

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



**Faculté de Technologie**  
**Département de Génie des Procédés**

**Mémoire**  
**EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE**  
**Master**

**Domaine : Science et Technologie Filière : Génie des Procédés**  
**Spécialité : génie alimentaire**

**Présenté par**

Mlle ANKI DAHIA et Mlle TAHIR Melissa

**Thème**

**Suivi de la qualité physico-chimique du sucre blanc au  
cours du raffinage**

**Soutenue le 30/ 06/2024 Devant le jury composé de :**

<b>Nom et Prénom</b>	<b>Grade</b>	<b>Affiliation</b>	<b>Qualité</b>
Mme Madi K.	MCB	Université de Bejaia	Présidente
Mme Arkoub L.	MCA	Université de Bejaia	Examinatrice
Mme Bey Z.	MAA	Université de Bejaia	Encadrante

**Année Universitaire : 2023/2024**

## *Remerciement*

En premier lieu, nous exprimons notre profonde gratitude envers le bon Dieu tout puissant, qui nous a accordé le courage, la volonté, la santé et la patience nécessaires pour mener à bien ce modeste travail malgré toutes les difficultés rencontrées.

Nous tenons à exprimer notre profonde et respectueuse gratitude et reconnaissance à notre promotrice, Madame Bey Z., de nous avoir encadrés, d'avoir suivi notre travail avec une extrême bienveillance. Nous vous remercions également pour votre patience, disponibilité et surtout vos judicieux conseils et orientations qui ont contribué à alimenter notre réflexion. Nous vous sommes reconnaissants pour votre soutien indéfectible tout au long de cette expérience enrichissante.

Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements à tout l'ensemble du personnel de la raffinerie du sucre CEVITAL, principalement l'équipe de laboratoire physico-chimique en particulier Monsieur BIREM Samir, KADA Karim, DRICI Fares, pour leurs aides, leurs conseils et de nous avoir donné l'opportunité d'effectuer notre stage au sein de cette unité.

Nos remerciements vont également à toutes les personnes ayant participé de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail, ainsi qu'à nos chers parents.

Enfin, nous n'oublions pas de remercier également les membres du jury pour l'attention portée à notre travail

## *Dédicaces*

Ma mère, autant de phrases aussi expressives soient-elles ne sauraient montrer le degré d'amour que j'éprouve pour toi. J'ai l'honneur d'être ta fille. Tu m'as envahi de tendresse et d'affection. Tu n'as jamais cessé de me soutenir et de m'encourager durant toutes les années de mes études. En ce jour mémorable, pour toi, reçois ce travail en signe de ma vive reconnaissance et ma profonde estime : Puisse Dieu Tout-Puissant te donner santé, bonheur et longue vie afin que je puisse te combler à mon tour.

Mon père, bien que tu ne sois plus parmi nous, ton amour et tes enseignements continuent de me guider chaque jour. Tu as toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'encourager. Ton souvenir est une source constante de force et d'inspiration pour moi. J'essaie chaque jour de suivre les valeurs que tu m'as inculquées. Que ce travail traduit ma gratitude, mon affection et mon éternelle reconnaissance. Ton amour m'accompagne, et ta sagesse éclaire mon chemin.

Je dédie ce projet à mes chers frères Mehdi et Faouzi. Votre soutien indéfectible, votre présence et vos encouragements m'ont toujours donné la force de persévérer. Vous avez été à mes côtés à chaque étape de ce parcours, et je vous en suis profondément reconnaissante.

Je souhaite également exprimer ma gratitude à mon oncle Ali Kennouche, qui a été non seulement un oncle aimant mais aussi un grand frère pour moi. Ton soutien constant, tes conseils avisés et ta bienveillance ont été des sources inestimables de force et d'inspiration. Merci pour tout ce que tu as fait pour moi.

Un immense merci à mes amis et ma famille pour leur soutien indéfectible durant la période de réalisation de ce mémoire, votre encouragement a été la clé de ma réussite.

A ma binôme et sa famille et à tout moment de plaisir qu'on a passé ensemble.

*Melissa*

## *Dédicaces*

À mes chers parents,

Aucune phrase ne peut exprimer pleinement l'amour que je ressens pour vous. J'ai l'honneur d'être votre fille. Vous m'avez entourée de tendresse et d'affection. Vous m'avez toujours soutenue et encouragé tout au long de mes études. En ce jour mémorable, recevez ce travail en signe de ma profonde reconnaissance et de ma grande estime. Que Dieu Tout-Puissant vous accorde santé, bonheur et longue vie afin que je puisse, à mon tour, vous combler.

Je dédie ce projet à mon cher frère Hocine et à mes chères sœurs Eldjouher et Mélissa. Votre soutien, votre présence et vos encouragements m'ont toujours donné la force de persévérer. Vous avez été à mes côtés à chaque étape de ce parcours, et je vous en suis profondément reconnaissante.

Je souhaite également exprimer ma gratitude à mes deux tantes Ghania et Sonia pour leur soutien constant, leur bienveillance. Merci pour tout ce que.

Un immense merci à mes amis et à ma famille pour leur soutien constant tout au long de ce mémoire. Vos encouragements ont été la clé de ma réussite.

À ma chère binôme et à sa famille, merci pour les moments de plaisir partagés durant ce travail.

*Dahia*

## **LISTE DES ABREVIATIONS**

---

As : absorbance de la solution à 420nm

BP : Bas Produit

b : longueur de la cellule

CV : coefficient de variation de tous les grains qui ont un diamètre différents que l'OM

ICUMSA : International Commission for Uniform Méthodes of Sugar Analysis

GROS : Grande Raffinerie Oranaise du sucre

GRD : Grande raffinerie DAHMANI

SNFS : Syndicat national des fabricants de sucre de France

SPA : Société Par Action

UI : Unité ICUMSA

## **LISTE DES TABLEAUX**

---

---

<b>Tableau I:</b> Composition de la betterave sucrière a la récolte (pour 100g) .....	6
<b>Tableau II:</b> Composition moyenne de la canne a sucre .....	10
<b>Tableau III:</b> Composition des sucres blanc raffiné et brun par 100g de sucre .....	144
<b>Tableau IV:</b> Principales réaction de l'épuration calco-carbonique .....	21
<b>Tableau V:</b> Composition chimique des principaux produits de la canne (la bagasse et la melasse) .....	288
<b>Tableau VI:</b> Analyses physico-chimique aux cours du raffinage .....	344
<b>Tableau VII:</b> Dilutions des produits intermédiaires .....	38
<b>Tableau VIII :</b> Evolution de l'humidité au cours du raffinage du sucre .....	509
<b>Tableau IX :</b> Résultats de l'analyse de la granulométrie durent une période de 10 jours.....	51

## LISTE DES FIGURES

---

---

<b>Figure 1 :</b> La betterave sucrière .....	6
<b>Figure 2 :</b> Schéma botanique de la canne à sucre.....	10
<b>Figure 3 :</b> Structure moléculaire du saccharose .....	13
<b>Figure 4 :</b> Extraction du sucre roux de canne à sucre .....	18
<b>Figure 5 :</b> Processus de raffinage du sucre roux .....	25
<b>Figure 6 :</b> Évolution de la couleur au cours du raffinage .....	44
<b>Figure 7 :</b> Evolution du Brix au cours du raffinage .....	45
<b>Figure 8 :</b> Evolution de la polarisation au cours de raffinage .....	46
<b>Figure 9 :</b> Evolution de la pureté au cours de raffinage .....	47
<b>Figure 10 :</b> Evolution de la moyenne de ph au cours du procédé de raffinage .....	48
<b>Figure 11 :</b> Evolution de l'alcalinité du jus chaulé pendant 10 jours .....	50

# SOMMAIRE

---

---

Remerciement	
Dédicace	
Liste des abréviations	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Introduction générale.....	1
<b>Chapitre I : Généralités sur le sucre.....</b>	<b>3</b>
<b>I.1 Origine et histoire .....</b>	<b>3</b>
<b>I.2 Marché mondial du sucre.....</b>	<b>3</b>
<b>I.3 Marché algérien .....</b>	<b>4</b>
<b>I.4 Différentes sources du sucre .....</b>	<b>5</b>
<b>I.4.1 Betterave sucrière .....</b>	<b>5</b>
<b>I.4.1.1 Extraction du sucre de betterave .....</b>	<b>6</b>
<b>I.4.1.1.1 Extraction (diffusion).....</b>	<b>7</b>
<b>I.4.1.1.2 Epuration.....</b>	<b>8</b>
<b>I.4.1.1.3 Evaporation.....</b>	<b>8</b>
<b>I.4.1.1.4Cristal­lisation.....</b>	<b>8</b>
<b>I.4.1.1.5 Séchage,Stockage et conditionnement .....</b>	<b>9</b>
<b>I.4.2 Canne à sucre .....</b>	<b>9</b>
<b>I.4.2.1 Composition principale de la canne à sucre .....</b>	<b>10</b>
<b>I.4.2.2 Impuretés de la canne à sucre.....</b>	<b>11</b>
<b>I.4.2.3 Sucre roux (brut) .....</b>	<b>13</b>
<b>I.5 Sucre blanc (Saccharose) .....</b>	<b>13</b>
<b>I.5.1 Propriétés du saccharose .....</b>	<b>14</b>
<b>Chapitre II : Extraction et raffinage du sucre roux.....</b>	<b>16</b>
<b>II.1 Procédé d'extraction du sucre de canne.....</b>	<b>17</b>
<b>II.1.1 Broyage et Extraction .....</b>	<b>17</b>
<b>II.1.2 Clarification .....</b>	<b>17</b>
<b>II.1.3 Évaporation.....</b>	<b>17</b>
<b>II.1.4 Cristallisation.....</b>	<b>18</b>
<b>II.1.5 Séchage et stockage .....</b>	<b>18</b>
<b>II.2 Procède de raffinage du sucre roux.....</b>	<b>19</b>

II.2.1.1 Affinage .....	19
II.2.1.2 Refonte.....	19
II.2.2 Épuration calco-carbonique.....	20
II.2.2.1 Chaulage.....	20
II.2.2.2 Carbonatation.....	20
II.2.3 Filtration .....	21
II.2.4 Décoloration.....	22
II.2.5 Concentration.....	22
II.2.6 Cristallisation.....	22
II.2.7 Séchage .....	24
II.2.8 Stockage et maturation .....	24
II.2.9 Conditionnement .....	24
II.3 Les produits dérivés du sucre.....	26
II.3.1 Sucre roux cristallisé.....	26
II.3.2 Sucre liquide .....	26
II.3.2.1 Sucre liquide saccharose.....	26
II.3.2.2 Sucre liquide inverti .....	26
II.3.3 Sucre glace .....	27
II.4 Les sous-produits de l'industrie du sucre.....	27
II.4.1 La bagasse .....	27
II.4.2 La mélasse .....	27
II.4.3 Les écumes .....	28
Chapitre III : Matériel et méthodes .....	29
III.1 Présentation de l'entreprise .....	30
III.2 Analyse physico-chimique au cours du raffinage .....	32
III.2.1 Brix.....	32
III.2.2 Polarisation.....	32
III.2.3 Couleur .....	32
III.2.4 Pureté.....	33
III.2.5 Granulométrie.....	33
III.3 Matériel.....	34
III.4 Méthodes.....	34
III.4.1 Prélèvements et échantillonnages .....	34
III.4.2 Analyse physico-chimique.....	35
III.4.2.1 Analyse de la matière première .....	35
III.4.2.1.1 Mesure de la couleur en solution brut .....	35
III.4.2.1.2 Mesure de la polarisation du sucre brut .....	36

III.4.2.1.3	Mesure du taux d'humidité du sucre brut .....	37
III.4.2.2	Analyse des produits intermédiaires .....	38
III.4.2.2.1	Mesure du brix, de la polarisation, de la pureté et de la couleur .....	38
III.4.2.2.2	Mesure de l'alcalinité (du jus chaulé) (SNFS méthode n°19 (1999)) .....	39
III.4.3	Analyse du produit fini (Sucre blanc cristallisé) .....	40
III.4.3.1	Mesure de la couleur du sucre blanc .....	40
III.4.3.2	Mesure de la granulométrie du sucre blanc .....	41
III.4.3.3	Mesure de la polarisation du sucre blanc .....	42
Chapitre IV :	Discussion des résultats .....	43
IV.1	Evolution de la moyenne de la couleur au cours du procédé de raffinage du sucre roux .....	44
IV.2	Évolution du Brix du sucre au cours du processus de raffinage du sucre roux .....	45
IV.3	Évolution de la polarisation du sucre au cours du processus de raffinage .....	46
IV.4	Évolution de la pureté du sucre au cours du processus de raffinage .....	47
IV.5	Evolution de la moyenne de pH au cours du procédé de raffinage du sucre roux .....	48
IV.6	Evolution de de la moyenne d'humidité du sucre roux, sucre (ES), (SS) et sucre blanc au cours de raffinage .....	49
IV.7	L'évolution de l'Alcalinité durent une durent une période précise .....	49
IV .8	Qualité du sucre 1001 .....	50
IV.8.1	La granulométrie .....	50
Conclusion générale	.....	52
Bibliographie		
Annexes		

# **Introduction générale**

Le sucre, qu'il soit extrait de la betterave sucrière ou de la canne à sucre est un nutriment omniprésents dans nos cuisines et de notre alimentation quotidienne. (SSN, 2011) Bien que le sucre de canne nécessite un processus de raffinage pour devenir blanc, il reste un type de saccharose, tout comme le sucre de betterave, qui est naturellement blanc Ces sucres, sous forme de fins cristaux blancs, sont des disaccharides, composés de glucose et de fructose, (Anonyme1, 2019)

L'industrie sucrière est confrontée à des défis économiques et environnementaux croissants. L'amélioration de la qualité et de la couleur du sucre tout en maintenant des prix compétitifs est devenue une priorité majeure. Pour répondre à ces exigences, les industriels du sucre cherchent à augmenter le rendement de l'extraction du saccharose tout en minimisant l'impact sur l'environnement (Belhamri, 2005)

La production du sucre implique un processus complexe comprenant plusieurs étapes, que ce soit en sucrerie ou en raffinerie (Cartier, 1997). Ces différentes phases sont cruciales pour garantir la qualité du produit final, répondant ainsi aux normes réglementaires et aux attentes des consommateurs.

Parmi les nombreuses entreprises engagées dans ce domaine, l'entreprise Cevital se distingue par son engagement à traiter le sucre dans ses diverses formes, telles que cristallisé, liquide ou en morceaux, dans le but de présenter des produits finaux de haute qualité (Cartier, 1997). Pour ce faire, il est essentiel de maintenir le bon fonctionnement et la stabilité du processus de raffinage du sucre.

Nous avons entrepris ce travail dans le dessein de suivre le processus de raffinage du sucre au sein du complexe « Cevital » de la wilaya de Bejaia. À cette fin, nous avons réalisé des analyses physico-chimiques (la pureté, la couleur, l'humidité...) sur des échantillons prélevés à divers stades de la production.

Dans cette démarche, nous débuterons par exposer dans la première partie des notions générales sur le sucre ainsi que les diverses étapes du processus de raffinage. La seconde partie sera dédiée à la description de l'unité de production et des diverses manipulations effectuées lors des analyses physico-chimiques durant le raffinage du sucre. Par la suite, nous entamerons la discussion des résultats obtenus. Enfin, nous conclurons cette étude par une synthèse des points essentiels abordés.

# || **Chapitre I : Généralités sur le sucre**

## I.1 Origine et histoire

La canne à sucre est connue depuis la préhistoire (8000 avant JC) et serait originaire de Nouvelle-Guinée. Sa culture s'est progressivement étendue aux îles avoisinantes, puis en Chine où il atteste l'extraction de sucre de canne six siècles avant JC. La production de sucre existait en Inde 3000 ans avant Jésus Christ **(Debibakas , 2012)** .

