar handbook : a manual for cane sugar manufacturers and their chemists. 12th edition. Canada : John Wiley & Sons, Inc. 1120 p.

Conab : Acompanhamento da safra brasileira :cane-de-Ac,u'car,primeiro levantamento, maio /2011.2011 :.disponible sur

http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/Uploads/arquivos/11_05_27_13_53_13_boletim-cana_portugues_-_maio_2011_1o_lev.pdf.

Courteau A. 2005. La canne à sucre et l'environnement à la réunion.31p.

D

Decloux M, 2002. Procédés de transformation en sucrerie (partie1). In techniques de l'ingénieur, 18p.

Decloux M., Tatoud L. et Messad A. 1999. Rétenion des impuretés de refonte de sucre roux de canne par filtration tangentielle. Association avh, 6ème symposium, Reims, pp 58-63.

Deminiac M. 1991. Biotechnologie des levures. In : « utilisation des levure en fermentation alcoolique industrielle ». Ed .Technique et documentation

Donovan M. 2003. SUGAR : Refining of Sugarbeet and Sugarcane. Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition. 2nded. pp5659-5665.

Doucet J. 1992. Le sucre (saccharose) est ses dérivés traditionnels et nouveaux. In sucre, les sucré, les édulcorants est les glucides des charges dans l'industrie agroalimentaires (Multon J. L). Ed. Tec et Doc Lavoisier, pp258-281

E

Eggleston G. 2018. Positive aspects of cane sugar and sugar cane derived products in food and nutrition. Journal of agricultural and food chemistry, 66(16) : 4007-4012.

F

FAO. 2020. Food Outlook- Biannual Report on Global Food Markets. Rome : FAO-GIEWS.165 p. Site Web : <<https://doi.org/10.4060/ca9509en>

Food and agriculture organization (FAO). Perspectives agricoles 2015-2024

G

Goebel R., Auroux S., Fauconnier R., Marion D., Dadallier J.C. et Pouzet D. 2008. La canne à sucre, une herbe géante gorgée de sucre. Centre de recherche agronomique spécialisé dans les productions tropical et méditerranéennes. Montpellier.pp. 4-5

H

Hamachi M., Gupta B.B. et Ben-Aim R. 2003. Ultra filtration : a means for decolorization of cane sugar Solution. Séparation and Purification Technology, pp 229 -239.

Hugot E, 1987.La sucrerie de canne : carbonatation (738p). Lavoisier, tec & Doc. 3ème

I

ICUMSA Method GS1/3/4/7/8-13 1994. The Determination of Conductivity Ash in Raw Sugar, Brown Sugar, Juice, Syrup and Molasses – Official.

J

Jarosz S., Sokolowska P. & Szyszka Ł. 2020. Synthesis of fine chemicals with high added value from sucrose: Towards sucrose-based macrocycles. Tetrahedron Letters, 61(151888):1-14.

L

Libelle T. J. 2007. Modèles de connaissance de la cristallisation de troisième jet en sucrerie de cannes Expérimentations et simulations. Thèse de doctorat de Génie des Procédés. Université de la Réunion, 265 p.

M

Marc-André Theoleyre, Anne Gonin, Dominique Paillat, Florence Lutin, 2016. Vers une sucrerie zéro effluent, le cas de la raffinerie de sucre. IAA La revue des industries agroalimentaires, PPI.

Mathlouthi M. et Barbara R, 2001.L'extraction du sucre. CEDUS : Centre d'étude et de documentation du sucre (p1-11-14).

Mathlouthi, 2007. Dossier CEDUS. Les propriétés physiques et chimiques du saccharose (p 15-16-17-18-19-20)

Mathlouthi M. et Barbara R.Mc, 2004.Sucreries de canne (p 1-7), dossier CEDUS avec la -
Matson, J.S et Mark, H.B, 1971. Activated carbon. Surface chemistry and adsorption from Office des publications universitaires. Alger.

