

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 des procédés des matériaux

Présenté par

Hamdi Amel & Mouhoune Wissame

Thème

Suivi du processus de fabrication du sucre blanc au niveau de la raffinerie de CEVITAL et étude des paramètres physico-chimique du procédé de raffinage

Soutenue le 14/07/2022

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade		
Mme BOURAS K	MCA	Université de Bejaia	Président
Mme BENMERAD CH	MCA	Université de Bejaia	Examineur
Mme AGUERSSIF N	MCB	Université de Bejaia	Encadrant

Année Universitaire : 2021/2022

REMERCIEMENTS

Nous remercions Dieu, le tout puissant, pour nous avoir donné la fois qui nous a guidés jusqu'à la réalisation et l'aboutissement de ce projet.

Nous exprimons notre respect et notre gratitude à notre promotrice madame **AGUERSSIF Nadia** pour avoir **accepté** de nous encadrer et pour avoir suivi notre travail.

Nous adressons nos vifs remerciements aux responsables du complexe agro-alimentaire **CEVITAL** de nous avoir accueilli dans l'usine, de nous avoir ouvert leurs portes et donné l'opportunité de réaliser ce stage.

Nous tenons à remercier Mme **BOURAS K** et Mme **BENMERAD Ch.** pour le grand honneur, qu'elles nous font, en acceptant, de juger ce travail, pour l'intérêt qu'elles ont porté à ce thème, pour leur lecture attentive de ce mémoire, pour les remarques qu'elles nous adresseront lors de cette soutenance afin d'améliorer ce travail.

Ensuite, nous souhaitons remercier vivement toutes les personnes qui nous ont apportées leurs aides tout au long de ce stage, à savoir l'équipe du laboratoire d'analyses physico-chimiques en particulier Mr **SAIM Samir**, grâce à sa disponibilité et sa gentillesse à notre égard, nous permis de bénéficier de tous les éléments nécessaires au bon déroulement de notre stage,

Nous remercions chaleureusement tous ceux qui ont participé à la réalisation de ce travail de près ou de loin. Notamment la Faculté de sciences et technologie, département génie des procédés.



Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

À mes très chers parents qui m'ont tout donné. Qui ont toujours été là pour moi, et qui ont tant fait pour moi et auxquels je ne rendrai jamais assez.

J'espère qu'ils trouveront dans ce travail toute ma reconnaissance et tout mon amour.

Mes chers frères Lounis et Amer.

Mes chères sœurs Nassima et Salma.

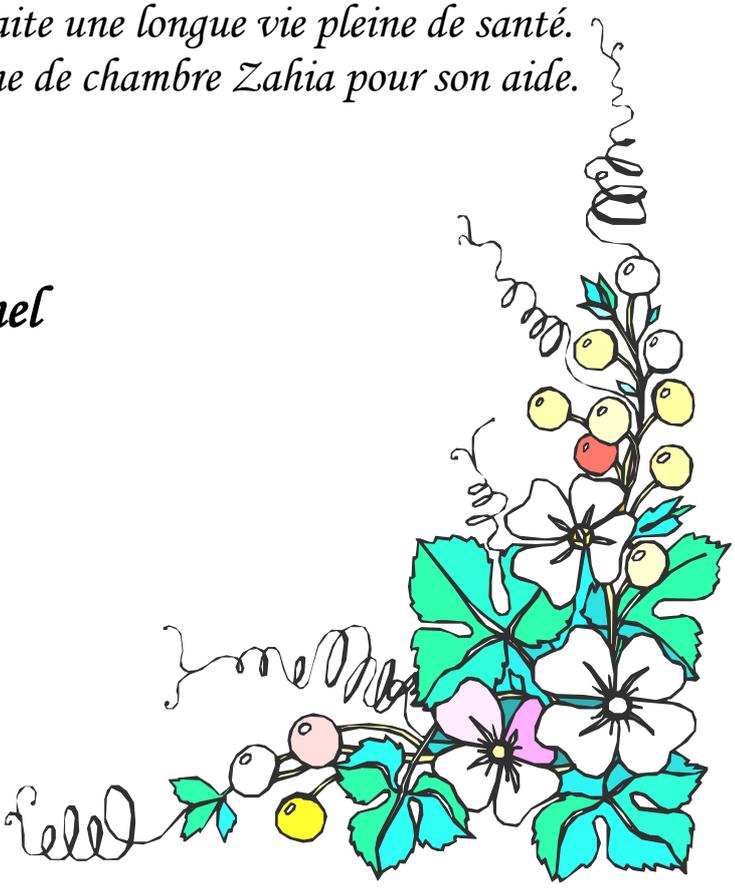
Ma grand-mère pour qui je souhaite une longue vie pleine de santé.