C'est en Perse que les Arabes ont découvert « le roseau sucré » par le biais des différentes conquêtes et du développement du commerce. Au VII<sup>e</sup> siècle ils ont acclimaté la canne à sucre dans les pays méditerranéens, adopté les techniques indiennes de production de sucre et les ont affinées, les transformant alors en une grande industrie. Pendant 50ans, de la fin du XVII<sup>e</sup> siècle, au milieu des années 1700, le sucre a été considéré comme une épice de luxe et n'était destiné qu'aux classes les plus aisées. Puis au cours du siècle suivant, jusqu'en 1850 environ, le sucre a commencé à être utilisé par les classes moyennes, notamment sous l'impulsion de la Révolution industrielle et de l'élévation du niveau de vie des travailleurs. **(Belhamri, 2005)** La canne à sucre a dominé la production et le commerce du sucre pendant des siècles, mais sa part de marché a diminué au profit du sucre de betterave. **(Belhamri, 2005)** La plante dont descendent les variétés actuelles de Betteraves serait originaire du moyen-orient. Sa découverte est bien plus ancienne que la canne à sucre, puisqu'elle remonte à environ 500 avant JC**(Belhamri, 2005)**

## I.2 Marché mondial du sucre

Le marché mondial du sucre est dominé par quelques grands acteurs, dont le Brésil, l'Inde, l'Union européenne et la Thaïlande, qui sont les plus grands producteurs et exportateurs de sucre. Ces pays jouent un rôle clé dans la détermination des prix mondiaux du sucre et dans l'influence des tendances de production et de consommation dans le monde. **(OECD, 2023)**

Depuis les années 1990, certains pays qui ne produisaient pas de sucre ont construit des usines pour transformer le sucre brut en sucre blanc, et le commerce international du sucre brut est devenu actif. La canne à sucre est souvent cultivée dans de grandes exploitations comptant de nombreux travailleurs, tandis que la betterave sucrière est souvent cultivée dans

de petites exploitations familiales. De plus, la canne à sucre peut être récoltée plusieurs fois avant d'être replantée, alors que les betteraves sucrières sont plantées et récoltées chaque année. (SNFS)

Il a été confirmé que la production de sucre du Brésil augmentera considérablement entre 2023 et 2024, pour atteindre 42 millions de tonnes. En outre, de nouvelles données sur la production de sucre de la Thaïlande ont été révisées à la hausse, à environ 8,5 millions de tonnes au lieu des 7,5 millions de tonnes initialement estimées. De plus, les dernières données sur la récolte de sucre en Inde montrent de bons rendements, avec une production plus élevée que prévu qui devrait atteindre 31 à 33 millions de tonnes en 2023-2024. Les pluies tardives de novembre ont retardé le début des récoltes en Inde, mais cela a eu un impact positif sur la croissance de la canne à sucre. (OECD, 2023)

### **I.3 Marché algérien**

Le marché algérien du sucre a connu une évolution significative depuis ses débuts en 1966, avec la production et la transformation de la betterave sucrière, jusqu'à la consolidation des raffineries de sucre roux importé dans les années 1970. Cependant, des changements majeurs sont survenus en 1982 lorsque la production de betterave sucrière a été suspendue pour des raisons de rentabilité économique, limitant ainsi l'industrie sucrière au raffinage de sucre roux dans le cadre d'une entreprise publique économique appelée Enasucré (Benzohra, 2018)

En 1993, la libéralisation de l'économie algérienne a conduit à la privatisation d'Enasucré en 2007, marquant le début d'une nouvelle ère pour l'industrie sucrière algérienne. Cette privatisation a entraîné la création de nouvelles entités privées, dont le groupe Cevital, qui est devenu un acteur majeur du marché en construisant plusieurs raffineries de sucre (Benzohra, 2018)

Grâce à ses raffineries, le groupe Cevital a réussi à couvrir la majeure partie des besoins du marché local et à exporter le surplus vers d'autres pays du Maghreb, d'Afrique et de l'UE, établissant ainsi un quasi-monopole avec une part de marché de 80%. Cependant, cette domination a commencé à être remise en question à partir de 2015 avec l'entrée en production de nouvelles raffineries par d'autres groupes, marquant un changement dans la dynamique du marché (Benzohra, 2018)

Parallèlement, l'Algérie occupe une place importante sur le marché mondial du sucre en tant que cinquième plus grand importateur de sucre au monde, avec une moyenne annuelle d'environ 2,3 millions de tonnes, consolidant ainsi sa position en tant qu'acteur clé sur la scène internationale du sucre (**Ecofin, 2024**)

- Le groupe Cevital possède deux grandes raffineries de sucre en Algérie avec une capacité annuelle de raffinage dépassant les deux millions de tonne par ans (**Cevital, 2023**).
- Le groupe Berrahal possède la SPA GROS (Grande Raffinerie Oranaise du sucre) avec une capacité de production estimée à 700 000 représentent aujourd'hui un incontournable pôle de production du sucre raffiné dans l'ouest algérien(**Berrahalgroupe, 2024**).
- SPA GRD Labelle possède un atelier de raffinage avec une capacité de production de sucre blanc de 1000 tonnes par jour(**LaBelle, 2024**).

## **I.4 Différentes sources du sucre**

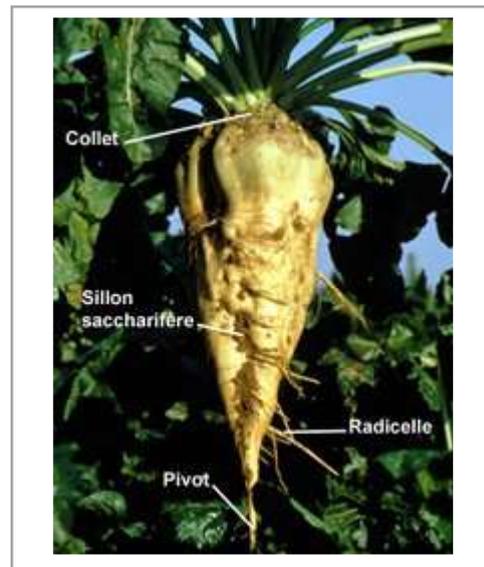
Le sucre, également connu sous le nom de saccharose, est principalement obtenu à partir de deux sources principales : la canne à sucre et la betterave sucrière. La canne à sucre est originaire des régions tropicales et fournit la majeure partie du sucre mondial. La betterave sucrière, cultivée principalement dans les climats tempérés, est également une source importante de saccharose. (**Nomblot, 2019**)

### **I.4.1 Betterave sucrière**

La betterave (Figure 1) est une plante tempérée et il en existe plusieurs variétés. Les racines contiennent 15 à 25 % de Saccharose ce qui en fait l'une des plantes les plus riches en sucre. Une tonne donne en moyenne 135 kg de sucre. La betterave sucrière est principalement cultivée dans l'hémisphère Nord.(**Cedus, 2023**)

Le cycle de la betterave sucrière dure deux ans, la production de sucre ayant lieu la première année et la reproduction végétale la deuxième année. Durant la première année, les sucres produits par la photosynthèse sont stockés sous forme de saccharose dans les cônes racinaires de la plante. Ces racines sont enfouies sous terre et atteignent une longueur de 15 à 35 cm à

maturité, et jusqu'à 20 % de leur poids dans la partie la plus gonflée est composé de sucre. Contrairement aux feuilles, qui ont une faible teneur en sucre, les racines matures contiennent une grande quantité de sucre pur. La canopée, zone de transition entre les racines et les feuilles, contient à la fois des nutriments et des sucres, mais son extraction est plus coûteuse en raison de sa composition mixte. (Arzate , 2005).



**Figure 1:** La betterave sucrière (Achat, 2022)

**Tableau I:** Composition de la betterave sucrière a la récolte (pour 100g) (Cherisey, 2010)

Composés	% brut
Marc (Pectines, Cellulose, Protéines, Minéraux )	4,2 (4-5 %)
Jus	95,8
Eau	77,3
Saccharose	16,5 (15-18 %)
Autres sucres	0,1
Sels minéraux	0,5
Substances azotés (protéines, acides aminés, bétaine)	0,9
Matières organiques non azotées (pectines, acides organiques)	0,5

### **I.4.1.1Extraction du sucre de Betterave**

Le sucre de la betterave s'obtient au terme d'un travail d'extraction. Il s'agit d'isoler le saccharose en éliminant, par étapes, les autres composants de la betterave. Pour retirer le sucre des cellules végétales, il faut le séparer des impuretés et éliminer l'eau dans laquelle le sucre est dissous. Au terme de ces opérations, le sucre est successivement extrait, purifié, concentré et cristallisé sans aucune altération ni transformation chimique(Arzate, 2005).

Le procédé d'extraction de sucre comprend principalement les opérations unitaires suivantes

#### **I.4.1.1.1Extraction (Diffusion)**

Dans cette opération, le sucre est extrait des cossettes par diffusion en utilisant de l'eau chaude (solvant) tout en limitant le transfert des impuretés dans le jus. Le phénomène de diffusion est basé sur le mouvement des molécules d'une région à concentration élevée (sucre emmagasiné dans le tissu cellulaire de la betterave) vers une autre à faible concentration (eau chaude).

La betterave à sucre est constituée de plusieurs types de cellules, dont la paroi cellulaire perméable, une membrane ectoplasmique semi-perméable, un cytoplasme complexe, un noyau et une vacuole contenant le jus cellulaire riche en sucre.

Pour extraire le sucre de la betterave, on ne peut pas simplement la broyer ou la presser. À la place, les betteraves sont coupées en fines lamelles (cossettes) et plongées dans de l'eau chaude (environ 55°C). La chaleur dénature la membrane ectoplasmique, la rendant perméable à l'eau mais non aux solutés. Cela tue les cellules et permet aux vacuoles de former un milieu continu riche en sucre à travers la paroi cellulaire perméable.

La diffusion du sucre est un processus de dialyse où le sucre et d'autres substances passent de l'intérieur des cellules à l'extérieur, tandis que l'eau entre dans les cellules par osmose, diluant la solution sucrée dans les vacuoles. Si l'osmose est trop rapide, les cellules peuvent se rompre, libérant des impuretés. Le jus extrait, légèrement acide (pH =6), contient 10-15% de sucre, représentant environ 98% du sucre des betteraves. Ce jus, initialement incolore, peut devenir noir violacé en présence d'air à cause de l'oxydation et des enzymes(Arzate, 2005).

### **I.4.1.1.2 Epuration**

L'épuration des jus de diffusion a pour but d'éliminer une partie des impuretés non solubles présentes dans le jus. Pour cela, le jus est traité avec de la chaux, ce qui provoque la précipitation des impuretés. Ensuite, une double carbonatation est réalisée en ajoutant du CO<sub>2</sub>, ce qui fait précipiter la chaux restante dans le jus. Les impuretés et la chaux précipitées sont alors séparées par filtration. Les sucreries produisent elles-mêmes la chaux et le CO<sub>2</sub> nécessaires à ce processus. Pour cela, elles utilisent un four à chaux où des pierres calcaires sont chauffées pour produire de la chaux vive et du CO<sub>2</sub>. Les impuretés filtrées, appelées écumes, sont ensuite séchées. Ces écumes, riches en calcaire, sont utilisées comme amendement en agriculture (Decloux, 2002)

### **I.4.1.1.3 Evaporation**

Le but principal de l'évaporation est de concentrer le jus épuré, contenant entre 10% et 15% de saccharose, jusqu'à obtenir un sirop proche de la saturation avec 68,5 g de matière sèche pour 100 g de sirop. Après filtration, le jus est pompé à travers des échangeurs de chaleur vers l'atelier d'évaporation, composé d'une série de chaudières successives où la pression diminue progressivement. Les premières chaudières fonctionnent sous pression élevée (125 à 130 °C) et les dernières sous pression réduite, voire sous vide (85 °C), pour éviter la caramélisation du sucre. L'évaporation se déroule en continu à travers des évaporateurs à multiple-effet, permettant de réduire la pression et la température à chaque étape. La vapeur utilisée pour chauffer le premier évaporateur est produite par l'usine, tandis que la vapeur formée dans chaque évaporateur est réutilisée pour chauffer le suivant, optimisant ainsi l'efficacité énergétique. Le dernier évaporateur est connecté à un condensateur barométrique, permettant un rendement thermique élevé. Le sirop jaune paille très dense qui sort de l'évaporateur contient environ 1% d'impuretés dissoutes et est stocké pour être cristallisé ultérieurement (Arzate, 2005)

### **I.4.1.1.4 Cristallisation**

La cristallisation sépare le sucre des impuretés restantes dans le jus concentré en plusieurs étapes appelées "jets". D'abord, le jus est chauffé et agité dans des chaudières sous vide

partiel, où de fins cristaux de sucre sont ajoutés pour déclencher la formation de nouveaux cristaux. Ensuite, le mélange, appelé "masse cuite", est refroidi dans un malaxeur pour continuer la cristallisation. Enfin, la masse cuite est centrifugée pour séparer les cristaux de sucre du liquide restant, appelé "égouts", qui contient encore du sucre et des impuretés (Decloux, 2002)

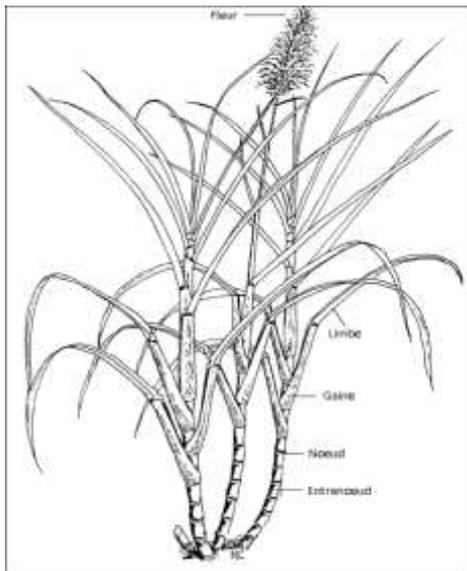
#### **I.4.1.1.5 Séchage, stockage et conditionnement**

Après avoir été séparé du jus dans les centrifugeuses, le sucre cristallisé blanc est séché et refroidi. Ensuite, il est tamisé pour enlever les particules fines, classé selon sa taille et pesé. Le sucre est ensuite dirigé vers l'atelier d'ensachage pour être emballé dans des sacs individuels, ou bien stocké en vrac dans de vastes silos qui peuvent contenir plusieurs milliers de tonnes de sucre (Decloux, 2002)

#### **I.4.2 Canne à sucre**

La canne à sucre est disponible pendant la saison sèche, lorsque sa valeur nutritionnelle est la plus élevée. En effet, le stade végétatif de la canne à sucre a lieu pendant la saison des pluies, et la maturation (accumulation de sucre) a lieu pendant la saison sèche) (Archimède, 2011) Cette plante, appartient à la famille des poacées (Anonyme2, 2017).

La canne à sucre pousse dans les régions tropicales ensoleillées et tolère les températures élevées mais pas les températures froides. La température optimale de croissance se situe entre 26°C et 33°C. (Anonyme3, 2004). La canne à sucre possède des racines denses qui s'étendent jusqu'à environ 50 cm de profondeur dans le sol, mais certaines peuvent s'étendre jusqu'à 2 à 5 mètres autour de la plante. Ces racines absorbent l'eau et les minéraux du sol pour nourrir la plante. Les tiges peuvent atteindre 2,5 à 4 mètres de hauteur et ont une écorce jaune à violette selon les variétés. Ils sont divisés en sections de 10 à 20 cm, séparées par des nœuds à partir desquels poussent les feuilles. Les feuilles sont disposées en deux rangées opposées et mesurent environ 1 mètre de long et 2 à 10 centimètres de large. Lors de la floraison, la tige forme une panicule argentée qui porte les graines (Arzate, 2005).



**Figure 2** : Schéma botanique de la canne à sucre (Soopramanien, 2000)

#### **I.4.2.1 Composition principale de la canne à sucre**

Les principaux composants de la canne à sucre sont le sucre et les fibres alimentaires. Le tableau II présente la composition moyenne de la canne à sucre. Selon la maturité de la plante, la teneur en fibres varie entre 10 % et 18 %, la teneur en humidité entre 72 % et 77 % et le saccharose entre 12 % et 16 % (Arzate, 2005).

**Tableau II** : Composition moyenne de la canne à sucre (Arzate, 2005)

<b>COMPOSANT</b>	<b>TENEUR (%)</b>
Eau	70
Fibre ligneuses	14
Saccharose	14
Impuretés	2
<b>Totale</b>	<b>100</b>

### I.4.2.2 Impuretés de la canne à sucre

Parmi les différents types d'impuretés qui affectent de manière significative la couleur du sucre, on retrouve :

#### ❖ Polysaccharides

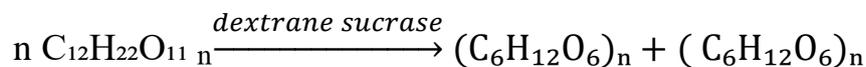
Les polysaccharides sont des polymères constitués de séquences de 10 molécules ou plus, telles :

- **L'amidon**

Il est présent dans la canne à sucre sous forme de granules insolubles de 1 à 5 µm, qui se compose de deux fractions (amylose et amylopectine) et de deux polymères de glucose, et selon la variété de la canne à sucre la quantité d'amidon que l'on trouve initialement dans la canne et finalement dans le sucre roux varie. L'amidon entrave le processus d'extraction du saccharose (Cartier, 1997).

- **Dextranes**

C'est un polysaccharide résultant d'une infection bactérienne et il est composé de polymères de glucose provenant de bactéries, notamment *Leuconostoc Mesentroides*, présentes dans le sol. Cette infection bactérienne peut survenir en raison de dommages causés à la canne à sucre lors de la récolte, du stockage dans un environnement humide ou à des températures élevées. Les dextranes sont produits par l'action d'une enzyme (la dextranesucrase), sur le saccharose (Cartier, 1997).



#### ❖ Colorants

- **Colorants naturels**

Les principaux pigments de la canne à sucre sont des pigments végétaux typiques, à savoir la chlorophylle et les flavonoïdes :

- La chlorophylle disparaît pratiquement dans les jus clarifiés, car elle n'est pas soluble dans l'eau et se décompose au cours du processus.
- Les flavonoïdes sont des composés phénoliques (les anthocyanes pour être plus précis) qui sont responsables de la pigmentation rouge et sont éliminés par sulfatation.