Mersad A., Decloux M., Fargues C., & Lewandowski R. 2002. Les colorants en sucrerie : formation, masses molaires et rétention par filtration tangentielle. Ecole Nationale Supérieure des Industries Agricoles et Alimentaires. AVH Association, 9ème Symposium, Reims, 10-12

Mersad A.2001. Les colorants en sucreries : détermination de leurs masses molaires et de leurs caractéristiques spectrométriques en vue d'une meilleure évaluation de leur rétention par filtration tangentielle. Ecole national supérieure des industries agricoles et alimentaires.130p

Michel B.1999. Les réseaux de neurones pour la modélisation et le contrôle du procédé d'évaporation : expérimentation et applications industrielles en sucrerie de canne. Thèse doctorat. Université de la Réunion.p23, p24.

MOL 2009.Manuel opératoire de laboratoire de sucre solide.

MOR 2009. Manuel opératoire de raffinerie.

P

Paton N.H. 1992. The origin colour in raw sugar. Proceedings of Australian society of sugar cane technologists, 8-17.

Piyasna P.1990. Microfiltration tangentielle sur membrane minérale de produits sucrés. Ingénieure des aliments. Ecole nationale supérieure des industries agricoles et alimentaires.

Pislor E.2011.Extraction d'un acide organique à partir de Co produits issus de l'industrie de la canne à sucre. Institut national polytechnique de Toulouse.p 235.

R

Rachedi N, 2002.Précèdes de transformation dans la raffinerie de CEVITAL spa.Rapport de formation. p1-30, Reims.

Rageot M., Rene L.2004. Procédure de fabrication du sucre. Le sucre (4). pp. 1-4.

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

S

SGDIA : Société de Gestion et de Développement des Industries Alimentaires. Cours de technologie alimentaire, fascicule7 : du jus brut au sucre brut, p2.

Shore M.,Broughton N. W.,Dutton J. V. et Sissons A. 1984. Factors affecting white sugar color,sugar technology Reviews, 12, 1-99

Smith P. et Paton N. H. (1985). Sugar cane flavonoids. Sugar Technology Reviews, p142

T

Toure F. K., Koffi E., & Agbo G. N. 2010. Facteurs liés au rendement dans la raffinerie de canne du perimetre sucrier de ferke 1 en Côte d'Ivoire. Agronomie Africaine, 22(1) : 85-95.

V

Vu T., Le-Blanc J., & Chou C. C. 2020. Clarification of sugarcane juice by ultrafiltration membrane: Toward the direct production of refined cane sugar. Journal of Food Engineering, 264 :109682.

Annexes

Tableau I : liste des différents appareils utilisés au niveau du laboratoire physico-chimique

| Appareillages et matériels | Object |
|---|--|
| Refractomètre (saccharimètre) | Pour déterminer le taux de la matière sèche dans la solution (brix) |
| Spectrophotomètre UV(ELIOS) | Pour mesurer des absorbances de la solution sucrée a 420 nm |
| Diluteur automatique mené d'une balance de précision | Pour la dilution des solutions |
| Un papier filtre de 0.45 um et des filtres plissés standard | Pour filtrer des solutions |
| Polarimètre (POLASER-S) | Pour mesurer la polarisation |
| Agitateur magnétiques et plaque chauffante | Pour agiter et accélérer les dilutions des solutions |
| Ph mètre (HANNA instruments) | Pour mesurer les ph des solutions |
| Ordinateur menés du logiciel(CLEOPATRE) | Lecture des résultats |
| Les pots en plastiques de 500ml | Pour la réalisations des différents prélèvements |
| L'étuve réglée à 105°C (MEMMERT) | Stérilisation et séchage |
| Bain marin | Pour refroidissement des différents solutions et de réguler les températures voulues |
| Dessiccateur en verre | Refroidissement |

Tableau II : liste des différents réactifs utilisés au niveau de laboratoire

| Solution | Object |
|--------------|---|
| Eau distillé | Pour diluer les sucres et les solutions sucrées |
| HCL a 0,1N | Pour neutraliser les ph des solutions |
| NaOH a 0,1N | Pour neutraliser les ph des solutions |

Tableau III : Table de correction pour la polarisation de sucre blanc.