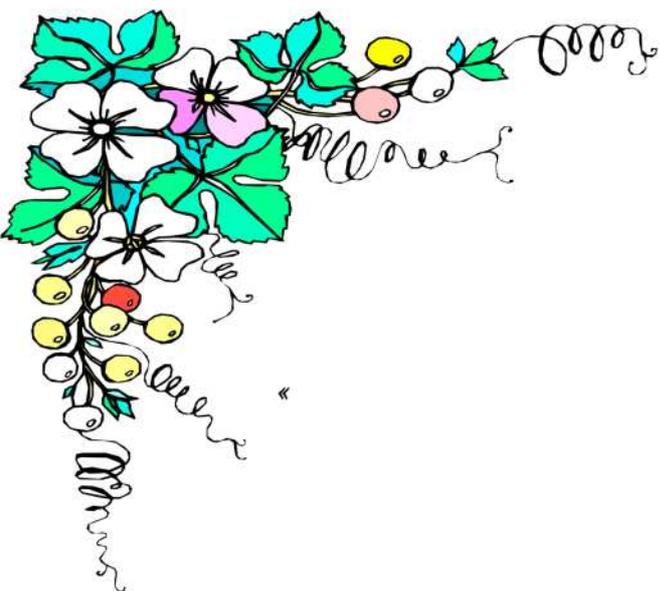
Tous mes amies surtout ma copine de chambre Zahia pour son aide.

Toutes mes connaissances.

Tous ceux qui m'aiment.

Amel





Dédicaces

Ce travail achève avec l'aide de dieu, le tout puissant ; Est dédié à tous personnes que j'aime :

À mes très chers parents ; à ma mère qui a sacrifié sa vie pour mon bien être, à mon père à qui je voue un profond respect pour tous le dévouement qu'il m'a consacré.

À mes chers frères Halim et Zinddine

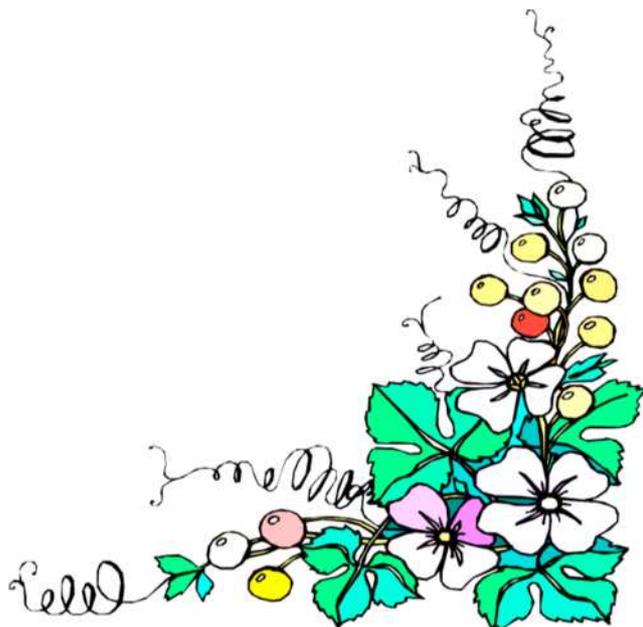
À mes sœurs

À mes chers Nour el hoda et Anir

À Fouad et toute sa famille

À tous mes amies et toutes mes connaissances

Wissame



SOMMAIRE

Sommaire

Introduction.....	1
--------------------------	----------

Chapitre I :Etude bibliographique

II.1Histoire du sucre	2
II.2Définition et structure du sucre.....	3
II.3Source de sucre	6
II.3.1La canne à sucre	6
II.3.1.1Composition de la canne à sucre	8
II.3.2 Betterave sucrière	8
I.3.2.1Composition chimique.....	9
I.4 Production du sucre	11
I.4.1 Formation du sucre dans les plantes	11
I.5 Variétés du sucre	12
I.5.1 Sucre brut.....	13
I.5.2 Sucre blanc ou raffiné.....	13
I.5.3 Sucre roux.....	13
I.5.4 Sucre cristallisé.....	13
I.5.5 Sucre liquide (sirop de sucre)	14
I.5.6 Sucre en poudre	14
I.5.7 Le sucre candi.....	15
I.5.8 Sucre en morceaux	15
I.5.9 Sucre inverti (ou interverti)	16
I.5.10 Sirop de glucose	16
I.6 Propriétés physique du sucre	17
I.6.1 Aspect.....	17
I.6.2 Température de fusion.....	17
I.6.3 Densité	17
I.6.4 Solubilité.....	17
I.6.5 Le Degré Brix	18
I.6.6 Viscosité	18
I.6.7 Pouvoir rotatoire	19
I.6.8 Granulométrie.....	19

SOMMAIRE

I.6.9 Inversion	19
I.6.10 Activité de l'eau (a_w)	20
I.7 Propriétés chimiques du sucre	20
I.7.1 Polarisation	20
I.7.2 Pureté.....	20
I.7.3 Les non- sucres	21
I.7.4 Saturation.....	21
I.7.5 Sursaturation.....	21
I.8 Processus de raffinage du sucre	23
I.8.1 Section affinage et refonte.....	23
I.8.1.1 Affinage	23
I.8.1.2 Refonte.....	24
I.8.2 Section carbonatation	24
I.8.2.1 Préparation du lait de chaux	25
I.8.2.2 Chaulage.....	25
I.8.3 Section filtration	26
I.8.4 Section décoloration	26
I.8.5 Section concentration	27
I.8.6 Section cristallisation.....	28
I.8.6.1 Cristallisation Haut Produit (HP)	29
I.8.6.2 Cristallisation Bas produit (BP).....	29
I.8.7 Section Séchage et maturation.....	30
I.8.8 Section Stockage et conditionnement.....	30
I.9 Qualité des sucres	31