Les précurseurs des molécules colorantes de la canne à sucre sont composés de sucres réducteurs, d'acides aminés et d'autres composants phénoliques.

Les sucres réducteurs et les acides aminés participent uniquement à la formation des colorants lors du processus de fabrication. Lorsque la canne à sucre coupée est exposée à l'air, les polyphénols sont oxydés chimiquement ou enzymatiquement par l'augmentation du pH et de la température, produisant des polymères colorés souvent bruns ou noirs, Les colorants produits par brunissement enzymatique appartiennent à la catégorie des mélanines. Les composants phénoliques peuvent également réagir avec le fer provenant du dispositif pour former des complexes colorés (Cartier, 1997).

- **Les colorants de fabrication**

Les colorants industriels ont un poids moléculaire plus élevé que les colorants naturels. Ces colorants, produits au cours du processus de fabrication, sont responsables d'environ 70 % de la couleur du sucre roux (Cartier, 1997)

- ❖ **Les Caramels**

Le caramel est produit par pyrolyse (dégradation thermique) du saccharose. La surchauffe d'une solution sucrée produit une couleur jaune brunâtre qui augmente avec la température et le temps de chauffage. Bien que le caramel soit considéré comme neutre, il porte des charges négatives et positives (Cartier, 1997)

- **Mélanoïdine**

La mélanoïdine est un produit de la réaction de Maillard (Mathlouthi, et al., 1995), il est formé par la combinaison de sucres réducteurs ( glucose ou de fructose ) et de composés aminés, dont l'acide aminé le plus important, l'acide glutamique. La réaction de Maillard est particulièrement active lors de l'évaporation et de la cristallisation (Cartier, 1997)

## ❖ Autres impuretés

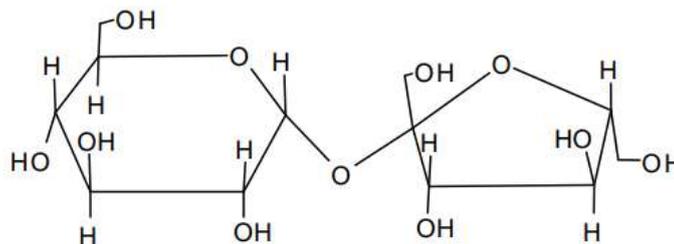
Un grand nombre d'acides organiques naturellement présents dans la canne à sucre. Et une petite quantité de protéines qui sont éliminées du jus de canne à sucre lors de la clarification (Cartier, 1997)

### I.1.2.3 Sucre roux (brut)

Le sucre roux est obtenu par un procédé d'extraction du sucre de canne, il est constitué de 95% de saccharose sous forme de cristaux ainsi que des impuretés résiduelles (sels minéraux, matières organiques et des résidus de la canne) qui lui donnent sa couleur et ses notes aromatiques (Arzate, 2005)

### I.5 Sucre blanc (Saccharose)

Le sucre blanc peut être obtenu à partir de la canne à sucre grâce à une étape de raffinage, (Arzate, 2005) ce sucre blanc est composé à 99,9 % de saccharose, ce qui en fait le plus pur. Le saccharose se forme ainsi car il est composé d' $\alpha$ -D-glucose et de  $\beta$ -D-fructose liés par des liaisons glucidiques faisant intervenir: le premier carbone de glucose et le second carbone du fructose (Raisonnier, 2002), La figure 3 représente la structure du saccharose.



**Figure 3:** Structure moléculaire du saccharose

- ❖ La différence entre le sucre roux et le sucre blanc selon la composition est présentée au Tableau III

**Tableau III:** Composition des sucres blanc raffiné et brun par 100g de sucre (Arzate, 2005)

Composant	SUCRE BLANC	SUCRE BRUN
Calories (kcal)	387	377
Eau(g)	0,02	1,77
Hydrate de carbone(g)	99,98	97,33
Calcium (g)	1	85
Cuivre (mg)	0	0,298
Fer (mg)	0,01	1,91
Magnésium (mg)	0	29
Magnésium (mg)	0	0,32
Phosphore (mg)	0	22
Potassium (mg)	2	346
Sélénium (µg)	0,60	1,2
Sodium (mg)	0	39
Zinc (mg)	0	0,18
Vitamine B1 (mg)	0	0,008
Vitamine B2 (mg)	0,019	0,007
Vitamine B3 (mg)	0	0,082
Vitamine B5 (mg)	0	0,111
Vitamine B6 (mg)	0	0,026

### I.5.1 Propriétés du saccharose

- **Solubilité**

La solubilité du saccharose dans l'eau est fondamentale pour définir la sursaturation et constitue le moteur de la croissance des cristaux de saccharose. Elle dépend de la température ainsi que de la quantité d'autres molécules dissoutes, telles que les impuretés, qui peuvent augmenter la solubilité, (Kadlec, et al., 1995)

- **Point de fusion**

Le point de fusion est l'une des mesures qui déterminent les propriétés d'une substance. On considère généralement qu'elle est de 186°C. Cependant, la présence d'impuretés, d'humidité

ou de petites quantités de saccharose amorphe peut altérer les résultats.(**Mathlouthi, et al., 1995**).

- **Inversion**

L'inversion du saccharose se produit par hydrolyse des liaisons glucidiques sous l'action d'acides à haute température ou par l'action d'enzymes. Un mélange équimoléculaire de D-glucose et de D-fructose appelé « sucre inverti » est produit (**Achat, 2022**)

- **Densité**

Le poids spécifique d'un unique cristal de saccharose est de 1,588. La densité apparente d'un ensemble de cristaux, comme une pile de sucre cristallisé, varie en fonction de la taille des cristaux et de leur distribution, en lien avec leur degré de compression. L'intervalle de variation est mince et tourne autour de 0,8. Cela signifie que la plupart des produits ont une densité totale comprise entre 0,8 et 0,9 g/cm<sup>3</sup>(**Arzate , 2005**).

## **Chapitre II : Extraction et raffinage du sucre roux**

## II.1 Procédé d'extraction du sucre de canne

Le processus de fabrication du sucre comporte généralement une série de cinq étapes (Figure 4)(Zhang, et al., 2021)

### II.1.1 Broyage et Extraction

L'extraction du jus de la canne à sucre est la première étape de la purification du saccharose. La canne à sucre est coupée très courte à l'aide d'un outil spécial appelé "coupe-canne à sucre". Ensuite, elle est broyée dans un appareil appelé "broyeur", puis dans une série de moulins, généralement de 4 à 6. Pendant ce processus, le jus de canne est extrait et récupéré sous chaque moulin (Cartier, 1997) Le jus de canne obtenu est d'abord opaque et de couleur vert grisâtre, avec une forte turbidité, car il contient beaucoup d'impuretés non sucrées. Environ 84 % de ce jus est de l'eau, tandis que 13 % est du saccharose, le sucre que nous voulons extraire. Les 3 % restants sont constitués d'impuretés non sucrées. Le pH de ce jus se situe entre 4,7 et 5,7. Une fois récupéré, le jus brut de canne est prêt à être traité pour isoler et purifier le saccharose (Zhang, et al., 2021)

### II.1.2 Clarification

Cette étape vise à éliminer un maximum d'impuretés solubles et insolubles afin d'ajuster la couleur et de réguler le pH du jus. Généralement de la chaux (CaO) et de la chaleur sont utilisés(Cartier, 1997). Cela se fait en chauffant le jus à environ 60-70°C et en ajustant le pH à 6,5-7,0(Zhang, et al., 2021). Le lait de chaux (Ca(OH)<sub>2</sub>) neutralise l'acidité naturelle du jus et forme des sels de chaux insolubles, principalement du phosphate de calcium. Le jus est ensuite transféré dans un décanteur au fond du quelle les impuretés se déposer sous forme de boues. (Cartier, 1997)

### II.1.3 Évaporation

La majeure partie de de l'eau contenue dans le jus clarifié (environ 85%) est éliminé par évaporation. Le produit obtenu par cette évaporation a une densité élevée et est appelé sirop

(valette, et al., 2007). Ce sirop atteint son dernier effet à un Brix de 65% et puis il est envoyé à l'atelier de cristallisations. (Cartier, 1997)

### II.1.4 Cristallisation

La cristallisation du sirop se produit en concentrant et évaporant le sirop au sein d'un cuiseur discontinu pour obtenir une masse cuite (sirop contenant des cristaux de saccharose), qui ensuite refroidie dans un malaxeur pour le développement des cristaux. Puis transféré dans une centrifugeuse pour éliminer l'eau et récupérer les cristaux de sucre. (Pislor, 2011)

### II.1.5 Séchage et stockage

Le sucre obtenu est séché dans un granulateur à air chaud et sec puis refroidi à sec (Pislor, 2011). Ensuite il est stocké dans des silos avant d'être consommé localement ou exporté. (Arzate, 2005).

Canne à sucre

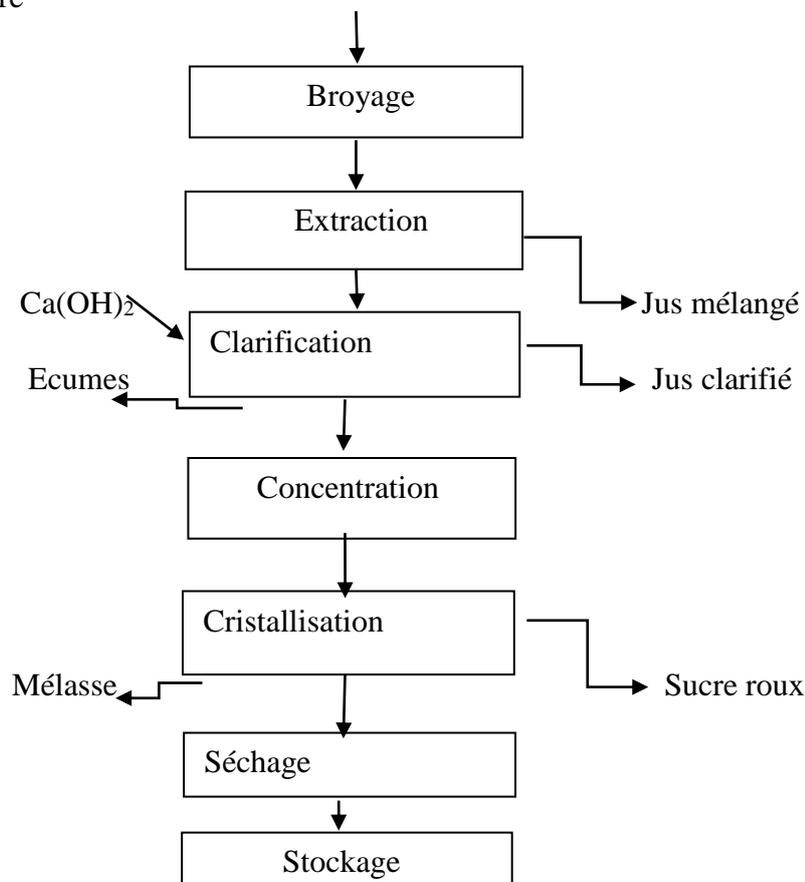


Figure 4 :Extraction du sucre roux de canne à sucre (Cartier, 1997)

## II.2 Procède de raffinage du sucre roux

Le raffinage du sucre, qu'il soit issu de la canne à sucre ou de la betterave, est un processus crucial pour obtenir un produit de haute qualité. Son objectif principal est de purifier le sucre brut en éliminant les impuretés telles que les sels inorganiques et les matières organiques (**Romain, et al., 2007**). Ce raffinage est essentiel pour produire le sucre blanc parfait et très demandé sur le marché. Pour y parvenir, le sucre brut passe par une série d'étapes de transformation dans une raffinerie. Ces étapes permettent d'éliminer les composés colorants pouvant affecter la qualité finale du produit (**Cartier, 1997**). En effet, la couleur du sucre blanc est un critère important pour les acheteurs et les consommateurs (**Cortés, 2007**).

### Affinage et refonte

#### II.2.1.1 Affinage

L'opération d'affinage, également appelée « empattage », consiste à malaxer le sucre roux avec un sirop chaud légèrement sous-saturé, produisant un magma d'affinage dont le Brix varie généralement de 80% à 85% (**Decloux , et al., 1999**). Ce processus aide à dissoudre la couche externe de cristaux de sucre où se trouvent la plupart des impuretés (**Mathlouthi , et al., 2004**).

#### II.2.1.2 Refonte

Le sucre affiné est refondu dans un fondoir avec de l'eau sucrée et chaude à 85°C (pour augmenter la solubilité du sucre), et d'une manière à avoir un brix de 70%, ce qui aboutit à la formation d'un sirop de refonte (**Asadi, et al., 2007-2002**). Ce dernier est filtré à travers un tamis pour éliminer les impuretés physiques sur les cristaux de sucre (**Decloux , et al., 1999**). Puis il est envoyé vers le bac de contact, avant de subir une épuration par chaulage et carbonatation (**Rachedi, 2002**).

## II.2.2 Épuration calco-carbonique

La carbonatation est utilisée pour éliminer les impuretés non sucrées présentes dans le jus et éventuellement retenir les particules insolubles qui pourraient passer accidentellement lors de la refonte. Ces particules sont souvent trop petites pour être arrêtées par les séparateurs et les filtres. Ainsi, en combinant la chaux avec le dioxyde de carbone, on obtient un précipité de  $\text{CaCO}_3$  qui capture, précipite, agglomère et élimine les impuretés non sucrées ( **Burzawa , 1999**)

### II.2.2.1 Chaulage

Le lait de chaux, composé d'un mélange de chaux industrielle et du petit jus provenant de la filtration, est une solution essentielle dans le processus de raffinage du sucre. Ce petit jus est spécifiquement utilisé car la chaux se dissout plus efficacement dans une solution sucrée, ce qui permet de réduire la quantité d'eau nécessaire dans le procédé. Le mélange de chaux et de petit jus est réalisé avec précaution pour éviter la décantation de la chaux, assurant ainsi un processus homogène et efficace ( **Rachedi, 2002**)

Le sirop résultant est combiné avec le lait de chaux dans des réacteurs de carbonatation, à ce niveau, il est appelé « jus chaulé » ( **Decloux , et al., 1999**)

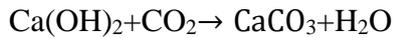
### II.2.2.2 Carbonatation

La carbonatation joue un rôle essentiel dans le processus de raffinage du sucre. Elle intervient lorsque le jus sucré contient à la fois du sucre et des impuretés, visant à nettoyer et purifier le liquide. Ce processus commence par la précipitation de la chaux sous forme de carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ), qui attire et absorbe les impuretés présentes. Dans une chaudière dédiée, le jus chaulé est mélangé avec du dioxyde de carbone pour optimiser la réaction. Maintenir un pH entre 11,10 et 11,20, ainsi qu'une alcalinité et une température spécifiques, est crucial pour obtenir un produit final purifié de haute qualité ( **Decloux, 2002**).

#### ○ Première carbonatation

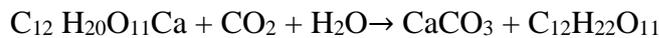
La première carbonatation sert à éliminer l'excès de chaux dans le jus en formant du  $\text{CaCO}_3$ , qui adsorbe les impuretés, notamment les colorants provenant de la dégradation des produits

de sucre inverti. Pour cela, le jus chaulé est chauffé puis saturé de dioxyde de carbone, réagissant ainsi selon l'équation ( **Mathlouthi, 2001** ) :



○ **Deuxième carbonatation**

La deuxième carbonatation vise à éliminer la majeure partie du calcium encore présent en solution dans les sirops provenant de la première carbonatation ( **Burzawa, 1999**). Cette réaction est résumée comme suit :



**Tableau IV:** Principales réaction de l'épuration calco-carbonique ( **Chen , 1993**)

Préparation de laitde chaux	CaO + H <sub>2</sub> O → Ca(OH) <sub>2</sub> + énergie Chaux                      Lait de chaux
Chaulage	Ca (OH) <sub>2</sub> +C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub> → C <sub>12</sub> H <sub>20</sub> O <sub>11</sub> Ca H <sub>2</sub> O Saccharose      Saccharate
1èr et 2 <sup>ème</sup> carbonatation	C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub> Ca+CO <sub>2</sub> +H <sub>2</sub> O→CaCO <sub>3</sub> +C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub> + énergie (Carbonate de calcium)

**II.2.3 Filtration**

La filtration est une étape essentielle du processus de production de sucre. Elle vise à éliminer le carbonate de calcium en suspension dans le sirop carbonaté et à récupérer le petit jus ( **Bounie, 2003** ) . Pour ce faire, le sirop passe à travers des filtres à bougie, tels que le filtre EXOFALC, afin d'obtenir un jus clair et de retenir les impuretés précipitées par la chaux et adsorbées sur le carbonate de calcium ( **Bounie, 2003**). Au cours de la filtration, les particules déposées forment une précouche qui épaisse progressivement pour former un "gâteau" ( **Rachedi, 2002**).Les filtres sont ensuite nettoyés pour récupérer la boue, qui est passée à travers un filtre-presse pour obtenir un petit jus utilisé dans la préparation du lait de chaux ( **Rachedi, 2002**)Les écumes récupérées peuvent être utilisées comme engrais ( **Hamachi, et al., 2003**).