| M | V | Correction |
|---------|---------|------------|
| 109.461 | 99.800 | -0.200 |
| 109.471 | 99.810 | -0.190 |
| 109.481 | 99.820 | -0.180 |
| 109.491 | 99.830 | -0.170 |
| 109.501 | 99.840 | -0.160 |
| 109.511 | 99.850 | -0.150 |
| 109.521 | 99.860 | -0.140 |
| 109.531 | 99.870 | -0.130 |
| 109.541 | 99.880 | -0.120 |
| 109.551 | 99.890 | -0.110 |
| 109.561 | 99.900 | -0.100 |
| 109.571 | 99.910 | -0.090 |
| 109.581 | 99.920 | -0.080 |
| 109.591 | 99.930 | -0.070 |
| 109.601 | 99.940 | -0.060 |
| 109.610 | 99.950 | -0.050 |
| 109.620 | 99.960 | -0.040 |
| 109.630 | 99.970 | -0.030 |
| 109.640 | 99.980 | -0.020 |
| 109.650 | 99.990 | -0.010 |
| 109.660 | 100.000 | ±0 |
| 109.670 | 100.010 | +0.010 |
| 109.680 | 100.020 | +0.020 |
| 109.690 | 100.030 | +0.030 |
| 109.700 | 100.040 | +0.040 |
| 109.710 | 100.050 | +0.050 |
| 109.720 | 100.060 | +0.060 |
| 109.730 | 100.070 | +0.070 |
| 109.740 | 100.080 | +0.080 |
| 109.750 | 100.090 | +0.090 |
| 109.760 | 100.100 | +0.100 |
| 109.770 | 100.110 | +0.110 |
| 109.780 | 100.120 | +0.120 |
| 109.790 | 100.130 | +0.130 |
| 109.800 | 100.140 | +0.140 |
| 109.810 | 100.150 | +0.150 |
| 109.820 | 100.160 | +0.160 |
| 109.830 | 100.170 | +0.170 |
| 109.840 | 100.180 | +0.180 |
| 109.850 | 100.190 | +0.190 |
| 109.860 | 100.200 | +0.200 |

Tableau IV : table de correction pour la teneur en sucres réducteurs de sucre blanc

| Volume de titrage (ml de solution d'EDTA) | % sucres réducteurs |
|--|---------------------|
| De 1.7 à 2.2 | 0.017 |
| De 2.3 à 2.9 | 0.016 |
| De 3 à 3.6 | 0.015 |
| De 3.7 à 4.2 | 0.014 |
| De 4.3 à 4.8 | 0.013 |
| De 4.9 à 5.5 | 0.012 |
| De 5.6 à 6.2 | 0.011 |
| De 6.3 à 6.8 | 0.010 |
| De 6.9 à 7.5 | 0.009 |
| De 7.6 à 8.1 | 0.008 |
| De 8.2 à 8.7 | 0.007 |
| De 8.8 à 9.4 | 0.006 |
| De 9.5 à 10.1 | 0.005 |
| De 10.2 à 10.7 | 0.004 |
| De 10.8 à 11.3 | 0.003 |
| De 11.4 à 11.8 | 0.002 |

Tableau V : Les normes des différents paramètres de processus de raffinage

| | Brix(%) | Pureté(%) | Couleur(ICUMSA) | Ph |
|-------|---------|------------|-----------------|-----------|
| Magma | 70-80 | 98 ,5 | 1500max | / |
| SR | 60-66 | 98,5min | 1500max | 6,5-7,5 |
| SF | 57-61 | 98,5min | 800max | 8-8,5 |
| SD1 | 57-61 | 98,5min | 250max | 7-9 |
| SD2 | 57-61 | 98,8min | 250max | 7-9 |
| SC | 63min | 98,8min | 300max | / |
| LS1 | 63min | 98,8min | 300max | 7-7,8 |
| LS2 | 68-75 | 98min | 800max | 6,8min |
| LS3 | 68-77 | 95min | 3000max | 6min |
| LSA | 63min | 98,8min | 300max | 7-8,5 |
| LSB | 68-75 | 98min | 800max | 6,8 |
| LSC | 68-77 | 95min | / | / |
| EP3 | 73-78,5 | 77,1-91,66 | 16700max | 4,66-7,13 |

Capacités de l'entreprise :