Chapitre II : Matériels et méthodes

II.1 Présentation de l'entreprise	33
II.1.1 Historique de groupe CEVITAL.....	33
II.1.2 Situation géographique de groupe CEVITAL.....	34
II.1.3 Les unités de production du groupe CEVITAL	34
II.1.4 Organigramme de l'entreprise CEVITAL.....	35
II.1.5 Mission et objectifs du groupe CEVITAL	36
II.2 Spectrophotométrie d'absorption dans l'ultra-violet et le visible.....	36

SOMMAIRE

II.2.1	Domaine et longueur d'onde	36
II.2.2	Composants	37
II.2.3	Catégorie de spectrophotomètres	37
II.2.4	Application analytique	38
II.3	Matériels et méthodes	39
II.3.1	Echantillonnage et prélèvements.....	39
II.3.2	Matériel utilisé	40
II.3.3	Analyses physico-chimiques	41
II.3.3.1	Mesure de teneur en amidon dans le sucre roux (METHODE ICUMSA BESE GS1-16 2013).....	43
II.3.3.2	Mesure taux d'humidité (Méthode ICUMSA 2007) :.....	45
II.3.3.3	Détermination du taux de cendres conductimétriques du sucre roux (%) (Méthodes ICUMSA GS 2/3-17 2002).....	45
II.3.3.4	Mesure de polarisation (Méthodes ICUMSA GS 1/2/3-1 1994).....	47
II.3.3.5	Mesure de couleur	49
II.3.3.6	Mesure de Brix des produits intermédiaires (SNFS n° 41, 2001).....	51
II.3.3.7	Mesure de la polarisation des produits intermédiaires (SNFS n° 41, 2001)	53
II.3.3.8	Mesure de La pureté (SNFS n° 41 2001)	54
II.3.3.9	Mesure de pH (SNFS n°17 1999)	54
II.3.3.10	Teste de propreté	55

Chapitre III : Résultats et discussions

III.1	Evolution du brix au cours du processus de raffinage	57
III.2	Evolution de la pureté au cours de processus de raffinage	58
III.3	Evolution de couleur au cours de processus de raffinage.....	59
III.4	Evolution de pH au cours de raffinage	61
III.5	Evolution de la polarisation au cours de raffinage	62
III.6	Evolution de cendre au cours de raffinage du sucre roux.....	64
III.7	Evolution de l'amidon au cours de temps	65
III.8	Evolution de l'humidité au cours de raffinage	66
III.9	Teste de la propreté	67
Colunclusion	59

Références bibliographiques

Annexes

SOMMAIRE

LISTE DES ABREVIATIONS

BP : Bas Produit ;
HP : Haut Produit ;
CEE : Communauté Economique Européenne ;
°C : Unité de la température en degré Celsius ;
FAO : Food and Agricultural organization ;
ICUMSA : Commission Internationale d'Unification des Méthodes d'Analyses de sucre (International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis) ;
JC : Jus chaulé ;
Kg : kilogramme ;
IUPAC : Union Internationale de Chimie Pure et Appliquée ;
LS : Liqueur standard ;
MS : matière sèche ;
m E : Masse de l'eau
m MS : Masse de la Matière Sèche ;
m NS : Masse des noms sucres ;
m S : Masse de sucre ;
NS : Non Sucre ;
N.D : Non déterminé ;
nm : unité de mesure des longueurs, nanomètre.
P : pression ;
SS : Sortie de sécheur ;
SR : sirop de refonte ;
SC1 : Sirop carbonaté 1 ;
SC2 : Sirop carbonaté 2 ;
SC3 : Sirop carbonaté 3 ;
SC : Sirop Concentré ;
SD1 : Sirop Décoloré 1 ;
SD2 : Sirop décoloré 2 ;
SD3 : Sirop décoloré 3 ;
SF : Sirop Filtré ;
SNFS : Syndicat National des Fabrications de Sucre de France ;
UI : Unité ICUMSA.