### II.2.4 Décoloration

Les colorants du sucre, souvent des macromolécules, ont un comportement d'acides faibles, avec des chaînes carbonées hydrophobes et une extrémité hydrophile (**Theoleyre , et al., 1999**) , L'objectif de la décoloration est double : éliminer la coloration optique et supprimer les molécules colorables ou précurseurs de colorants ( **Punidades, 1990**)

La décoloration fait souvent appel à des adsorbants comme les résines, de plus en plus utilisées en raffinerie pour leur efficacité, leur simplicité d'utilisation et leur coût avantageux (**Arzate , 2005**) . Parmi ces adsorbants, les échangeurs anioniques fortement basiques, généralement sous forme de chlorure, sont couramment employés en sucrerie en raison de leur faible capacité d'échange ( **Punidades, 1990**)

Lorsque ces résines sont saturées, elles sont régénérées avec une saumure alcaline (10% Na CL, 0,5% Na OH). Dans ce processus, l'eau quitte la résine par osmose, entraînant avec elle les composés fixés (**Decloux, 2007**) .

### II.2.5 Concentration

L'étape cruciale de la concentration du sirop, visant à atteindre un Brix de 70%, est essentielle pour faciliter la cristallisation du sucre (**Mathlouthi, 2004**). Grâce à l'évaporation contrôlée dans l'évaporateur, le sirop, initialement à 58% de Brix, atteint 72% de Brix à la sortie (**Hugot, 1987**). Cette étape subtile, où l'eau est éliminée, aboutit à un sirop d'une pureté remarquable de 93%, prêt pour le processus de cristallisation (**Mathlouthi, 2004**).

### II.2.6 Cristallisation

La cristallisation permet de séparer les impuretés du saccharose, transformant le sirop en cristaux de sucre et d'extraire le saccharose en solution dans le jus concentré, laissant les impuretés concentrées dans le liquide pour obtenir une solution résiduelle épuisée à la fin ( **Mathlouthi, 2001**).

## ❖ Cristallisation des Haut-Produits (HP)

La cristallisation du sucre s'effectue dans des Chaudière à cuite, L'eau s'évapore sous vide à environ 70°C, économisant de l'énergie et empêchant la caramélisation du sucre (**Arzate , 2005**).

La cristallisation fractionnée du sucre se déroule en trois étapes principales, chacune comprenant la cuisson, le malaxage et l'essorage (**Decloux, 2002**).

Le sirop utilisé pour le premier jet de cristallisation est appelé « liqueur standard », et ensemble avec les cristaux formés, il forme ce qu'on appelle la « masse cuite ». Cette masse cuite comprend le sirop qui entoure les cristaux, connu sous le nom d'eau mère, car il nourrit les cristaux. Lors de l'essorage, l'eau mère autour des cristaux devient ce qu'on appelle l'« égout pauvre », tandis que l'eau utilisée pour laver le sucre dans la centrifugeuse constitue l'« égout riche » (**Mathlouthi, 2001**).

### 1. Cuisson

Le sirop d'alimentation du premier jet, connu sous le nom de « liqueur standard », est introduit dans les cuites pour sa cristallisation (**Mathlouthi, 2001**). Lors de cette étape, le sirop est chauffé sous vide pour évaporer une partie de l'eau jusqu'à atteindre le point de saturation (**Cartier, 1997**). Ensuite, un mélange de fines de sucre et d'alcool isopropylique (**Libelle, 2010**), appelé semence, est injecté dans le sirop vierge pour amorcer la cristallisation (**Cartier, 1997**). Une fois les germes formés, le vide de l'appareil à cuire est cassé et le mélange obtenu, la masse cuite, est coulé dans le malaxeur (**Cevital, 2010**).

### 2. Malaxage

Le malaxage consiste à agiter la masse cuite après la cuisson et avant de la passer aux turbines, dans le but de compléter la formation des cristaux et d'épuiser la liqueur mère (**Hugot, 1987**).

### 3. Turbinage (essorage)

Une fois la masse cuite coulée, elle passe à travers les turbines pour séparer les cristaux de sucre de l'eau mère (égout), assurant ainsi un maximum de cristaux homogènes à partir d'un sirop bien concentré, Après essorage dans les turbines, on obtient un sucre blanc de premier

jet « Jet1 », avec des égouts riches et des égouts pauvres. L'égout riche est recyclé tandis que l'égout pauvre est envoyé pour produire un sucre de deuxième jet « Jet2 » et ainsi de suite (**Decloux, 2003**). Enfin, le sucre obtenu est envoyé au séchage, tandis que l'égout recyclé permet la réalisation de trois jets (**Rachedi, 2002**).

### ❖ Cristallisation des bas-Produits (BP)

La cristallisation des bas produits utilise les résidus de la cristallisation des hauts produits, principalement des égouts 3 (**Romain, et al., 2007**).

La première étape de ce processus génère le sucre A, qui peut être soit séché pour être consommé sous forme de cassonade, soit fondu pour être réutilisé dans le raffinage. Les jets B et C sont des étapes d'épuisement supplémentaires. Après centrifugation, l'effluent final, la masse cuite C, contient des quantités égales de sucre non recristallisé et de substances non sucrées, appelées mélasse (**Romain, et al., 2007**).

## II.2.7 Séchage

Le sucre cristallisé blanc, provenant du premier jet, est transporté vers un séchoir alors qu'il est encore chaud (45 à 60°C) et présente un taux d'humidité de 1%. Il est ensuite soumis à un processus de séchage à l'air chaud, utilisant des cylindres, des séchoirs rotatifs ou des lits fluidisés, puis refroidi afin de réduire ce taux à des valeurs entre 0,03 et 0,06% (**Mathlouthi, et al., 2004**).

## II.2.8 Stockage et maturation

Après le processus de séchage, le sucre est entreposé dans des silos pendant 48 heures pour favoriser sa maturation. Il est essentiel que cette phase se déroule dans des conditions optimales, avec une ventilation adéquate permettant d'éliminer tout excès d'humidité de la surface du sucre (**Decloux, 2003**).

## II.2.9 Conditionnement

Après maturation, le sucre est tamisé trié, pesé avant d'être dirigé vers les ateliers de conditionnement, où il peut être ensaché immédiatement ou conservé en vrac. Le sucre prévu pour le stockage en silos présente un aspect sec et fluide (**Romain, et al., 2007**).

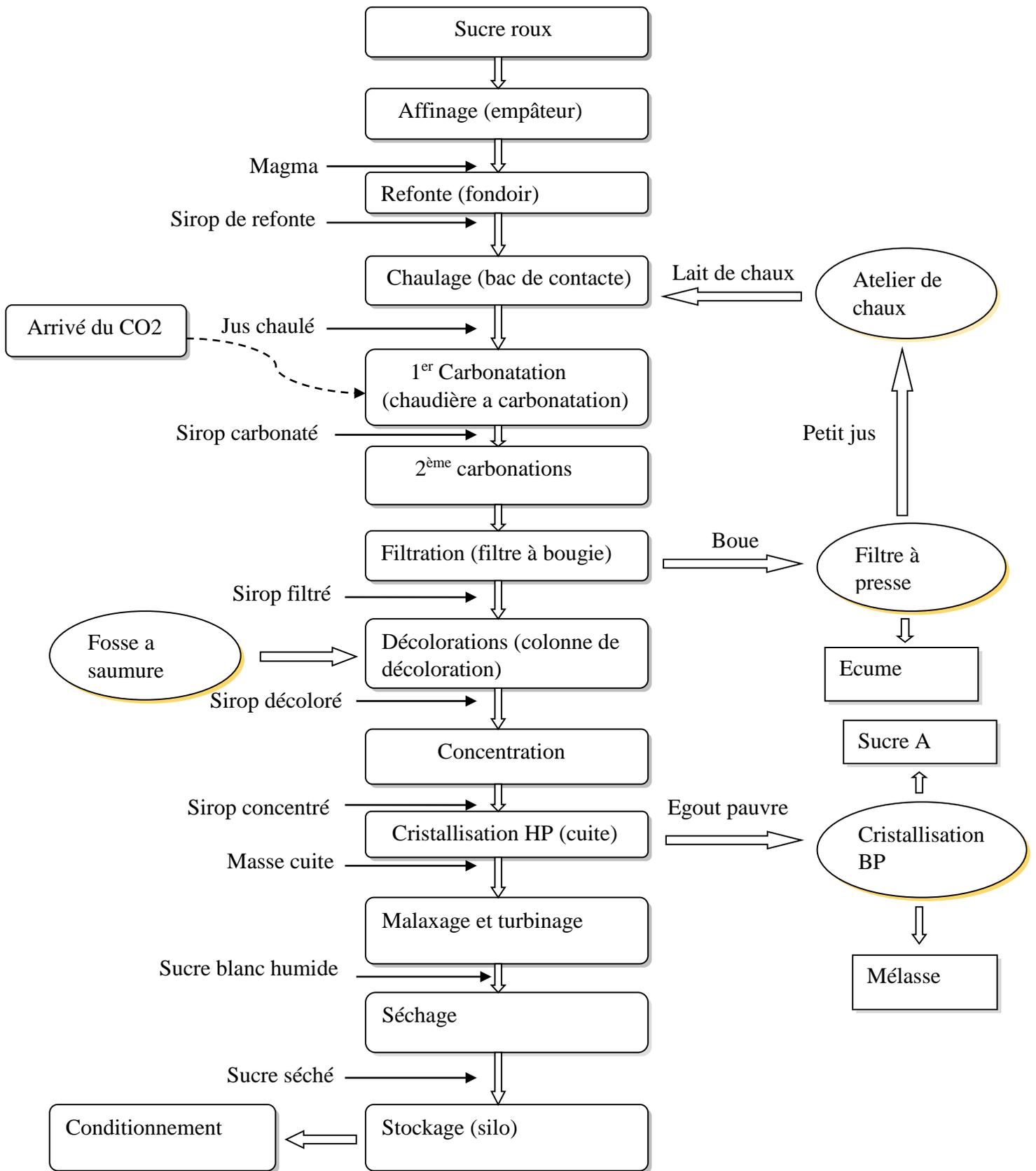


Figure 5 :Processus de raffinage du sucre roux (Cevital)

## **II.3 Les produits dérivés du sucre**

### **II.3.1 Sucre roux cristallisé**

Le sucre roux cristallisé de canne de la raffinerie de Cevital Agro est obtenu après plusieurs étapes : évaporation, cristallisation, mélange, séchage et stockage. Ce sucre, moins raffiné et encore avec un peu de mélasse, a un goût spécial rappelant la réglisse, ce qui le rend unique pour cuisiner. Pour le conserver au mieux, il faut le garder dans un endroit propre, à température ambiante, avec une humidité relative de 65% maximum à 20°C. Il vaut mieux éviter les changements brusques de température et le contact avec l'humidité. Sa date limite d'utilisation optimale est de 2 ans après la date de conditionnement. (Anonyme4)

### **II.3.2 Sucre liquide**

#### **II.3.2.1 Sucre liquide saccharose**

Le sucre liquide est obtenu à partir du sirop décoloré de la raffinerie de sucre, subissant ensuite un processus rigoureux de déminéralisation, de polissage sur charbon actif, de pasteurisation, de filtration stérilisante et de concentration. En résulte un sucre liquide saccharose qui présente plusieurs avantages. De plus, il est plus pur, avec un indice ICUMSA maximum de 35, garantissant ainsi une qualité supérieure. Il est composé à 100 % de Saccharose. (Anonyme5)

#### **II.3.2.2 Sucre liquide inverti**

Le sucre liquide inverti est le résultat d'un processus simple mais efficace : l'hydrolyse acide du sucre saccharose. Tout d'abord, son pouvoir sucrant est supérieur à celui du saccharose, avec une concentration de sucre de 5% de plus. Il diminue les risques de cristallisation, assurant ainsi une texture plus lisse et homogène dans vos produits finis. En ce qui concerne sa composition, le sucre liquide inverti se compose de 33% fructose, 33% glucose et 34% Saccharose. (Anonyme6).

### II.3.3 Sucre glace

Le sucre glace est obtenu à partir de cristaux de sucre blanc moulus en poudre très fine (**Bonjean, 2022**). Pour le conserver au mieux, stockez-le dans un endroit sec et propre, à température ambiante, et évitez les variations de température ainsi que tout contact avec l'humidité. Ces conditions préservent sa qualité pour des utilisations optimales. (**Anonyme7**)

## II.4 Les sous-produits de l'industrie du sucre

Les principaux sous-produits de l'industrie du sucre sont la mélasse et la bagasse, La mélasse est utilisée principalement pour la fabrication d'alcool (**Anonyme3, 2004**)

### II.4.1 La bagasse

La bagasse est un résidu fibreux issu de l'extraction du jus des tiges de canne à sucre, donnant environ 300 kg de matière sèche par tonne de canne à sucre broyée (**Archimède, et al., 2011**). Il est principalement utilisé comme source d'énergie pour les sucreries et constitue la partie la plus « pauvre » des sous-produits de la canne à sucre (**Sabatier, 2014**), Sa composition chimique varie selon la partie (entière, fibre ou pulpe) et l'origine géographique.

### II.4.2 La mélasse

La mélasse est un précieux sous-produit de l'industrie sucrière (**Zhang, et al., 2021**) résultant de la cuisson du jus de canne. Elle se compose principalement de sucre non cristallisé, avec environ 40 à 60 % de sucres, principalement du saccharose (Tableau V) (**Archimède, et al., 2011**). Environ trois quarts de sa composition solide sont constitués de sucre. De plus, elle contient des sucres réducteurs tels que le D-glucose et le L-fructose, ainsi que des éléments non sucrés tels que des cendres, de la matière organique azotée et diverses autres substances (**Delgado, et al., 2011**). Avec environ 25 % d'eau, la mélasse est un aliment hautement énergétique (**Archimède, et al., 2011**), propice à la fermentation grâce à sa richesse en sucre et à ses propriétés probiotiques favorisant la croissance microbienne (**Delgado, et al., 2011**).

**Tableau V** : La composition chimique des principaux produits de la canne (la bagasse et la mélasse) (Archimède, et al., 2011)

	<b>Bagasse</b>	<b>Mélasse</b>
Matière sèche (MS)	50-70	72-76
Matière organique/MS		
Minéraux/MS		14-16
Matière azotée totale/MS	2-4	4-5
Neutral Détergent Fibre/MS	86-88	
Acide Détergent Fibre/MS	54-56	
Acide Détergent Lignine/MS	9-11	
Neutral Détergent Soluble/MS		73-75

MS : Matière sèche

### II.4.3 Les écumes

Les écumes de sucrerie sont un produit important de la fabrication du sucre. Elles sont le résidu de la filtration de la boue issue de la décantation du jus de canne (Conrozier, et al., 2020). Ces écumes, qui contiennent entre 50 et 70 % de matière sèche et environ 12 % de matière organique (Grison), sont utilisées pour enrichir les sols agricoles. Elles sont riches en éléments nutritifs tels que l'azote, le phosphore et le calcium (Conrozier, et al., 2020) et ont également une teneur en carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ) de 36% et en chaux ( $\text{CaO}$ ) de 26%, avec une valeur neutralisante de 24 %. Ces éléments sont essentiels pour aider les plantes à pousser. De plus, les écumes de sucrerie contribuent à prévenir l'acidification des sols grâce à leur pH basique d'environ 9. Elles sont bénéfiques pour les cultures car elles améliorent la structure des sols, favorisent la minéralisation et accélèrent la décomposition des résidus organiques. En résumé, les écumes de sucrerie sont un moyen efficace de rendre les sols fertiles et de favoriser la croissance des plantes (Grison).

## || **Chapitre III : Matériel et méthodes**

### III.1 Présentation de l'entreprise

Cevital agro-industrie, filiale du groupe Cevital a été créé en 1998, implantée au sein du port de Bejaïa est une entreprise privée algérienne et un acteur majeur du secteur agro-alimentaire.

Elle dispose de plusieurs unités de production ultramodernes :

- 2 raffineries de sucre
- 1 unité de sucre liquide
- 1 raffinerie d'huile
- 1 margarinerie
- 1 unité de conditionnement d'eau minérale
- 1 unité de fabrication et de conditionnement de boissons rafraîchissantes
- 1 conserverie
- 1 unité de fabrication de chaux calcinée

L'entreprise <sup>22</sup>possède également des silos portuaires ainsi qu'un terminal de déchargement portuaire d'une capacité de 2000 tonnes/heure ce qui en fait le premier terminal de déchargement portuaire en Méditerranée.