- Une raffinerie d'huile, avec une capacité de production de 1800 t / jour ;
- Une margarinerie et graisses végétales, avec une capacité de production de 600 t /jour
- Une raffinerie de sucre blanc, avec une capacité de production de 3000 t /jour ;
- Une raffinerie de sucre blanc, avec une capacité de production de 3500 t /jour ;
- Une unité de sucre liquide d'une capacité de production de 600 t/j ;
- Une unité de conditionnement d'eau minérale « LallaKhedidja » avec une capacité de production de 3000000 bouteilles /jour ;
- Une unité de boissons fruitées « Tchina » avec une capacité de production de 600000 bouteilles/heure ;
- Une unité de fabrication de bouteilles et de bouchons ;
- Plusieurs unités de conditionnement de sucre et de bouteilles d'huile ;
- Conserverie de tomates et de confitures avec une capacité de production de 80 t/jour ;
- Plusieurs unités de production, mayonnaise, ketchup, moutarde...etc.
- Plusieurs silos et hangars de stockage des matières premières (sucre roux) et produits finis (sucre blanc) à savoir : deux hangars de stockage du sucre roux et trois silos de stockage du sucre blanc avec une capacité de 2000 tonnes / heures.

Tableau VI : techniques utilisées pour la préparation des échantillons

| Produits | Dilution | Homogénéisation | Filtration |
|-------------|----------|---|--|
| Sirop dense | 1/10 | A l'aide d'un homogénéisateur automatique | La solution additionnée de la terre infusoire et filtrée à travers un filtre plissé standard |
| Sirop clair | 1/5 | A l'aide d'un homogénéisateur automatique | - |
| Sucre blanc | 1/2 | A l'aide d'un agitateur magnétique | A travers une membrane de porosité 0,45 a l'aide d'une pompe sous vide |

- 1) Bac
- 2) Châssis intermédiaire
- 3) Bougie de filtration
- 4) Couvercle
- 5) Toile de filtration
- 6) Tuyauterie d'entrée
- 7) Tuyauterie de sortie filtrat
- 8) Fond conique
- 9) Œillet de lavage de couvercle
- 10) Bague de maintien
- 11) Purge des boues

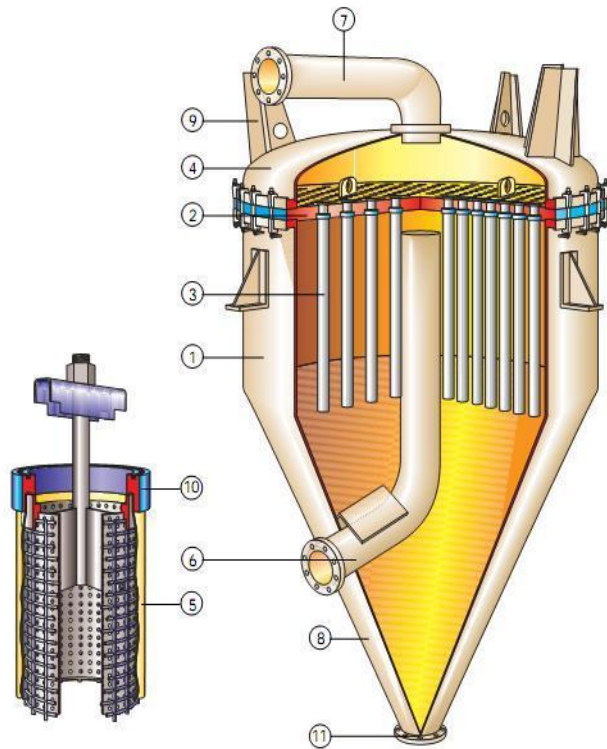


Figure 01 : Fonctionnement d'un filtre à bougies (Putsch, 2010).