Liste des figures

Figure I.1:Illustration d'une molécule de saccharose linéaire	3
Figure I.2:Illustration d'une molécule de saccharose cyclique.....	4
Figure I.3:Diagramme de classification des glucides.....	5
Figure I.4:Canne à sucre.....	8
Figure I.5:La Morphologie de la phase végétative de la betterave sucrière.....	9
Figure I.6:Composition chimique de la betterave à sucre	10
Figure I.7:Différents types du sucre	12
Figure I.8:Courbe de variation de S/E en fonction de température.....	19
Figure I.9:Section affinage	21
Figure I.10:Section de carbonatation.....	24
Figure I.11:Section de concentration	26
Figure I.12:Atelier de cristallisation.....	27
Figure I.13:Section de séchage.....	29
Figure II.1:Situation géographique du complexe CEVITAL.....	33
Figure II.2:Organigramme de l'entreprise CEVITAL.....	34
Figure II.3:Domaine spectral du rayonnement électromagnétique.....	35
Figure II.4:Spectrophotomètre simple faisceau.....	36
Figure II.5:Echantillon prelevés dans les section de raffinage.....	39
Figure II.6:Conductimètre de marque Knick.....	47
Figure II.7:Polarimètrede marque POLASYRE-S.....	44
Figure II.8 :spectrophotomètre uv visible de marque therrmo scientific	46
Figure II.9: Brix-mètre (Réfractomètre)	47
Figure III.1:Evolution du la moyenne du brix(%),par rapport au normes,durant le processus du raffinage du sucre,au niveau de toutes les sections de raffinage	50
Figure III.2:Evolution de la moyenne de la pureté(%),par rapport au nourmes minimal ,durant le processus de raffinage du sucre roux,au niveau de toutes les sections de raffinage	52
Figure III.3:Evolution de la moyennede la couleur (UI),par rappoer au norme maximale,durant le processus de raffinage du sucre roux ,au niveau de toutes les sectionsde raffinage	53
Figure III.4:Evolution de la moyenne de PH,par rapport à la norme minimale,durant le processus de raffinage du sucre ,au niveau de toutes les sections de raffinage	54
Figure III.5:Evolution de la moyenne de polarisation (%),durant le processus de raffinage du sucre roux, au niveau de toutes les sections de raffinage.....	55
Figure III.6:Evolution d moyenne de teneur cendre(%),par rapport à la norme maximale en fonction de temps	56
Figure III.7:Evolution de la moyenne d'humidité,par rapport à la norme maximale,au cours du raffinage du sucre,sucre (ES) à l'entrée de sécheur ,sucre (SS) sucre à la sorties du sécheur..	57
Figure III.8:Résultats de tests de la propreté.....	58

Liste des tableaux

Tableau I.1:Composition de la canne à sucre.....	8
Tableau I.2:Effet de concentration et de température sur la viscosité des solutions de saccharose	15
Tableau II.1: Echantillon prélevés des différents sections et leurs paramètres étudiés.....	38
Tableau II.2: Liste des différents appareils utilisés au niveau du laboratoire.....	39
Tableau II.3:Produits analysés et leurs dilutions.....	41

Tableaux en annexes

Tableau III.1: Valeurs moyennes du degré Brix (%) au cours du procédé de raffinage.	
Tableau III.2: Valeurs moyennes de la pureté (%) au cours du raffinage.	
Tableau III.3: Valeurs moyennes de la couleur (UI) au cours du raffinage du sucre roux.	
Tableau III.4: Valeurs moyennes de pH des échantillons au cours du raffinage.	
Tableau III.5: Valeurs moyennes de la polarisation au cours de raffinage du sucre roux .	
Tableau III.6: : Valeurs moyennes de la teneur en cendres (%) du sucre roux.	
Tableau III.7: Valeurs moyennes d'humidité du sucre roux, sucre (ES), sucre (SS) et sucre blanc au cours de raffinage du sucre.	
Tableau III.8: Critères de classification du sucre blanc selon les différentes réglementations.	

GLOSSAIRE

Adsorption : A ne pas confondre avec l'absorption, est de fixer des ions libres, des atomes ou des molécules (adsorbats) à la surface d'une substance (adsorbant).

Bagasse : sous-produit obtenu après le passage de la canne dans les unités de broyage.

Boues : Mélange de résidus provenant de l'épuration des jus de cannes.

Le degré Brix : La fraction de saccharose dans un liquide, c'est-à-dire le pourcentage de matière sèche soluble.

Eau mère : dénomination donnée principalement au liquide qui reste après la cristallisation d'une ou plusieurs substances qui y étaient en dissolution ; Sirop dans lequel baignent les cristaux de sucre de la masse cuite.

Egouts : Impuretés en suspension récupérées lors de turbinage.

Masse pâteuse (masse-cuite) : mélange de cristaux et de sirop.

Mélasses : Sous-produits de l'industrie sucrière, résidus de fabrication après le turbinage de la masse cuite, il contient principalement des colloïdes, des pigments naturels...etc. Une bonne partie de la mélasses produite par les sucreries est utilisée pour la production du rhum industriel.

Petit jus : Terme utilisé dans l'industrie Cevital. C'est une eau sucrée récupérée lors de la filtration des boues.

Introduction

Dans l'alimentation quotidienne, le sucre et les édulcorants jouent un rôle indispensable à la vie de nombreuses espèces animales, le saccharose est extrait principalement de la canne à sucre ou de la betterave sucrière (**Tian et al., 2019 ; Li et al., 2020**).

La technologie sucrière de canne, compte parmi les industries agroalimentaires les plus anciennement connues et les plus répandues dans le monde. La recherche technologique sucrière s'est surtout orientée vers la réduction des pertes en sucre (**Belhamri, 2005**).

En Algérie, la culture de canne reste inexploitée vu le climat méditerranéen qui ne favorise pas sa culture ; en effet elle se limite au raffinage du sucre roux importé et le conditionnement du sucre blanc (**Achabou et Tozanli, 2007**). L'Algérie est considérée parmi les pays exportateurs de sucre raffiné grâce à la raffinerie sucre du complexe agro-alimentaire CEVITAL (**Bessaoud et al., 2019**).