Cevital Agro-Industrie conçoit des produits de qualité supérieure à des prix compétitifs, grâce à ses installations performantes, son savoir-faire, son contrôle strict de qualité et son réseau de distribution. Elle couvre les besoins nationaux et a permis de faire passer l'Algérie du stade d'importateur à celui d'exportateur pour les huiles, les margarines et le sucre. Ses produits se vendent dans plusieurs pays, notamment en Europe, au Maghreb, au Moyen Orient et en Afrique de l'Ouest. (Agro-industrie et Distribution, 2024). Cevital donne une grande importance à la satisfaction des clients par un bon control de qualité de ses produits, pour cela, elle dispose de cinq laboratoires :

- **Laboratoire de Recherche et Développement** : Impliqué dans l'innovation et l'amélioration des produits dans différents secteurs comme l'agroalimentaire et les biens de consommation.
- **Laboratoire d'Analyse Qualité** : Responsable de garantir la conformité des produits fabriqués par Cevital aux normes de qualité et de sécurité.

- **Laboratoire Environnemental** : Dédié à l'analyse et à la gestion environnementale, assurant que les opérations de l'entreprise respectent les normes environnementales.
- **Laboratoire de Chimie** : Focalisé sur la recherche et le développement de nouvelles formulations chimiques pour divers produits et industries.
- **Laboratoire de Contrôle des Procédés** : Chargé de surveiller et d'optimiser les procédés de production pour maximiser l'efficacité et la qualité des produits

Durant tout le processus de raffinage du sucre roux, un suivi physicochimique est effectué afin d'assurer une bonne qualité du sucre et pour détecter toutes anomalies qui peuvent se produire durant le processus. Dans chaque étape du raffinage, de la réception de la matière première au produit fini des échantillons sont prélevés et analysés.

## III.2 Analyse physico-chimique au cours du raffinage

### III.2.1 Brix

Le Brix représente le pourcentage de matière sèche (MS) dans une solution par rapport au volume total de la solution (VS). Il est calculé en utilisant la formule suivante (AFISUC, 2002).

$$\text{Brix}(\%) = \frac{\text{Quantité de matière sèche}(\text{g}) \times 100}{\text{Quantité de solution}(\text{g})}$$

$$\text{Brix} = \left( \frac{\text{MS} \times 100}{\text{VS}} \right) + \text{eau}$$

### III.2.2 Polarisation

La concentration en saccharose d'une solution est évaluée par polarimétrie, à l'aide d'un polarimètre thermostaté à 20°C. Cette méthode repose sur le fait que l'angle de rotation de la lumière polarisée est proportionnel à la concentration en saccharose dans la solution (decloux, 2002). La polarisation d'une solution de sucre est le rapport entre la quantité de sucre présente dans la solution et le volume total de la solution. Habituellement exprimée en pourcentage, elle se calcule selon la formule (AFISUC, 2002).

$$\text{Polarité} = \frac{\text{quantité de sucre}(\text{g})}{\text{quantité de solution}(\text{g})}$$

Où :  $\text{Quantité de solution} = (\text{MS}) + (\text{NS}) + (\text{E})$

Avec :  $\text{MS} = \text{S} + \text{NS}$

Sachant que :

m(MS) : masse de la matière sèche

m(NS) : masse des non sucré

m(E) : masse d'eau

m(S) : masse de sucre

### III.2.3 Couleur

La colorimétrie est le processus de mesure de la coloration en solution, réalisé à l'aide d'un spectrophotomètre UV/VIS. Ce processus repose sur la réduction de la densité lumineuse d'un

faisceau monochromatique traversant la solution à analyser. Pour évaluer la couleur des solutions sucrées, la méthode officiellement adoptée par l'ICUMSA utilise une longueur d'onde spécifique de  $\lambda$  420 nm  $\pm$  0,2 (ICUMSA, 1994).

$$\text{couleur ICUMSA} = \frac{1000 \cdot A_s}{b \cdot c}$$

$A_s$  : absorbance de la solution à 420nm

$b$  : longueur de la cellule

$c$  : concentration (g/ml) de la solution de sucre

### III.2.4 Pureté

La pureté d'une solution est déterminée en grammes de saccharose pour 100 grammes de matière sèche (grammes S/100g MS), calculée à partir des données de polarisation et de Brix (Decloux, 2002). Elle est typiquement exprimée en pourcentage selon la formule suivante :

$$\text{Pureté} = \frac{Q_s(\text{g}) \cdot 100}{\text{MS}(\text{g})}$$

$Q_s$  : quantité de sucre.

MS : matière sèche

La pureté du sucre cristallisé est habituellement supérieure à 99,9%, avec le reste principalement composé d'eau (Mathlouthi, 2002)

Il est également souligné que ni la dilution ni la concentration d'une solution n'influent sur sa pureté (AFISUC, 2002).

### III.2.5 Granulométrie

La granulométrie du sucre blanc est évaluée selon la méthode officielle numéro 7 de la SNFS (SNFS, 2000). Cette méthode vise à mesurer la taille et la variabilité des cristaux de sucre. Pour ce faire, le sucre étudié est passé à travers une série de tamis dans des conditions spécifiques, puis le sucre retenu dans chaque tamis et dans le fond est pesé. Les résultats sont ensuite analysés à l'aide d'un logiciel qui fournit les caractéristiques de la granulométrie.

OM : ouverture moyenne des grains

CV : coefficient de variation de tous les grains qui ont un diamètre différent que l'OM

Les fines

### III.3 Matériel

L'étude des paramètres a nécessité un matériel et des méthodes d'analyses de référence pour les sucres, en utilisant les méthodes ICUMSA (International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis) (ANNEXE I)

### III.4 Méthodes

#### III.4.1 Prélèvements et échantillonnages

Notre étude a été menée au niveau de la raffinerie du sucre Cevital. Notre objectif principal était de suivre l'évolution des paramètres physico-chimique tout au long du raffinage du sucre brute au sucre cristallisé (1001). Le prélèvement des échantillons se fait comme suit :

- La matière première : Les échantillons de la matière première sont prélevés à l'arrivée du sucre roux et avant le début du raffinage.
- Le prélèvement du sucre cristallisé (1001) s'effectue chaque heure en remplissant un pot de sucre au niveau du tapis A1001.
- Au cours du raffinage : Les prélèvements sont effectués chaque deux heures, le sucre sous forme de sirop est recueilli dans des pots.

**Tableau VI:** Analyses physico-chimiques au cours du raffinage

Produit Analyse	Sucre brut (SB)	Sirop de refonte (SR)	Jus chaude	Sirop filtre (SF)	Sirop décoloré (SD)	Liqueurs standards (LS)	Sucre blanc (1001)
Polarisation	•	•		•	•	•	•
Brix		•		•	•	•	
Pureté		•			•	•	
Couleur	•			•	•	•	•
Humidité	•						•
Granulométrie							•
Ph		•	•	•	•	•	•
Alcalinité			•				

### III.4.2 Analyse physico-chimique

#### ❖ Mesure du pH (SNFS méthode n°17 (1999))

La mesure du pH des sirops et du sucre blanc en solution avec un pH mètre est un processus méticuleux. Après un rinçage minutieux, les électrodes sont immergées dans la solution à analyser avec leur niveau d'électrolyte interne légèrement surélevé par rapport à la solution. Cette disposition garantit un contact optimal avec la solution. Pendant la mesure, la solution est agitée pour assurer une distribution uniforme des ions hydronium. Une fois immergées, les lectures des électrodes se stabilisent progressivement. Le temps de réponse du pH dépend de plusieurs facteurs, notamment de la résistance interne de l'électrode, de l'agitation et du renouvellement de la solution autour de l'électrode, ainsi que du temps nécessaire pour que la température interne de l'électrode se stabilise. Ce protocole rigoureux garantit des mesures précises et fiables du pH des solutions étudiées.

#### III.4.2.1 Analyse de la matière première

##### III.4.2.1.1 Mesure de la couleur en solution brut (Méthode GS 1-7, 1994)

###### 1) Principe

Le sucre brut est dissous dans l'eau distillée, la solution est filtrée à travers une fine membrane filtrante pour éliminer le trouble, la solution est ajustée au  $\text{pH} = 7 \pm 0,1$  par l'ajout de fine gouttelette de solution de NaOH 0,1N ou de HCl 0,1N.

Avec un spectrophotomètre UV visible l'absorbance de la solution filtrée est mesurée à 420nm dans une cuve en quartz d'un trajet optique de 1 cm. Le brix de la solution est déterminé puis la couleur est calculée à partir de la formule incluse dans le logiciel Cléopâtre.

La concentration et la longueur de la cellule sont choisies pour obtenir une transmittance dans l'intervalle allant de 20 à 80%.

###### 2) Mode opératoire

- ❖ Préparer une solution sucrée de  $(30 \pm 0,1)$  g de sucre et  $(70 \pm 0,1)$  g d'eau

- ❖ Dissoudre le sucre à température ambiante manuellement ou à l'aide d'un agitateur mécanique.
- ❖ Ajouter à la solution une cuillère de terre infusoire (la silice), filtrer la solution à analyser sous vide à travers une membrane filtrante (0,45µm)
- ❖ Ajuste le pH du filtrat à 7 après avoir nettoyé et sécher l'électrode
- ❖ On mesure l'absorbance de la solution à l'aide d'un spectrophotomètre à une longueur d'onde de 420nm, en utilisant la cellule de 1 Cm
- ❖ Mesurer la matière sèche par réfractométrie (MSR) de la solution à  $\pm 0,1$  g/100g près
- ❖ La cellule de mesure doit être propre et les parois (que traverse le faisceau lumineux) doivent être claires et nettes. Rincer la cellule avec la solution de sucre avant de la remplir (éviter les bulles d'air)

### **III.4.2.1.2 Mesure de la polarisation du sucre brut (ICUMSA Méthode GS 1/2/3/9-1, 2011)**

#### **1) Principe**

Cette méthode mesure la rotation optique normale de sucre brut. La polarisation est exprimée en  $Z^\circ$  de l'échelle saccharimétrique internationale.

#### **2) Mode opératoire**

- ❖ Peser avec précision  $26,000 \pm 0,002$  g de sucre roux aussi vite que possible dans une fiole de 100 mL séchée.
- ❖ Transférer ce sucre dans une fiole volumétrique de 100 mL rincée à l'eau distillée sans dépasser un volume voisin de 70 mL.
- ❖ Dissoudre complètement par agitation manuelle ou en utilisant un agitateur mécanique.
- ❖ Ajouter une masse d'acétate de plomb basique. Mélanger la solution par agitation douce, ajouter de l'eau distillée au-dessous du trait de jauge, s'il y a formation de bulles d'air, ajouter quelques gouttes d'alcool ou d'éther.

- ❖ Ajuster la température de la solution de sucre à 20°C en la mettant dans un bain d'eau environ 15 à 20 minutes.
- ❖ Sécher la paroi interne du col de la fiole avec du papier filtre, et ajuster le volume de la solution exactement au trait de jauge avec de l'eau à 20°C avec une pipette de transfert.
- ❖ Boucher la fiole et mélanger la solution en secouant énergiquement à la main
- ❖ Laisser reposer la solution pendant 5 minutes, puis filtrer à travers un filtre plissé contenant de la terre infusoire.
- ❖ Lire la valeur de la polarisation à l'aide d'un polarimètre

### **III.4.2.1.3 Mesure du taux d'humidité du sucre brut (ICUMSA GS 2/1/3/9-15 (2007))**

#### **1) Principe**

La méthode est basée sur un séchage des échantillons à 105°C jusqu'à stabilisation du poids dans une étuve atmosphérique (105°C) suivi par refroidissement dans des conditions normalisées.

#### **2) Mode opératoire**

- ❖ Sécher le récipient couvercle ouvert à l'étuve à 105°C pendant au moins 30 min.
- ❖ Refroidir au dessiccateur jusqu'à température ambiante.
- ❖ Peser aussi rapidement que possible  $m_1$  à  $\pm 0,0001$ g.
- ❖ Mettre aussi rapidement que possible 20 à 30 g d'échantillon, remettre le couvercle et peser  $m_2$  à  $\pm 0,0001$ g l'épaisseur ne doit pas dépasser 1 cm.
- ❖ Remettez le récipient ouvert à l'étuve pendant 3 heures.
- ❖ Assurer qu'il n'y a pas de perte physique de sucre
- ❖ Replacer le couvercle et refroidir dans un dessiccateur jusqu'à température ambiante.
- ❖ Peser  $m_3 \pm 0,0001$ g

### ❖ Expression des résultats

Les résultats sont exprimés de manière spécifique.

$$\text{humidite} = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} * 100$$

$m_1$  : masse de récipient et son couvercle.

$m_2$  : masse de l'échantillon avant séchage.

$m_3$ : masse de l'échantillon après séchage.

#### III.4.2.2 Analyse des produits intermédiaires

Des échantillons seront prélevés de chaque étape du processus de raffinage du sucre. Chacun de ces échantillons sera analysé en utilisant des dilutions variables, telles qu'indiquées dans le tableau VII

**Tableau VII : Dilutions des produits intermédiaires**

Produit	Dilution pour le brix	Dilution pour la polarisation	Dilution pour la coloration
Magma (MG)	1/5	1/5	1/5
Sirop de refonte (SR)	1/5	1/5	1/5
Sirop filtré (SF)	1/5	1/5	1/5
Les sirops décolorés (SD)	1/5	1/5	1/5
Sirop concentré (SC)	1/5	1/5	1/5
Les liqueurs standard (LS)	1/10	1/10	1/10

#### III.4.2.2.1 Mesure du brix, de la polarisation, de la pureté et de la couleur (SNFS méthode n°41 (2001))

##### 1) Principe

Il s'agit de déterminer les analyses applicables sur les produits légers et lourds après épuration. Le principe est la mesure des différents paramètres (brix, polarisation et pureté) par

les mêmes méthodes décrites au préalable, en plus de l'utilisation de dilutions pour assurer des résultats précis et fiables.

## 2) Mode opératoire

Pour chaque échantillon de sirop prélevé :

- Peser entre 50 g et 60 g.
- Diluer à un rapport de 1 pour 5 avec un dilueur (et 1/10 pour les LS).
- Après agitation pour assurer l'homogénéité, la solution est filtrée à travers des membranes filtrantes, particulièrement pour le sirop de refonte.
- Prélever 100 mL du filtrat pour la mesure du Brix à l'aide d'un réfractomètre, effectuée à une température de 20°C.
- Parallèlement, prélever une autre quantité de 100 mL est versé dans un polarimètre pour déterminer la polarisation.
- Grâce à ses résultats on peut calculer la pureté avec la loi suivante

$$\text{Pureté} = \frac{\text{polarisation}}{\text{brix}} * 100$$

- La couleur est déterminée pour un filtrat au pH=7,7 ± 0,2. Une lecture au spectrophotomètre UV/VIS dans une cellule en quartz de 1 cm à une longueur d'onde de 420 nm. Pour éliminer toute réfraction provenant de l'eau une lecture de référence avec de l'eau osmosée est réalisée.

### III.4.2.2.2 Mesure de l'alcalinité (du jus chaulé) (SNFS méthode n°19 (1999))

#### 1) Principe

La détermination de l'alcalinité des jus de sucrerie est essentielle pour contrôler la présence de chaux libre ajoutée ou résiduelle tout au long du processus d'épuration. Ce contrôle est également pertinent pour d'autres substances alcalines telles que le NaOH ou le KOH. Ce dosage s'applique à une variété de jus, y compris ceux pré chaulés, chaulés, carbonatés, sulfités et décalcifiés. Même les sirops peuvent être soumis à cette analyse, à condition qu'ils soient dilués au même niveau de brix que les jus avant l'évaporation.

Cependant, en raison des variations de comportement de la chaux en fonction de la température et de la concentration, des précautions doivent être prises pour assurer la comparabilité des mesures. Par conséquent, les mesures d'alcalinité deviennent des mesures conventionnelles qui peuvent différer plus ou moins de la définition théorique

## 2) Mode opératoire

- Prélever 20 mL de jus convenablement homogénéisé et refroidi et mettre dans la cuve de titrage.
- Titrer avec une solution acide jusqu'à pH 8.0.

### ❖ Expression des résultats

L'alcalinité est exprimée en g de CaO par litre de jus :

$$\text{alcalinité} = \text{chute de burette}$$

La burette contenant l'acide (HCl) N/14 indiquera, en divisant par 10 le volume du titrage (ml utilisés, l'alcalinité en g de CaO par litre

## III.4.3 Analyse du produit fini (Sucre blanc cristallisé)

### III.4.3.1 Mesure de la couleur du sucre blanc (ICUMSA GS 2/3-9 (2005))

#### 1) Principe

Le sucre blanc est dissous dans l'eau ; la solution est filtrée sur une membrane filtrante, ensuite son absorbance est mesurée à une longueur d'onde de 420 nm et sa couleur est calculée.

#### 2) Mode opératoire

- ❖ Peser 50g de sucre blanc et ajuster à 100 mL avec de l'eau distillée
- ❖ Dissoudre le sucre, puis filtrer à travers une membrane filtrante de 0,45µm de porosité.
- ❖ Récupérer le filtrat dans un bécher propre et sec.
- ❖ Ajuster le pH de la solution à environ 7.

- ❖ Rincer la cellule avec la solution sucrée avant de la remplir (éviter les bulles d'air en l'introduisant dans un bain à ultrasons).
- ❖ Lire l'absorbance de la solution à 420 nm dans une cellule de 5 cm.