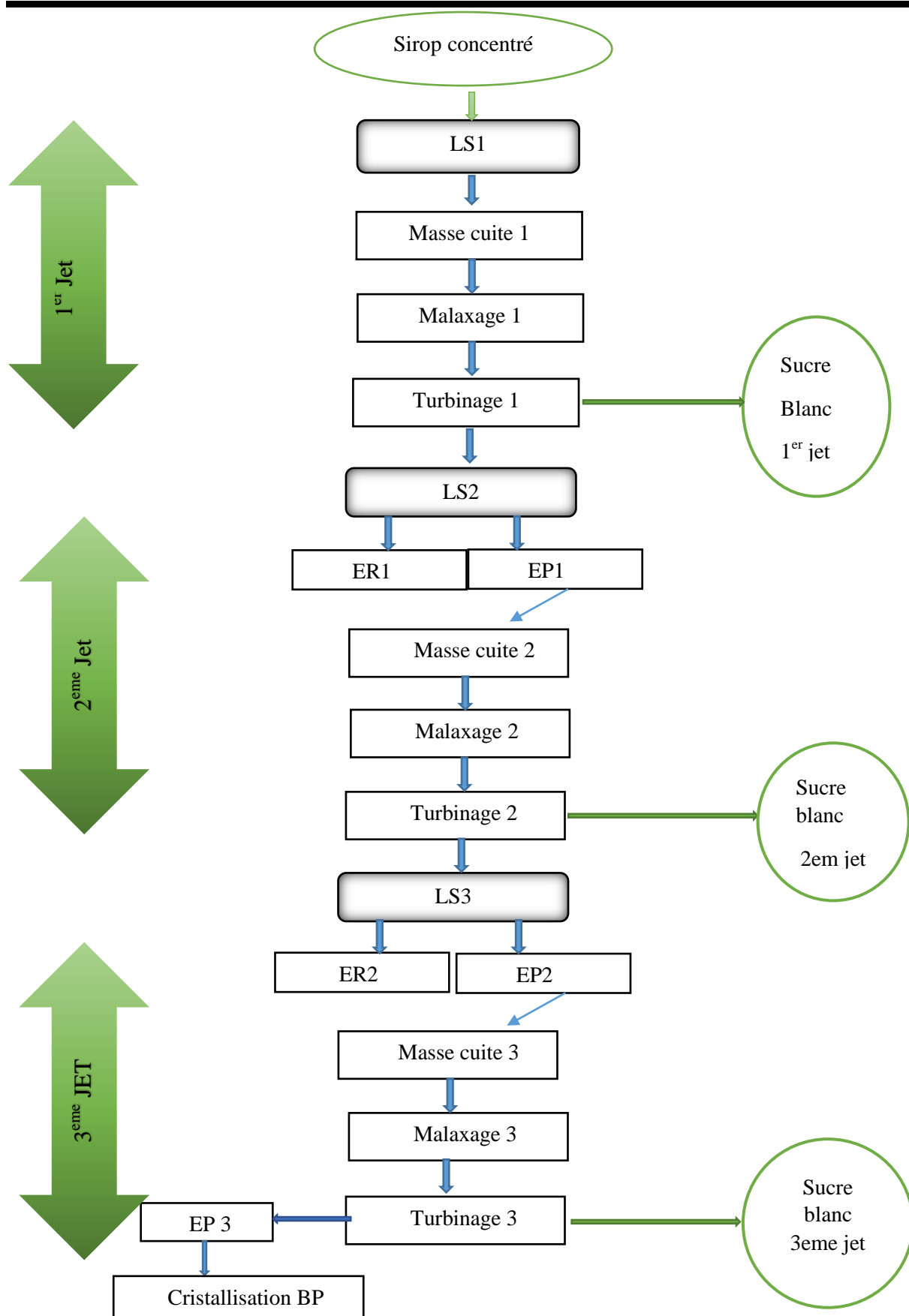


Figure 02 : Schéma de cycle de cristallisation des hauts produits (HP) à CEVITAL

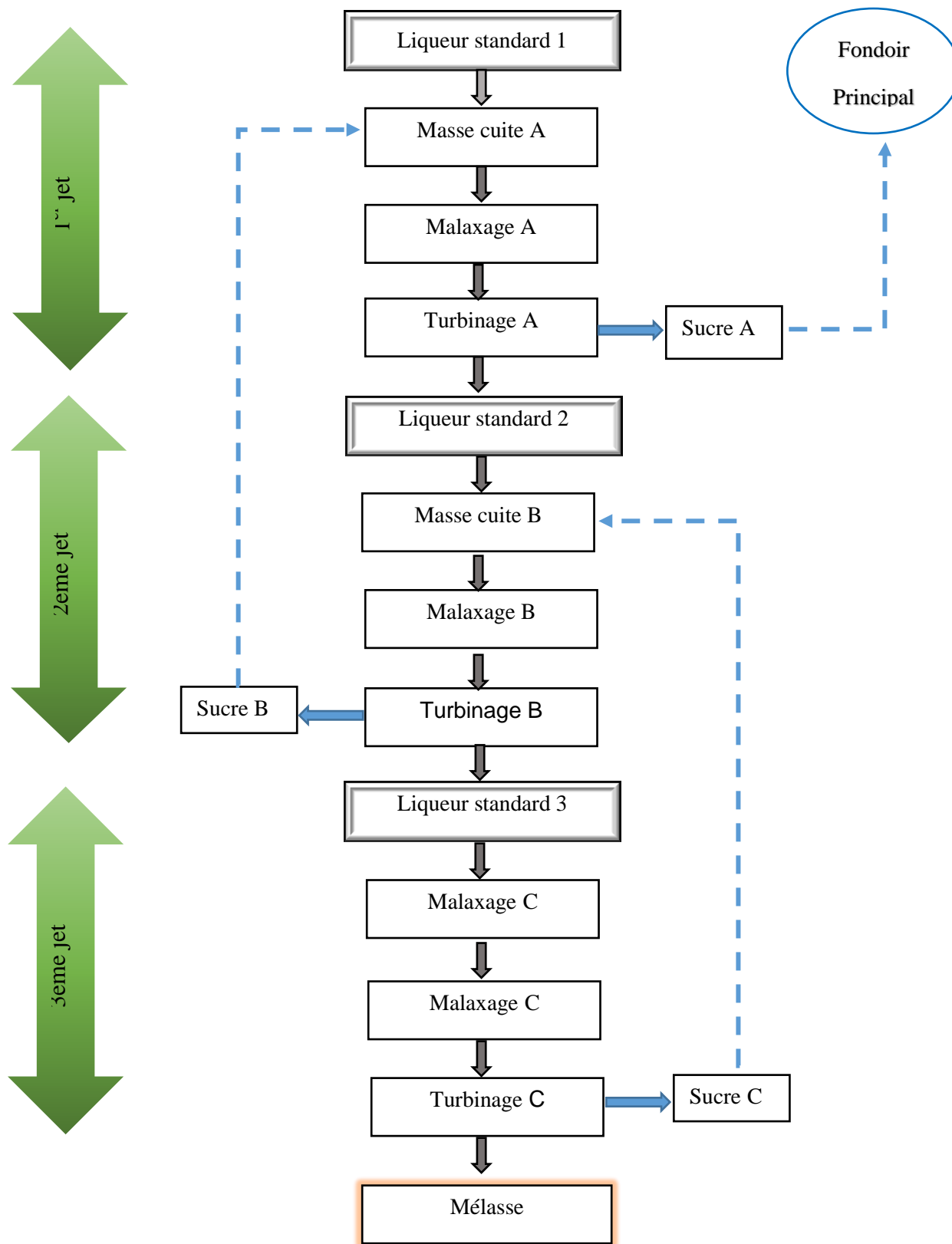


Figure 03 : Schéma de cycle de cristallisation des bas produits (BP) à CEVITAL

Résumé :

Ce travail est réalisé au niveau de la raffinerie du sucre Cevital a portée sur le suivi de l'évolution des paramètres physico-chimiques au cours du processus de raffinage du sucre roux (le brix, la polarisation, la pureté, la couleur, le pH) ainsi l'évolution de la qualité du sucre blanc.

Les différentes analyses des paramètres étudiés ont donné des résultats qui repend aux normes ICUMSA qui nous a permis de vérifier la fiabilité et la stabilité du processus du raffinage au niveau de chaque section.

La bonne qualité du sucre blanc de Cevital et son conformité sont le résultat du bon déroulement du procédé de raffinage et le bon suivi du contrôle de qualité.

Mots clés : raffinage, sucre roux, sucre blanc, analyses, physicochimique, qualité, conformité.

Summary:

This work is carried out at the level of the sugar refinery cevial has focused on the monitoring of evolution of physico chemical parameters during refining process of brown sugar (brix, polarization, purity, color, Ph) as well as the evolution of the quality of white sugar.

The different analyses of the studied parameters have given results which are in accordance with the ICUMSA nomenclature which has allowed us to verify the reliability and stability of the process of ratfinage in each section.

The good quality of cevital white sugar and its conformity are the result of the good of the rafining process and the good follow-up of the quality control.

Keywords: refining, brown sugar, white sugar, analysis, physico-chemical, quality, conformity.