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

Cette étude, réalisée au niveau du laboratoire physicochimique de la raffinerie de sucre 3500T, au niveau du complexe CEVITAL, consiste à suivre le processus de fabrication du sucre blanc et l'étude de quelques paramètres physico-chimiques au cours du processus de raffinage de sucre roux. Nous nous sommes intéressés à l'influence de certaines étapes de raffinage, comme la carbo-filtration et la décoloration, sur le rendement de la décoloration ainsi que l'évaluation de la conformité du sucre blanc produit.

Notre travail est subdivisé en quatre parties principales : la première partie est essentiellement bibliographique, dans laquelle nous donnerons des généralités sur le sucre ainsi qu'un survol sur les différentes étapes du procédé de raffinage du sucre roux. La deuxième partie sera consacrée à la présentation de l'entreprise, en premier lieu, puis nous présenterons le matériel et les différentes méthodes utilisées au niveau du laboratoire. Dans la troisième partie, nous présenterons l'ensemble de résultats obtenus suivis de discussions et enfin nous terminerons notre travail par une conclusion générale.

INTRODUCTION

Chapitre I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1 Histoire du sucre

Si les hommes ont toujours consommé du sucre, ils n'ont pas toujours extrait de la canne à sucre ou de la betterave comme aujourd'hui. Au début, les fruits et le miel étaient les principales sources de sucre des êtres humains. Dès la préhistoire, et pendant des siècles, le miel a été non seulement le principal édulcorant utilisé en cuisine, mais aussi un condiment et un médicament : il servait, comme nous le savons tous, de remède contre les infections.

Dans l'antiquité, l'hydromel, issu de la fermentation alcoolique d'un mélange d'eau et de miel, était considéré comme « *le nectar des dieux* » tant ses vertus étaient nombreuses. Plus tard, les romains lui accordèrent une grande place dans diverses recettes à base de poulet, de porc et de pain.

Le remplacement progressif du miel par la canne à sucre débute avec la colonisation et l'importation de la canne à sucre. D'abord présente à l'état sauvage en Nouvelle-Guinée et dans les îles proches, elle se répandra dans le monde entier au fur et à mesure que les hommes voyagent. Elle arrive en France au XV^e siècle. Dès lors, une nouvelle économie était née.

En 1774, le chimiste allemand Andrea Sigismond Marggraf démontra que les cristaux de sucre de la betterave étaient les mêmes que ceux de la canne à sucre. Le sucre de betterave fut produit pour la première fois en 1802 et les raffineries de sucre de betterave se développèrent partout en Europe dans la seconde moitié du XIX^e siècle. En 1900, le sucre de betterave représentait plus de la moitié de la production mondiale de sucre.

A la fin du XIX^e siècle, alors que les anglais en consommaient déjà plus que 40 kilos, les États-Unis 30 kilos, les français 15 kilos et les allemands 14 kilos ; physiologistes, médecins et hygiénistes s'affrontèrent sur le rôle et la valeur du sucre dans nos modes de vie. Ils ont souligné que le sucre était un « *aliment* » de première nécessité, comme source d'énergie musculaire mais aussi à titre d'aliment d'épargne (destiné à être stocké dans notre corps). Ils étaient convaincus que le sucre doit entrer dans l'alimentation humaine, qu'il était réconfortant par excellence (Berro, 2015).

I.2 Définition et structure du sucre

Le saccharose que l'on appelle communément « Sucre ou sucrose », est une molécule organique composée de carbone (C), d'hydrogène (H) et d'oxygène (O) (La filière sucre en Algérie, 2014). Elle est constituée d'une molécule de fructose et d'une molécule de glucose, la liaison entre les deux sucres simples s'effectue entre le carbone 1 du D-glucose et le carbone 2 du D-fructose. Il s'agit d'un sucre non réducteur (CETAM Lorraine, 2012). Sa formule chimique brute est $C_{12}H_{22}O_{11}$, avec une masse molaire de 342.30g/mol.

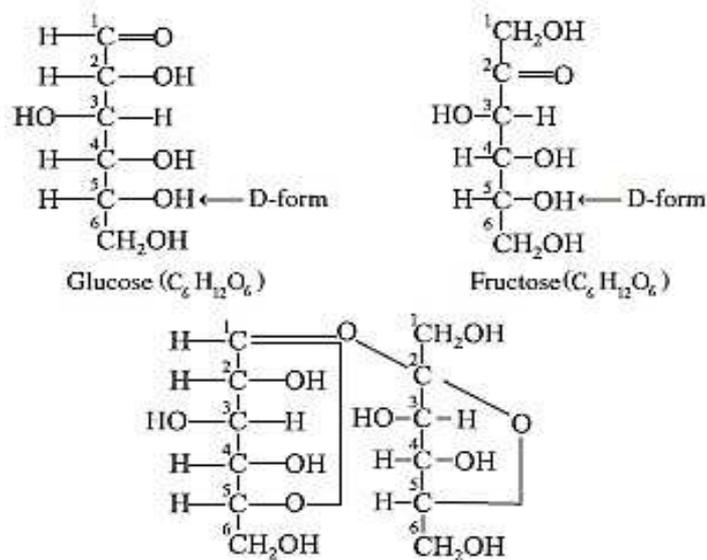


Figure I.1 : Illustration d'une molécule de saccharose linéaire (CETAM Lorraine, 2012 ; LOGINOVA K., 2011).