### **III.4.3.2 Mesure de la granulométrie du sucre blanc (SNFS méthode n°7(2000))**

#### **1) Principe**

La méthode implique le passage du sucre à travers une série de tamis selon des conditions spécifiques, permettant ainsi de peser le sucre retenu dans chaque tamis ainsi que celui restant au fond. Cela évalue la distribution granulométrique et l'uniformité des cristaux de sucre

#### **2) Mode opératoire**

- Sécher les tamis dans une étuve à 60°C
- Laisser refroidir et les peser vide (La tare).
- Disposer les tamis de bas en haut dans l'ordre croissant d'ouverture d'Homogénéiser et subdiviser l'échantillon.
- Continuer la subdivision jusqu'à l'obtention d'un poids de 80 à 100g.
- Placer sur le tamis supérieur la prise d'essai et tamiser 15 min
- Peser ensuite successivement les quantités de sucre restant sur chacun des tamis puis sur le fond plein.
- Déterminer les poids cumulés des quantités passant par les tamis en commençant par le fond.

#### **❖ Expression des résultats**

Détermination par la méthode graphique :

Sur un papier millimétrique on porte en ordonné les poids cumulés et en abscisse la taille des mailles en millimètre.

Le point d'intersection de la droite avec l'ordonnée 50 définit l'ouverture moyenne (OM) c à d la dimension ou 50% de sucre en poids se trouve au-dessus de cette dimension, 50% au-dessous.

Le coefficient de variation (CV) ou indice dispersion autour de l'ouverture moyenne (OM) est donné par la formule

$$CV = (100) * \frac{(abscisse 84\%) - (abscisse 16\%)}{2 * (OM)}$$

Ce coefficient est d'autant plus petit que le grain est plus régulier

### III.4.3.3 Mesure de la polarisation du sucre blanc (ICUMSA GS 2/3-1 (2011))

#### 1) Principe

La rotation optique des solutions de sucres blancs est déterminée par la somme algébrique de l'effet majeur de la teneur en saccharose et de celui produit par les autres constituants optiquement actifs en traces.

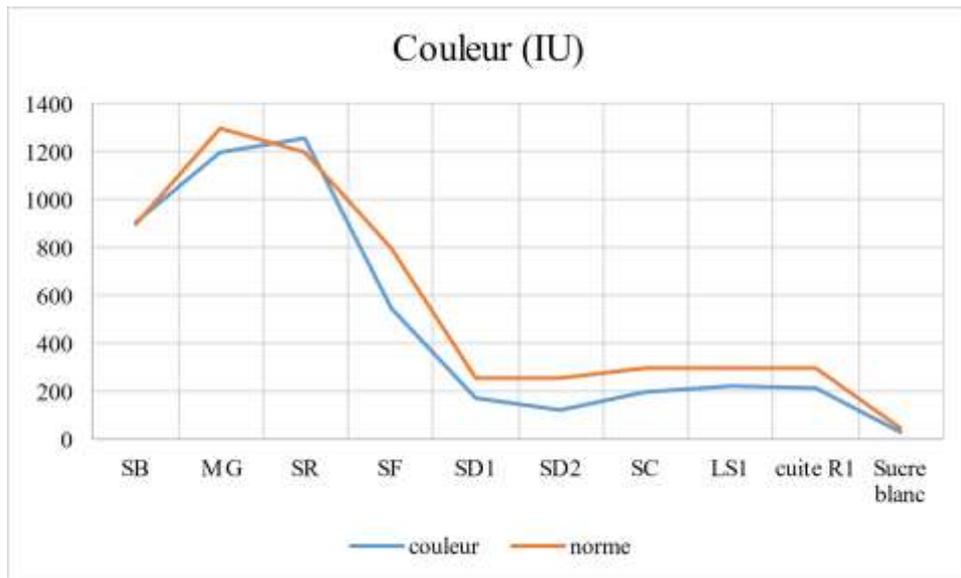
#### 2) Mode opératoire

- Peser  $26,000 \pm 0,001$  g de sucre blanc dans une fiole de 100 mL séchée et pesée ( $m_1$ )
- Ajouter environ 60 mL d'eau distillée, boucher la fiole.
- Ajuster la température de la solution de sucre à 20°C en la mettant dans un bain d'eau environ 20mn.
- Sécher la paroi interne du col de la fiole avec du papier filtre, et ajuster le volume de la solution exactement au trait de jauge avec de l'eau à 20°C avec une pipette de transfert.
- Sécher l'extérieure de la fiole et la peser à une précision de  $\pm 0.001$ g ( $m_2$ )
- Boucher la fiole et mélanger la solution en secouant énergiquement à la main
- Vérifier le zéro du polarimètre, et rincer le tube du polarimètre au moins 3 fois avec le filtrat

## **|| Chapitre IV : Discussion des résultats**

### IV.1 Evolution de la moyenne de la couleur au cours du procédé de raffinage du sucre roux

La couleur joue un rôle essentiel dans le processus de raffinage du sucre blanc, car la coloration du sucre brut influe sur la couleur finale du sucre blanc, plus la couleur du sucre roux est intense, moins le sucre final sera blanc. La figure ci-dessous présente comment la couleur évolue en moyenne tout au long du processus de raffinage à travers chaque étape



**Figure 6 :** Évolution de la couleur au cours du raffinage

Dans le processus de raffinage du sucre, chaque étape est minutieusement contrôlée pour atteindre des normes spécifiques de couleur, assurant ainsi la qualité du produit final. Le sucre brut (SB) initial, avec une couleur moyenne de 901 ICUMSA, légèrement au-dessus de la norme de 900 ICUMSA de Cevital, marque le début du processus. En formant le magma à 1195 ICUMSA, le sucre passe à travers plusieurs étapes où la couleur est surveillée et ajustée.

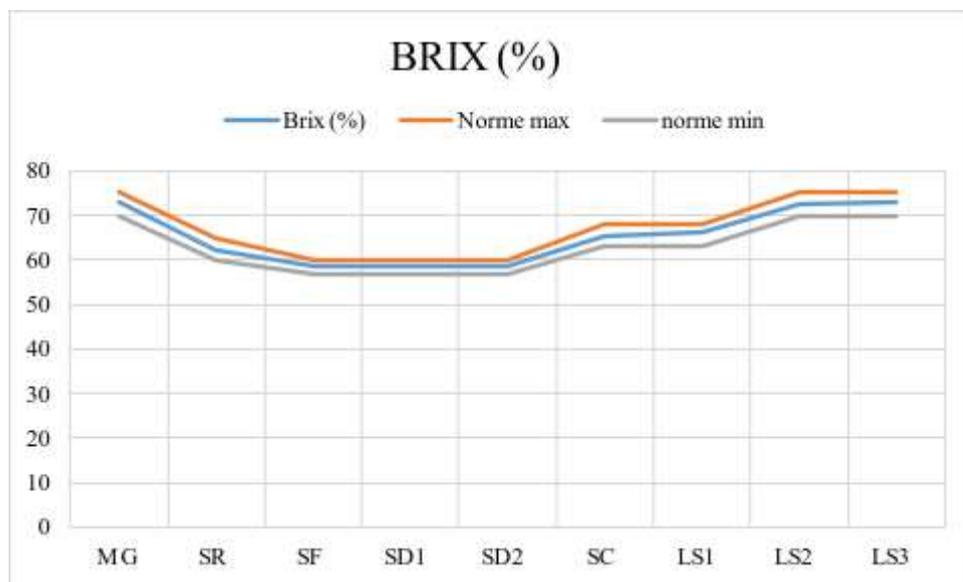
Le sirop de refonte, atteignant environ 1251 ICUMSA, montre une légère augmentation due à la concentration des impuretés dissoutes. Pendant que le sucre passe à travers les filtres et les étapes de décoloration la couleur diminue progressivement. La masse cuite, ou LS1, réduit la couleur à environ 210 ICUMSA, se rapprochant des exigences pour un sucre de qualité.

Enfin, après le turbinage, le sucre blanc final présente une couleur remarquablement basse de 27 ICUMSA, bien en dessous de la norme de 45 ICUMSA pour le sucre très blanc. Chaque

étape du processus de raffinage vise à dépasser les normes établies, garantissant ainsi que le sucre produit soit non seulement blanc, mais aussi de haute qualité et conforme aux standards rigoureux de l'industrie

## IV.2 Évolution du Brix du sucre au cours du processus de raffinage du sucre roux

Les données sur l'évolution moyenne du Brix, de la polarisation et de la pureté des échantillons, collectées tout au long du processus de raffinage, sont illustrées dans la figure 7



**Figure 7:** Evolution du Brix au cours du raffinage

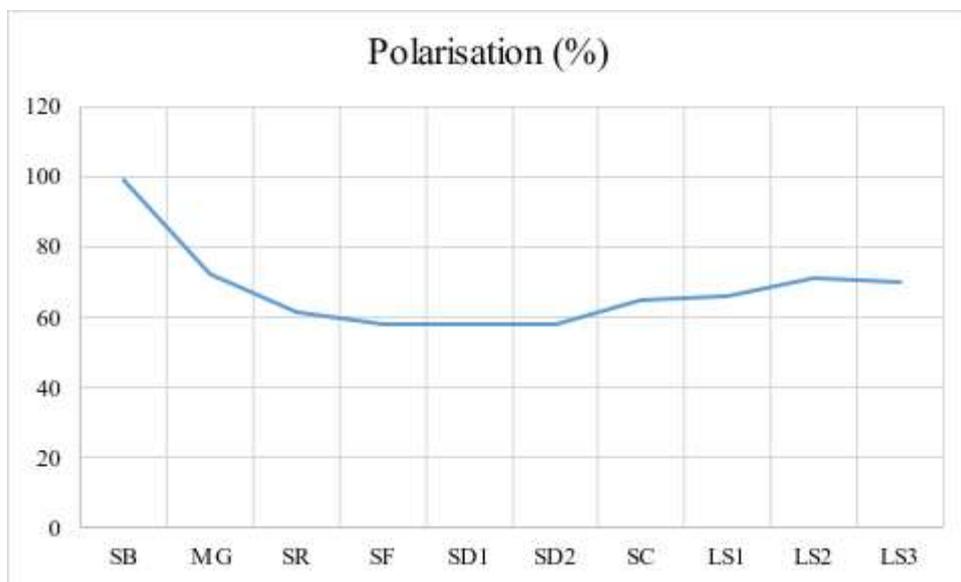
L'analyse du Brix tout au long du processus de raffinage du sucre révèle des variations significatives qui influencent la qualité du produit final. Initialement, le sucre brut présente un Brix de 72,88% dans le magma, légèrement en dessous de la norme maximale de 75%. Cette concentration diminue considérablement à 62,22% dans le fondoir, où l'ajout d'eau chaude facilite la dissolution des cristaux de sucre, une étape critique pour le processus.

Au stade du sirop filtré, le Brix moyenne de 58,51% marque une nouvelle baisse due à la carbonatation, processus nécessaire mais qui dilue davantage la concentration de solides solubles. Les étapes suivantes de décoloration maintiennent le Brix relativement stable, avec

des valeurs moyennes de 58,52% pour SD1 et 58,44% pour SD2, grâce à l'efficacité de la résine échangeuse d'ions qui retient les impuretés.

Lors du passage au sirop concentré, le Brix augmente de manière significative à 65,14%, indiquant une concentration accrue des solides solubles avant la cristallisation. Cette phase est cruciale pour assurer la formation de cristaux de sucre de haute qualité. Les liqueurs standards LS1, LS2 et LS3 montrent une augmentation progressive du Brix, reflétant une concentration croissante des solides solubles conforme aux normes de qualité.

### IV.3 Évolution de la polarisation du sucre au cours du processus de raffinage



**Figure 8:** Evolution de la polarisation au cours de raffinage

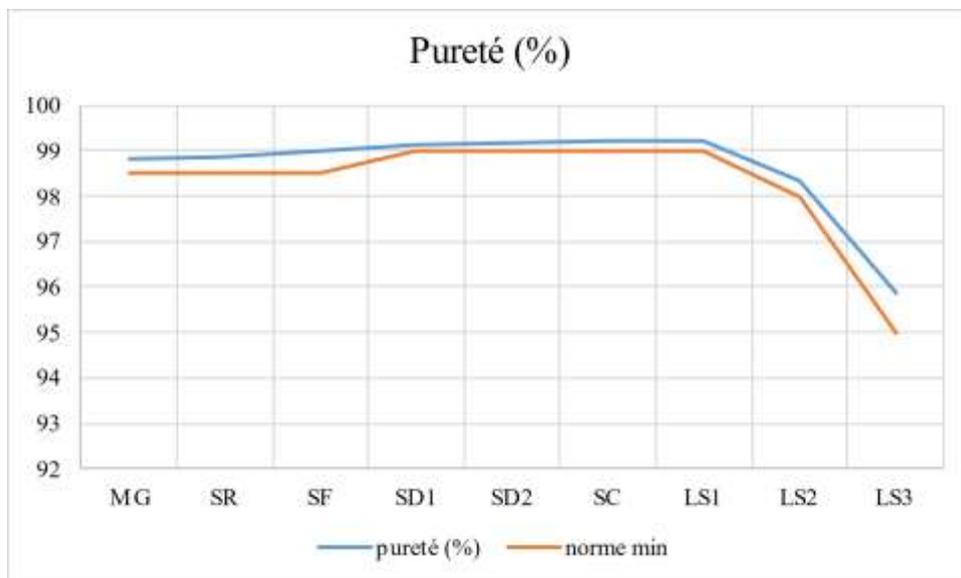
Le sucre brut (SB) initie le processus de raffinage avec une forte polarisation de 99,09 °Z, indiquant une concentration élevée de saccharose dans la matière première. L'ajout d'eau au refondre fait chuter cette polarisation à 61,28% pour le sirop de fonte (SR). Après la filtration et la décoloration, la polarisation diminue davantage pour atteindre 57,96% avec l'ajout de lait de chaux à l'épuration, expliqué par l'augmentation du volume de la solution et la réduction du rapport saccharose/volume de la solution.

L'évaporation dans les concentrateurs réduit le volume de la solution, augmentant ainsi la polarisation à 64,61%. Ces observations concordent avec l'évolution moyenne du Brix observée précédemment.

Pour les liqueurs standards LS1, LS2 et LS3, on observe une augmentation graduelle de la polarisation avec le Brix. Cela indique une concentration croissante en saccharose conforme aux normes de qualité. Par exemple, LS1 montre une polarisation plus élevée que LS2 et LS3.

#### IV.4 Évolution de la pureté du sucre au cours du processus de raffinage

La figure 9 représente l'évolution de la pureté du sucre au cours du raffinage durant un suivi de 10 jours



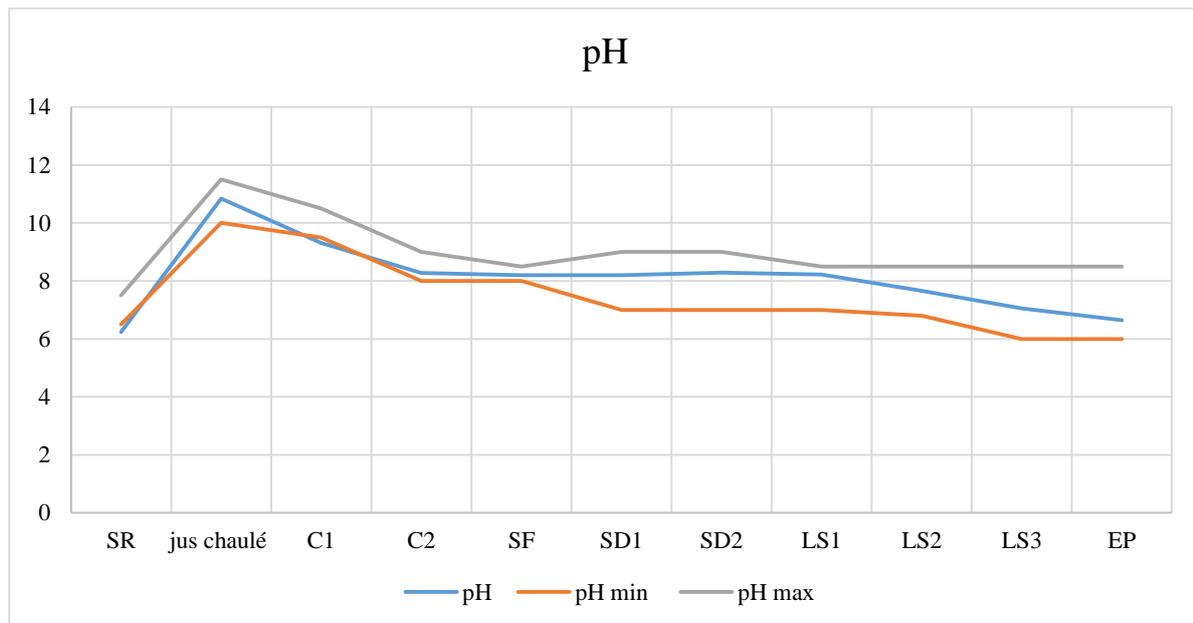
**Figure 9** :Evolution de la pureté au cours de raffinage

Au cours du processus de raffinage du sucre, la pureté évolue à travers différentes étapes critiques, mesurée par le pourcentage de saccharose dans le produit final. Le magma initial présente une pureté de 98,806%, qui augmente légèrement à 98,993% dans le sirop de refonte. Après la filtration pour éliminer les impuretés superficielles et les pigments colorés, la pureté atteint 99,122%. Suite à la concentration, elle se rapproche des normes pour le sucre blanc avec une pureté de 99,196%. À son pic, la pureté culmine à 99,203% au stade de LS1. Cependant, cette tendance positive s'inverse par la suite LS2 montre une légère diminution à

98,505%, et LS3 chute significativement à 91,181%, reflétant l'épuisement progressif du saccharose dans les étapes finales du processus.