Dans la chimie des sucres la configuration des sucres est représentée sous deux formes :

- la forme linéaire de Fischer (Figure I.1) ;
- la forme cyclique de Haworth (Figure I.2).

Dans la nomenclature, le nom officiel, selon l'IUPAC, du saccharose est le β -D-(-)-fructofuranosyl-(2 \rightarrow 1)- α -D-(+)-glucopyranoside (ou α -D-glucopyranosyl-(1 \rightarrow 2)- β -D-fructofuranoside), parce qu'il se compose du cycle de α -D-(+)-glucopyranose et du cycle de β -D-(-)-fructofuranose liés par une liaison osidique entre le carbone 1 (C-1) de glucose et le carbone 2 (C-2) de fructose.

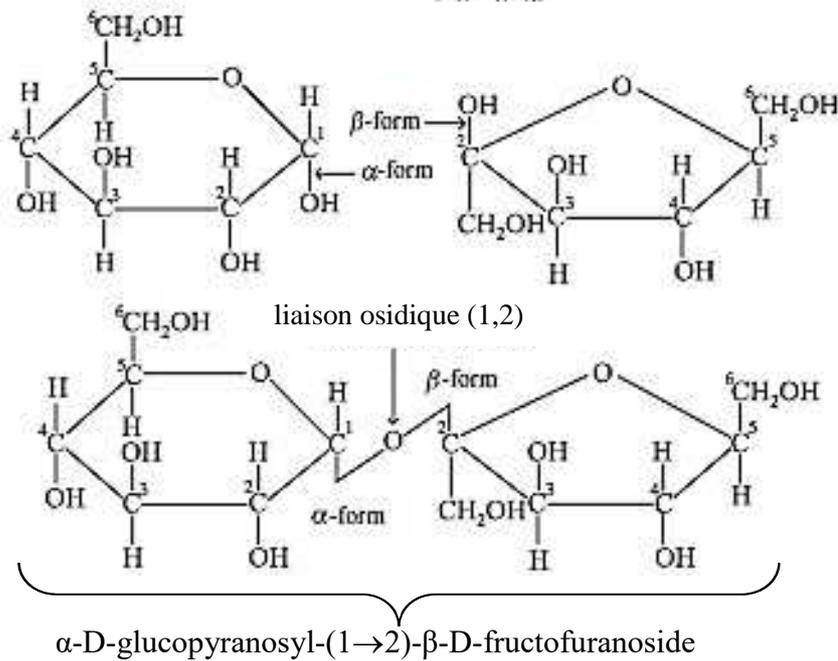


Figure I.2 : Illustration d'une molécule de saccharose cyclique (CETAM Lorraine, 2012 ;LOGINOVA K., 2011).

Du point de vue chimique, les sucres sont communément appelés « glucides », ce sont des substances organiques comportant des fonctions carbonyles formés d'une ou de plusieurs unités de poly hydroxy-aldéhyde ou cétones et des fonctions alcool (Ward Pigman, 1948 ; La filière sucre en Algérie, 2014)

Selon leurs comportements en milieu faiblement acide et à chaud, leurs structures chimiques et leurs degrés de polymérisation, les glucides sont classés en 4 catégories (Monosaccharides ; Disaccharides ; Oligosaccharides ; Polysaccharides), répartis sur 2 groupes, résumé dans le diagramme suivant(Hames et al, 2000) :

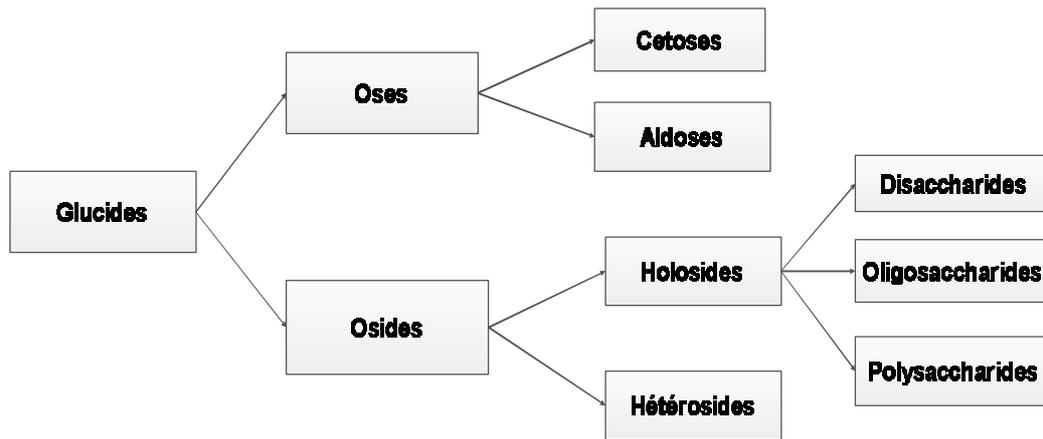


Figure I.3: Diagramme de classification des glucides.

- **Les oses(ou sucres simples) :**

Ce sont des monosaccharides,appelés autrefois hydrates de carbone, en raison de la formule chimique brute des plus simples d’entre eux $(CH_2O)_n$. Ils sont constitués d’un squelette carboné, porteurs de « n » fonctions alcools et d’une fonction réductrice (aldéhydique ou cétonique), ce qui permet de définir deux familles d’oses : les aldoses et les cétones. Le glucose, le galactose, le ribose sont des aldoses. Le fructose est un cétose (**CETAM Lorraine, 2012**).

Ils peuvent être constitués de 3, 4, 5, 6 ou 7 atomes de carbone. Les sucres les plus courants en contiennent 6. Ce sont des *hexoses* : glucose, galactose, fructose. Le ribose et le désoxyribose en contiennent 5. Ce sont des *pentoses* (**Bhagavan N. V. et al., 2011 ; CETAM Lorraine, 2012**). Ils sont en fait de petites molécules qui peuvent passer dans le sang et être utilisées par l’organisme directement ou avec peu de transformation(**Berro, 2015**).

Ce sont les unités structurales entrant dans la composition de glucides plus complexes les (osides)(**Hames et al, 2000**).

- **Les osides (les sucres complexes) :**

Ce sont des sucres composés de plusieurs sucres simples. Leur transformation en glucose requiert des réactions chimiques plus longues, qui interviennent durant la digestion. Ils sont présents dans les légumes secs, les céréales, les grains et les pommes de terre notamment

sous la forme d'amidon, glycogène..., leurs structures plus volumineuse les rendent plus difficiles à digérer (**Berro, 2015**).

Les osides sont des molécules dont l'hydrolyse libère un ou plusieurs oses simples (**Jaques H., 2005**). Selon le nombre de molécules d'oses libérées lors de l'hydrolyse on distingue :

- **Les disaccharides:** Constitués par deux unités mono sacchariques liées entre elles par une liaison osidique (Saccharose, Lactose, Lactulose,...).
- **Les oligosaccharides:** Résultent de la combinaison entre 3-10 unités d'oses simples liées par des liaisons osidiques (Raffinose, Stachyose,...).
- **Les polysaccharides:** Résultent de la condensation d'un grand nombre de molécules d'oses liées par des liaisons osidiques (Cellulose, Héparine,...) (**Katoch R., 2011**)

I.3 Source de sucre

Le sucre est produit dans toutes les plantes contenant de la chlorophylle. On le trouve dans presque tous les fruits et légumes et dans une panoplie d'arbres à l'instar du dattier, érable, palmier, saule, mélèze, frêne...etc. Il est trouvé également dans les racines, les feuilles et les tiges des plantes (canne, betterave carotte, petit pois, patate douce, etc.), dans les fleurs (dahlia, lupin, etc.) et dans les sécrétions d'animaux (miel, lait, etc.) (**Hajos-Novak, 2009**).

Si quelques-unes de ces sources sont exploitées à savoir le sucre d'érable au Canada, sucre de coco et de palme en Thaïlande, sirop de maïs aux USA, de date au Pakistan, la betterave et la canne constituent les deux principales sources mondiales de sucre (**FAO, 1994 ; Hajos-Novak, 2009**).

I.3.1 La canne à sucre

La canne à sucre « *Saccharum officinarum* », est une plante vivace de la famille des graminées principalement cultivée dans les régions tropicales et subtropicales (**Bonie, 2004**). Depuis la préhistoire, la canne à sucre et le miel furent longtemps les seules sources de sucre de l'humanité. Le roseau sucré a d'abord été utilisé à l'état sauvage avant d'être cultivé. Des indices, qui permettent de remonter son origine botanique au « *Saccharum robustum* », de la Nouvelle Guinée, datent de plus de 12,000 années. En effet, les peuples indigènes de cette région consommaient le jus sucré renfermé dans les tiges du roseau sucré (**AZRATEA, 2005**).

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

La plante possède des racines denses qui peuvent s'enfoncer profondément dans le sol, mais la plupart d'entre elles s'étalent à environ 50 cm de la surface dans un périmètre pouvant atteindre fréquemment 2 à 5 m autour de la souche. Elles sont pourvues de nombreux poils absorbants qui aspirent l'eau et les sels minéraux du sol. D'autres racines plus profondes assurent le maintien et la stabilité de la plante.

Les tiges peuvent atteindre entre 2,5 et 4 m de hauteur et 1,5 à 6 cm de diamètre, selon les variétés utilisées. Leur écorce épaisse et lisse va du jaune au violet selon les variétés. Les tiges sont structurées en tronçons de 10 à 20 cm (les entre-nœuds), séparés par des nœuds où les feuilles prennent naissance. Les feuilles sont réparties en deux files opposées et ont un limbe de 1 m de longueur sur 2 à 10 cm de largeur. Elles sont au nombre de 10 sur les plantes en pleine croissance. En période de floraison, la tige se termine par une panicule, inflorescence argentée qui portera les graines. Cette panicule, fragile et soyeuse, mesure de 50 cm à 1 m de longueur(Arzate A., 2005).