#### IV.5 Evolution de la moyenne de pH au cours du procédé de raffinage du sucre roux

La Figure 10 illustre comment le pH évolue pendant le processus de raffinage du sucre roux,



**Figure 10 :** Evolution de la moyenne de pH au cours du procédé de raffinage

Les données de la figure 8 montrent que les valeurs de pH des sirops respectent les normes requises. Initialement, le pH du sirop de fonte (SR) est en dessous de la norme de 6,5, puis augmente à 11,12 après le processus de chaulage. Cette augmentation est due à l'ajout de lait de chaux (qui a un pH de 10,83). Ensuite, lors de la première carbonatation, le pH descend à 9,13 pour éliminer les impuretés. Après une deuxième carbonatation, le pH diminue encore à 8,28.

Le pH du sirop filtré est légèrement inférieur à la norme minimale de 8,19 en raison de l'élimination des substances basiques lors de la filtration. Le pH du sucre filtré reste stable grâce à la filtration de carbonate de calcium, puis augmente progressivement avec SD1 et SD2 en raison du rinçage de la résine avec de la saumure. Enfin, le pH diminue à mesure que l'on

passé de LS1 (8,22) à LS3 en raison de la présence d'impuretés acides dans les égouts récupérés et l'hydrolyse du sucre.

#### IV.6 Evolution de la moyenne d'humidité du sucre roux, sucre (ES), (SS) et sucre blanc au cours de raffinage

Le Tableau VIII montre l'évolution de la moyenne de l'humidité dans différents types de sucre (sucre brut, sucre entrée du sécheur, sucre sortie du sécheur, sucre blanc) tout au long du processus de raffinage

**Tableau VIII** : Evolution de l'humidité au cours du raffinage du sucre

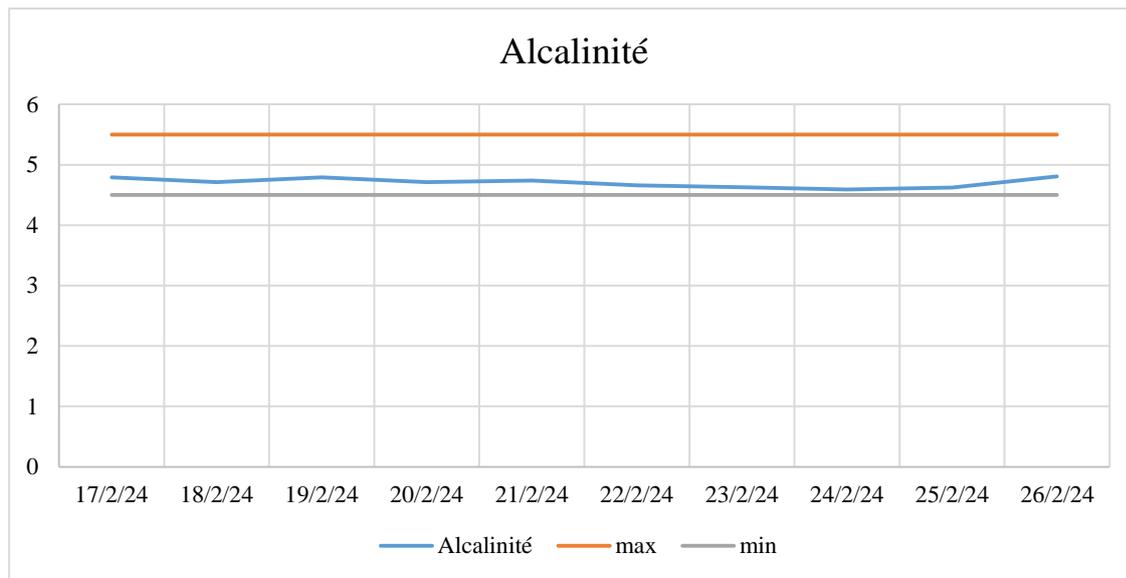
	Résultats	Norme
<b>Sucre brute</b>	<b>0,0898</b>	<b>0.150</b>
<b>Sucre entrée du sécheur</b>	<b>0,1599</b>	
<b>Sucre sortie du sécheur</b>	<b>0,0196</b>	
<b>Sucre blanc</b>	<b>0,0188</b>	<b>0.04</b>

Dans le processus de raffinage du sucre, la gestion précise de l'humidité est essentielle pour maintenir la qualité du produit à chaque étape. Initialement, le sucre roux présente une faible humidité de 0,089%, respectant largement la norme maximale de 0,150% pour le sucre brut. À l'entrée du sécheur, l'humidité augmente légèrement à 0,159% en raison de l'ajout contrôlé d'eau nécessaire au processus.

Cependant, après l'évaporation dans le sécheur, l'humidité chute drastiquement à un minuscule 0,0196%, bien en dessous de la norme de 0,044% pour le sucre blanc. Ce faible taux d'humidité est crucial car il garantit la stabilité et la qualité optimale du sucre final, assurant ainsi sa conservation et répondant aux standards rigoureux de l'industrie alimentaire.

#### IV.7 L'évolution de l'Alcalinité durent une durent une période précise

L'alcalinité est un paramètre qui est mesuré pour le jus chaulé (obtenue après chaulage du sirop de fonte). La figure montre l'évolution de l'alcalinité du jus chaulé durant une période de 10 jours.



**Figure 11 :** Evolution de l'alcalinité du jus chaulé pendant 10 jours

La figure 11 indique que les niveaux d'alcalinité du jus chaulé se situent dans les limites minimale et maximale requises pendant une période déterminée. Ce paramètre est étroitement surveillé pour évaluer la quantité de chaux libre restante dans la solution, c'est-à-dire celle qui n'a pas encore réagi.

## IV .8 Qualité du sucre 1001

### IV.8.1 La granulométrie

La granulométrie du sucre est un paramètre essentiel pour assurer sa qualité et son uniformité. Elle est évaluée à travers trois mesures clés : l'Ouverture Moyenne (OM), qui représente la taille typique des cristaux, le Coefficient de Variation (CV), qui indique la distribution des cristaux, et des particules fines qui peuvent affecter la texture du sucre.

**Tableau IX:** Résultats de l'analyse de la granulométrie durent une période de 10 jours.

	<b>Ouverture moyenne</b>	<b>Coefficient de variation %</b>	<b>Fine %</b>
<b>Moyenne</b>	<b>0.6397</b>	<b>36.015</b>	<b>1.228</b>
<b>Norme</b>	<b>0.45-0.80</b>	<b>Max 40</b>	<b>Max 5</b>

Les résultats du Tableau IX montrent que l'ouverture moyenne (OM) du sucre est de 0,6397, ce qui est conforme à la norme de 0,45 à 0,80 pour ce paramètre. Cela indique une taille de cristal appropriée pour diverses utilisations industrielles et alimentaires, assurant une qualité constante du produit.

Le coefficient de variation (CV) de 36,015% est légèrement en dessous de la norme maximale de 40%, démontrant une uniformité acceptable dans la taille des cristaux de sucre. Cela est essentiel pour garantir une production fiable et prévisible, répondant aux exigences des processus industriels et alimentaires.

La faible présence de particules fines à 1,228% est bien en deçà de la limite maximale de 5%, ce qui confirme la propreté du sucre et sa qualité adaptée aux normes strictes de l'industrie. Cela garantit également une performance optimale lors de l'utilisation du sucre dans diverses applications.



# **Conclusion générale**

Au terme de notre stage dans laboratoire 3000 tonnes physico-chimie du complexe CEVITAL à Bejaia, les analyses réalisées sur le sucre roux, les produits intermédiaires et le sucre blanc ont montré que le sucre produit est de haute qualité. Les tests sur l'humidité, la couleur, la pureté et la polarisation ont confirmé que tous ces paramètres respectent les normes ICUMSA et les standards de CEVITAL.

Le processus de raffinage, comprenant des étapes comme la carbonatation et l'échange ionique, a prouvé son efficacité pour éliminer les impuretés et améliorer la couleur du sucre. Les produits intermédiaires, comme les sirops et les liqueurs standards, ont également été conformes aux normes, garantissant ainsi une qualité constante tout au long de la production.

L'analyse finale du sucre blanc a révélé une faible humidité et une absence totale d'impuretés physiques, assurant un produit fini de très bonne qualité. Ces résultats montrent que le processus de production chez CEVITAL est bien maîtrisé et que l'entreprise est capable de fournir un sucre blanc répondant aux attentes des consommateurs ainsi qu'aux exigences et normatives du marché. Ainsi, le sucre blanc produit par CEVITAL se distingue par sa pureté et sa qualité, affirmant la position de l'entreprise comme un acteur fiable et compétitif dans l'industrie agroalimentaire .



# **Bibliographie**

**Anonyme1.** C'est quoi, en fait, le sucre blanc ? sans sucre siil vous plait. 2019[En ligne]  
[Citation : 10 5 2024.].<https://sanssucresilvousplait.com/cest-quoi-en-fait-le-sucre-blanc/>

**Anonyme2.** Fiche technico-économique pour la culture de la canne à sucre. juin 2017.

**Anonyme3.** 103 Filière Canne à sucre.doc. juillet 2004.

**Anonyme4.** cevital. [En ligne] <https://www.cevital-agro-industrie.com/nos-produits-b2b/sucre-roux-cristallise/>.

**Anonyme5.** cevital. [En ligne] <https://www.cevital-agro-industrie.com/nos-produits-b2b/sucre-liquide-saccharose-67-brix/>.

**Anonyme6.** cevital. [En ligne] <https://www.cevital-agro-industrie.com/nos-produits-b2b/sucre->

**Anonyme7.** cevital. [En ligne] <https://www.cevital-agro-industrie.com/nos-produits/sucre-glace/>.

## A

**Achat, Sabrina. 2022.** Technologie du sucre,des fruits et légumes et des céréales. 2022.

**AFISUC. 2002.** cristal . 2002. pp. 1-15.

**Archimède, Harry . 2011.** La canne à sucre et ses co-produits dans l'alimentation animale.  
Novembre 2011.

**Arzate , Alfa. 2005.** Extraction et raffinage du sucre de canne. Saint-Norbert d'Arthabaska,  
centre de recherche de développement et de transfert technologique en acériculture : s.n., 25  
novembre 2005.

**Asadi, M et Rachedi, N 2002. 2007-2002.** Beet-Sugar Handbook. 1ère édition [éd.] John  
Wiley & Sons Inc. Hoboken, New Jersey : s.n., 2007-2002. p. 884.

**AGRO-INDUSTRIE ET DISTRIBUTION.**cevital. [En ligne]  
2024.<https://www.cevital.com/cevital-agro-industrie/>.

**B**

**Belhamri, Rachida. 2005.** EXTRACTION DES MACROMOLECULES PARIETALES DES EAUX DE PRESSE DE BETTERAVES SUCRIERES Etude de leur composition, de leurs propriétés physico-chimiques et de leur effet sur le process sucrier. 25 Février 2005.

**Benzohra, Benyoucef. 2018.** The sugar sector in ALGERIA in the context of globalization. 2018. pp. 10-17.

**Bounie, D. 2003.** Cours de technologies industrielles : l'usine agroalimentaire". 2003. p. 42.

**Burzawa , E. 1999.** Rappel des bases de l'épuration calco-carbonique. Reims : s.n., 1999. pp. 7-10. **Bonjean, Marie-Charlotte Rivet. 2022.** Les différents types de sucres. [En ligne] 11 3 2022. [Citation : 24 4 2024.] <https://www.lanutrition.fr/les-differents-types-de-sucres>.

**Berrahalgroup.2024** [En ligne].<https://berrahalgroup.com/filiale/gros/>.

**C**

**Cartier, Stéphanie. 1997.** APPLICATION DES PROCEDES MEMBRANAIRES. 8 décembre 1997.

**Cedus.** le sucre de A à Z. Paris :2023 .

**Cevital, Spa. 2010.** Manuel de Connaissances Générales. M.C.G. 2010.

**Chen , J.C.P Chou C. 1993.** Cane Sugar Handbook : A Manual for Cane Sugar Manufacturers and Their Chemists. [éd.] John Wiley & Sons Inc. New York : s.n., 1993.

**Cherisey, Hugues. 2010.** PANORAMA ET POTENTIEL DE DEVELOPPEMENT DES BIORAFFINERIES. 19 OCTOBRE 2010.

**Conrozier, Rémi, et al. 2020.** fiches matériel organique -écume fraîche de sucrerie. 2020.

**Cortés, A R. 2007.** Direct white sugar production. Optimization and chemical regeneration of fixed-bed activated carbon adsorbers.2007. p. 133.

**Cevital.** 2023 [En ligne].<https://www.cevital-agro-industrie.com/nos-produits-b2b/sucre-blanc-raffine/>

**D**

**Debibakas , Sarah. 2012.** Impact de la diversité génétique du Sugarcane yellow leaf virus sur les déterminismes de résistance de la canne à la feuille jaune. 21 novembre 2012.

**Decloux , M, Tatoud , L et Messad, A. 1999.** Rétenion des impuretés de refonte de sucre roux de canne par filtration tangentielle. 1999.

**Decloux. 2002.** Techniques de l'ingénieur. Procédés de transformation en sucrerie (partie1). 2002. pp. 1-18.

**Decloux, Lameloise M.L& M. 2007.**Les membranes en sucrerie et distillerie - Applications récentes et en développement. Massy, France : AgroParisTech, 2007. p. 22.

**Decloux, Martine. 2003.**Procédés de transformation en sucrerie (partie 2). 2003. pp. 12-16.

**Delgado, De Antonio Valdes et Casanova, Carlos de Armas. 2011.** Sugar Processing and By-products of the Sugar Industry. 2011.

**E**

**Ecofin. 2024.**Agence ecofin. [En ligne] 25 Janvier 2024. <https://www.agenceecofin.com/agro/2501-115581-algerie-tafadis-s-allie-a-lamericain-reasol-pour-lancer-un-projet-integre-de-production-de-sucre>.

**G**

**Grison, Jacques.** écumes de sucrerie . teroes. [En ligne] <https://www.tereos.re/de-la-canne-au-sucre/co-produits-canne>.

**H**

**Hamachi, M, Gupta , B.B et Ben-Aim , R. 2003.** Ultrafiltration: a means for decolorization of cane sugar Solution. 2003.

**Hugot, E. 1987.** La sucrerie de canne : carbonatation. s.l., France : Tec & Doc, Lavoisier, 1987.

**I**

**ICUMSA. 2007.**méthode GS 2/1/3/9-15. 2007.

**ICUMSA, International Commission for Uniform Methods of Su. 1994.** Icumsa Method Book. Bartens. Berlin., Germany. : s.n., 1994.

**K**

**Kadlec, Z, Bubnik et P. 1995.**Sucrose: Properties and Applications. 1995.

**L**

**Libelle, Teddy Jeannick. 2010.** Modèles de connaissance de la cristallisation de troisième jet en sucrerie de cannes Expérimentations et simulations. 9 Mars 2010.

**LaBelle. 2024**[En ligne] .<https://www.grouplabelledz.com/spa-grd-labelle.php>

**M**

**Mathlouthi , M et Barbara, R. 2004.** La sucrerie de canne. [éd.] Centre d'Etudes et de Documentation du Sucre. 2004. pp. 1-7.

**Mathlouthi, M. 2002.** CEDUS. Les propriétés physiques et chimiques du saccharose. 2002. pp. 1-11.

**Mathlouthi, M et ROGÉ, B. 2004.** Caking of white sugar and how to prevent it. 2004. p. 78.

**Mathlouthi, Mohammed et Reiser, P. 1995.**Sucrose: Properties and Applications. s.l. : Springer Science & Business Media, 1995, 1995.

**Mathlouthi, M Barbara R. 2001.** L'extraction du sucre. 2001.

**N**

**Nomblot, Matthieu. 2019.** 1812-1914 : un siècle d'histoire et d'utilisation du sucre de betterave. caen , france : s.n., 19 MAI 2019.

**O**

**OECD, Food and Agriculture Organization of the United Nation. 2023.**OECD-FAO Agricultural Outlook. 6 juillet 2023.

**P**

**Pislor, Emilie. 2011.** Extraction d'un acide organique à partir de co-produits issus de l'industrie de la canne à sucre. Toulouse : s.n., 5 juillet 2011. p. 12.

**Punidades, P. 1990.** Microfiltration tangentielle sur membrane minérale de produits sucrés. 1990.

**R**

**Rachedi, N. 2002.**Précèdes de transformation dans la raffinerie de CEVITAL spa. Reims : s.n., 2002.

**Raisonnier, Pr. A. 2002.**Structures Biologiques. 2002. p. 37.

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

**S**

**Sabatier, Damien. 2014.** Influence des facteurs agro-climatiques sur les modalités d'allocation de la biomasse produite aux différentescomposantes lignocellulosiques des structures de la canne à sucre. 11 Février 2014.

**SNFS. 2000.**méthode officielle n°7 . 2000.

**Soopramanien. 2000.** Schéma botanique de la canne à sucre. 2000.

**SSN, (Société Suisse de Nutrition). 2011.** Les sucres et les sucres ajoutés. avril 2011.

**SNFS. SUCRE,SYNDICAT NATIONAL DES FABRICANTS DE SUCRE.** Principales caractéristiques du marché mondial du sucre. [PDF].<https://www.snfs.fr/site/images/pdf/caracteristiques%20marche%20mondial.pdf>.

**T**

**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. Reims : s.n., 1999. pp. 2-13.

**V**

**Valette, Robert, Villani, Emilia et Miyagi, Paulo Eigi . 2007.**Modelling and Analysis of Hybrid Supervisory Systems. s.l. : Springer Science & Business Media, 2007.

**Z**

**Zhang, Hao, et al. 2021.** Green production of sugar by membrane technology. march 2021. pp. 27-43.

**Zhang, Shunang, Wang, Jingjing et Jianguo, Hong. 2021.** Production microbienne de bioproduits et d'enzymes à valeur ajoutée à partir de mélasse, un sous-produit de l'industrie sucrière. 2021

# **Annexes**

## ANNEXE I :

## Matériel et appareillage

<b>Matériel et appareillages</b>	<b>Utilisation</b>
Refractomètre	pour déterminer le taux de la matière sèche dans la solution (brix)
Spectrophotomètre UV	Pour mesuré des absorbances de la solution sucrée.
papier filtre de 0.45 µm et des filtres plissés standard	Un Pour filtrer des solutions
Dilueur automatique	muni une balance de précision Pour la dilution des solutions
Polarimètre (POLASER-S)	Pour mesurer la polarisation
Agitateur magnétique et plaque chauffante	Pour agiter et accélérer les dilutions des solutions
pH mètre	Pour mesurer les pH des solutions
Ordinateur	Muni du pro-logiciel « CLEOPATRE » calcule et lecture des résultats
Flacon de 500ml	Pour la réalisation des différents prélèvements
L'étuve	Stérilisation et séchage
Dessiccateur	Pour le refroidissement
Une balance de précision	Pour peser les échantillons
Une balance analytique	Pour peser les échantillons
Une pompe à vide	Pour les filtrations sous vide

## ANNEXE 2

**Tableau I** : résultats et norme de la pureté

	pureté (%)	norme min
MG	98,806	98,5
SR	98,867	98,5
SF	98,993	98,5
SD1	99,122	99
SD2	99,162	99
SC	99,196	99
LS1	99,203	99
LS2	98,313	98
LS3	95,872	95

**Tableau II** : résultats et norme (maximal et minimal) du brix

	Brix (%)	Norme max	norme min
MG	72,887	75	70
SR	62,226	65	60
SF	58,511	60	57
SD1	58,52	60	57
SD2	58,44	60	57
SC	65,143	68	63
LS1	66,323	68	63
LS2	72,599	75	70
LS3	73,004	75	70

**Tableau III : résultats et norme de la couleur**

	couleur	norme
SB	901,5	900
MG	1195,7	1300
SR	1251	1200
SF	546,7	800
SD1	167	250
SD2	123,5	250
SC	193,5	300
LS1	221,2	300
cuite R1	210,6	300
Sucre blanc	27,2	45

**Tableau IV : Norme de l'alcalinité**

	Maximal	Minimal
Norme	5.5	4.5

**Tableau V : résultats et norme (maximal et minimal) du Ph**

	pH	pH min	pH max
SR	6,236	6,5	7,5
jus chaulé	10,838	10	11,5
C1	9,315	9,5	10,5
C2	8,28	8	9
SF	8,196	8	8,5
SD1	8,201	7	9
SD2	8,291	7	9
LS1	8,222	7	8,5
LS2	7,66	6,8	8,5
LS3	7,056	6	8,5
EP	6,643	6	8,5

**Tableau VI :** Résultats des analyses du sucre brut, de la polarisation et de l'humidité au cours de 10 jours.

SUCRE BRUT			
Date	Couleur	polarisation	Humidité
17/2/24	910	<b>99,1</b>	0,066
18/2/24	911	99,11	0,107
19/2/24	909	99	0,089
20/2/24	869	99,1	0,091
21/2/24	935	99,05	0,092
22/2/24	976	99,15	0,08
23/2/24	821	99,17	0,103
24/2/24	883	99,05	0,074
25/2/24	894	99,1	0,088
26/2/24	907	99,08	0,108
SUCRE BRUT	901,5	99,091	0,0898

**Tableau VII :** Les résultats d'analyses du brix, de la polarisation et de la pureté pendant l'étape d'affinage et de refonte sur une période de 10 jours

ANALYSE	Affinage et Refonte								
	Magma				Sirop de refonte				
	Brix %	Polarisation %	Pureté %	couleur ICUMSA	Brix %	Polarisation %	Pureté %	couleur ICUMSA	pH
17/2/24	72,07	71,22	98,83	1136	62,44	61,1	98,83	1259	6,19
18/2/24	71,9	71,07	98,85	1232	63,67	63,2	98,88	1233	6,05
19/2/24	72,98	72,12	98,82	1252	62,71	61,96	98,85	1237	6,04
20/2/24	73,53	72,62	98,76	1217	62,42	61,71	98,89	1235	6,17
21/2/24	73,15	72,29	98,82	1219	62,78	62	98,79	1230	6,1
22/2/24	74,47	73,59	98,82	1150	62,01	61,75	98,95	1256	6,21
23/2/24	74,6	73,66	98,74	1225	62,43	61,82	98,84	1285	6,16
24/2/24	73,02	72,15	98,81	1167	63,09	62,06	98,96	1243	6,21
25/2/24	72,8	72,00	98,9	1196	58,17	55,4	98,82	1296	6,82
26/2/24	70,35	69,45	98,71	1163	62,54	61,85	98,86	1236	6,41
moyenne	72,887	72,017	98,806	1195,7			SR	1251	

**Tableau VIII :** Les résultats d'analyses de lait de chaux et de jus chaulé pendant l'étape de la carbonatation sur une période de 10 jours.

Carbonatation					
Lait de chaux		Jus Chaulé		Stie1ièr Carbo	2ème carbo
pH	densité	pH	Alcalinité gCaO/l	pH	pH
12,01	1,099	10,83	4,79	9,24	8,22
12,26	1,094	10,84	4,71	9,26	8,4
12,32	1,09	10,85	4,79	9,29	8,38
12,29	1,085	10,88	4,71	9,29	8,2
12,35	1,074	10,84	4,74	9,33	8,35
12,24	1,082	10,83	4,66	9,37	8,27
12,5	1,086	10,85	4,63	9,35	8,08
12,2	1,096	10,84	4,59	9,4	8,22
12,12	1,089	10,76	4,62	9,34	8,26
12,22	1,099	10,86	4,81	9,28	8,42
		10,838			

**Tableau IX :** Les résultats d'analyses du brix, de la polarisation, de la pureté, de la couleur et du pH du sirop filtré pendant la filtration sur une période de 10 jours.

Filtration						
Sirop filtré						
pH	Brix %	Polarisation %	Pureté %	couleur ICUMSA	ECUMES %	Qté Ca <sup>2+</sup> mg CaO/l
8,05	57,96	57,16	98,97	559	0,64	180
8,25	60,24	59,96	98,99	574	0,5	170
8,14	58,17	57,75	98,99	545	0,52	160
8,05	58,14	57,44	99,02	526	0,48	170
8,26	58,26	57,68	99,05	527	0,5	180
8,31	57,68	57,26	99,05	513	0,56	165
8,04	58,47	57,98	98,93	593	0,58	180
8,32	59,71	58,92	99	530	0,55	170
8,31	57,3	56,75	98,99	539	0,54	150
8,23	59,18	58,76	98,94	561	0,51	160
			Moyenne SF	546,7		

**Tableau X :** Les résultats d'analyses du pH, du brix, de la polarisation, de la pureté et de la couleur du sirop décoloré pendant l'étape de décoloration sur une période de 10 jours

ANALYSE	DECOLORATION									
	Sirop décoloré 01					Sirop décoloré 02				
	pH	Brix %	Polarisation %	Pureté %	couleur ICUMSA	pH	Brix %	Polarisation %	Pureté %	couleur ICUMSA
17/2/24	8,14	58,24	57,41	99,04	142	8,1	57,95	57,68	99,11	118
18/2/24	8,16	60,49	60,23	99,12	163	8,15	60,4	60,02	99,25	91
19/2/24	8,33	58,56	57,87	99,09	173	8,23	58,63	57,78	99,17	117
20/2/24	7,68	58,13	57,54	99,19	131	8,18	58,13	57,7	99,26	99
21/2/24	8,29	57,81	57,34	99,19	149	8,12	58,2	57,71	99,16	144
22/2/24	8,43	57,71	57,05	99,12	167	8,24	58,03	57,32	99,11	124
23/2/24	8,14	58,26	57,67	99,07	193	8,1	57,91	57,4	99,13	139
24/2/24	8,16	59,32	58,57	99,08	186	8,58	59,11	58,57	99,09	138
25/2/24	8,33	58,16	57,26	99,13	167	8,76	57,51	57,03	99,16	112
26/2/24	8,35	58,52	58,05	99,19	199	8,45	58,53	58,05	99,18	153
moyenne				SD1	167				SD2	123,5

**Tableau XI:** Les résultats d'analyses du brix, de la polarisation, de la pureté et de la couleur du sirop concentré pendant l'étape de la concentration sur une période de 10 jours.

Concentrateur			
sirop concentré			
Brix %	Polarisation %	Pureté %	couleur ICUMSA
66,17	65,65	99,22	197
64,47	63,98	99,23	199
66,3	65,85	99,32	179
64,65	64,08	99,13	195
64,98	64,34	99,01	168
64,78	64,33	99,3	206
64,75	64,21	99,17	188
64,23	63,72	99,23	189
66,18	65,59	99,11	199
64,92	64,43	99,24	215
moyenne		SC	193,5

**Tableau XII :** Les résultats d'analyses du brix, de la polarisation, de la pureté, de la couleur et du pH de LS1, LS2 et LS3 pendant l'étape de la cristallisation des produits hauts pendant 10 jours

ANALYSE	Cristallisation HP														
	LS1					LS2					LS3				
	Brix %	Polarisation %	Pureté	couleur ICUMSA	pH	Brix %	Polarisation %	Pureté	couleur ICUMSA	pH	Brix %	Polarisation %	Pureté	couleur ICUMSA	pH
17/2/24	66,38	65,49	99,2	241	8,28	71,92	70,88	98,57	804	7,73	73,95	70,85	95,81	2959	7,33
18/2/24	67,56	67,86	99,17	218	8,16	73,88	72,81	98,55	823	7,58	74,12	71,15	96	2954	6,96
19/2/24	66,47	66,29	99,21	228	8,21	72,03	71,02	98,59	820	7,8	73,63	70,49	95,73	2966	7,1
20/2/24	66,33	65,73	99,24	214	8,11	72,97	71,85	98,47	768	7,45	75,26	72,41	96,21	1951	6,87
21/2/24	66,78	66,85	99,25	198	8,1	72,42	71,44	98,65	578	7,75	73,75	71,3	96,67	1767	7,07
22/2/24	65,96	64,64	99,12	222	8,23	72,95	71,83	98,46	673	7,88	72,6	70,17	96,64	2411	7,15
23/2/24	66,08	65,94	99,23	213	8,11	72,13	71,1	98,56	704	7,77	76,58	73,12	95,47	2436	7,03
24/2/24	66,58	66,51	99,19	248	8,43	72,37	71,21	98,41	821	7,62	71,85	68,8	95,76	2904	7,15
25/2/24	66,51	66,13	99,17	205	8,31	66,68	65,51	98,24	901	7,26	72,03	68,88	95,63	3026	7,02
26/2/24	64,58	65,47	99,25	225	8,28	70,5	69,48	98,55	861	7,76	74,32	71,62	96,4	2916	6,88
moyenne			LS1	221,2				LS2	775,3				LS3	2629	

**Tableau XIII:** Les résultats d'analyses du brix, de la polarisation, de la pureté, de la couleur et du pH des gâteaux pauvres pendant une période de 10 jours

Egout pauvre 3				
Brix %	Polarisation %	Pureté	couleur ICUMSA	pH
73,93	67,72	91,59	6791	6,70
74,93	68,10	90,89	6290	6,71
74,87	67,88	90,65	6282	6,72
75,20	68,31	90,83	5619	6,65
74,93	68,40	91,28	4544	6,62
75,63	69,07	91,33	5551	6,55
75,67	69,86	92,34	5770	6,73
75,07	68,24	90,90	6350	6,54
76,34	69,16	90,60	5899	6,36
62,73	57,36	91,40	6297	6,85
		moyenne	5939	

**Tableau XIV :** Les résultats d'analyses du brix, de la polarisation, de la pureté de la cuite 1 pendant 10 jours

ANALYSE	[ CUITES 612, 613 & 812 ](R 1)			
	Brix %	Polarisation %	Pureté %	couleur ICUMSA
17/2/24	90,65	89,78	99,04	226
18/2/24	90,6	90,07	99,42	216
19/2/24	90,1	89,2	99	202
20/2/24	89,4	88,59	99,09	195
21/2/24	90	89,27	99,19	208
22/2/24	90,55	89,8	99,17	196
23/2/24	89,85	89,21	99,29	208
24/2/24	90,15	89,52	99,3	223
25/2/24	90,5	89,89	99,33	217
26/2/24	90,07	89,39	99,24	215
moyenne			Cuite 1	210,6

**Tableau XV :** Les résultats d'analyses d'humidité et de couleur du sucre à l'entrée et à la sortie du sécheur, ainsi que les résultats d'analyses d'humidité et de couleur du sucre blanc 1001 et de granulométrie du sucre blanc 1001, pendant 10 jours

ANALYSE	SUCRE ENTREE SECHEUR	SUCRE SORTIE SECHEUR	SUCRE BLANC A1001				
	HUMIDITE %	HUMIDITE %	couleur ICUMSA	humidité	ouverture moyenne	Coefficient de variation %	Fines %
17/02/2024	0,211	0,023	29	0,017	0,606	36,35	1,57
18/02/2024	0,113	0,02	25	0,018	0,627	36,3	0,66
19/02/2024	0,199	0,014	27	0,014	0,668	36,1	0,79
20/02/2024	0,129	0,017	26	0,017	0,653	36,6	1,17
21/02/2024	0,146	0,024	28	0,019	0,64	36,45	1,25
22/02/2024	0,121	0,024	28	0,022	0,642	36	1,98
23/02/2024	0,161	0,024	27	0,024	0,611	34,5	1,74
24/02/2024	0,201	0,016	28	0,022	0,652	33,3	0,88
25/02/2024	0,115	0,023	29	0,018	0,636	37,2	1,35
26/02/2024	0,203	0,011	25	0,017	0,662	37,35	0,89
moyenne			27,2		0,6397	36,015	1,228

## Abstract

Le travail réalisé à la raffinerie de sucre CEVITAL à Bejaia vise à suivre l'évolution des paramètres physico-chimiques au cours du raffinage du sucre roux, tels que le brix, la polarisation, la pureté, la couleur et le pH, ainsi que la qualité du sucre blanc produit. Le raffinage au complexe agroalimentaire CEVITAL transforme le sucre roux extrait de la canne à sucre, en sucre blanc.

À son arrivée, le sucre roux passe par plusieurs étapes pour éliminer les impuretés, les colorants et autres substances non sucrées. Des échantillons sont prélevés et analysés tout au long du processus, montrant que les paramètres physico-chimiques restent stables. Les résultats des analyses respectent les normes ICUMSA, ce qui confirme la fiabilité et la stabilité du raffinage à chaque étape.

**Mots clés :** sucre roux, sucre blanc, raffinage, paramètres physico-chimique.

## Summary

The work carried out at the CEVITAL sugar refinery in Béjaia is aimed at monitoring changes in physico-chemical parameters during the refining of brown sugar, such as brix, polarization, purity, color, and pH, as well as the quality of the white sugar produced. Refining at the CEVITAL Agri-food complex transforms the brown sugar extracted from sugar cane into

white sugar.

On arrival, the brown sugar goes through several stages to remove impurities, colorants and other unsweetened substances. Samples are taken and analyzed throughout the process, showing that physico-chemical parameters remain stable. Analysis results comply with ICUMSA standards, confirming the reliability and stability of the refining process at every stage.

**Key words:** sugar cane, brown sugar, white sugar, refining, physico-chemical parameters.