L'apparition de la floraison marque la fin de la croissance de la plante et le début d'une augmentation sensible de formation de saccharose qui se déclenche sous l'action de la sécheresse et de la fraîcheur nocturne. Cependant, la floraison des plantes cultivées n'est pas désirable du fait qu'elle soutire une partie de l'énergie nécessaire à la croissance végétative de la plante et à la production du saccharose(Arzate A., 2005).

Pendant la période qui précède la récolte, la plante fabrique peu à peu son sucre (saccharose) dans les feuilles grâce à l'action conjuguée du soleil, de l'eau et de l'air (photosynthèse). Le saccharose s'accumule dans la tige comme réserve énergétique, mais sa répartition n'est pas égale et le sommet de la plante est d'une moindre teneur en sucre(Arzate A., 2005).

Elle contient jusqu'à 16% de saccharose dans ses tiges, dont, jusqu'à 96 % peut être extrait lors d'un processus industriel, elle reste l'un des produits agricoles les plus cultivés dans le monde(Arzate A.,2005).

La canne à sucre est uniquement cultivée dans les régions tropicales. Seulement quelques pays au monde (Etats-Unis, Espagne, Iran, Egypte, Maroc et Pakistan) disposent des conditions favorables pour cette culture (Vander et al., 1998).



Figure I.4 : Canne à sucre(Viswanathan et al.,2017).

I.3.1.1 Composition de la canne à sucre

Les principaux constituants de la canne à sucre sont le sucre et les fibres, comme le montre le tableau celle-ci après. Le sucre contenu dans les tiges de canne, est le saccharose. C'est un diholoside ou disaccharide non réducteur de D-glucose et de D-fructose(Alais,2003).

Tableau I.1 : Composition de la canne à sucre(Arzate,2005).

Composant	Teneur (%)
Eau	70
Fibre ligneuse	14
Saccharose	14
Impuretés	2
Total	100

I.3.2 Betterave sucrière

La betterave sucrière (*Beta vulgaris*), est une plante généralement cultivée pour sa racine charnue exploitée principalement pour la production du sucre. Elle est biennale avec un cycle de vie en deux ans. La phase végétative a lieu pendant la première année de culture où la plante se développe et constitue son stock de sucre dans sa racine. La deuxième année a lieu la phase reproductive durant laquelle la plante se reproduit en puisant dans ses réserves afin de produire une hampe florale qui évolue en graines. Les racines en fin de la phase végétative sont les seules utilisées en industrie sucrière. La betterave mesure environ 50 cm

de hauteur lors de la récolte et elle est généralement divisée en trois parties principales en fin de la phase végétative (**figure I.3**) :

- **Les feuilles** : Sont réparties en bouquet où se fabrique le saccharose grâce à la photosynthèse.
- **Le collet** : Est le point d'insertion des feuilles sur la racine. Il se situe au-dessus du sol avec une hauteur de 3 à 8 cm et contient du sucre difficilement extractible.
- **La racine** : Est le réservoir où s'accumule le sucre élaboré dans le bouquet foliaire. La racine de la betterave à sucre est rugueuse, et de forme conique, et mesure de 15 à 35 cm de longueur et elle est parcourue par deux sillons saccharifères bien accusés. Les radicelles latérales s'insèrent sur la racine principale et peuvent atteindre une longueur de 2,5 m. Le pivot ayant un diamètre inférieur à 10 mm s'enfonce dans le sol jusqu'à 2 m de profondeur(**Schiweck,1994 ; Almohammed F., 2017**).



Figure I.5 : la Morphologie de la phase végétative de la betterave sucrière

(www.la-betterave.com).

La betterave à sucre croît dans les climats modérément froids, mais elle peut s'adapter aux climats très froids et plus chauds. En Europe, elle croît presque partout, de la Turquie aux pays nordiques (Suède, Danemark et Finlande)(**Asadi, 2007 ; van der Poel, 1998**).

I.3.2.1 Composition chimique

La composition chimique de la betterave à sucre est variable en fonction de la semence, des conditions de culture et du moment d'arrachage des racines. La racine de betterave

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

est composée d'environ 23,5 % de matière sèche et de 76,5 % d'eau. Le saccharose représente environ 70 % de la matière sèche et le reste se compose de substances solubles et insolubles, appelés non-sucre. La partie soluble contient des composés organiques azotés ou non-azotés, des sels et des cendres. La partie insoluble, appelée marc, est formée essentiellement de cellulose, d'hémicellulose et de pectines.

Le saccharose est distribué intégralement dans la racine et sa teneur varie entre les différentes parties au moment de la récolte. La racine pivotante est la zone la plus riche en sucre et elle contient d'environ 95 % de saccharose. Le pivot en contient 90-94 % et le collet de 80 à 85 %. La diminution de la quantité du saccharose est toujours accompagnée par l'augmentation de la quantité des non-sucre et donc par une réduction de la pureté du jus. Les composés nonsucrés dans la racine sont principalement les pectines, les protéines, les minéraux tel que le potassium et le sodium, et les acides organiques (Schiweck, 1994).

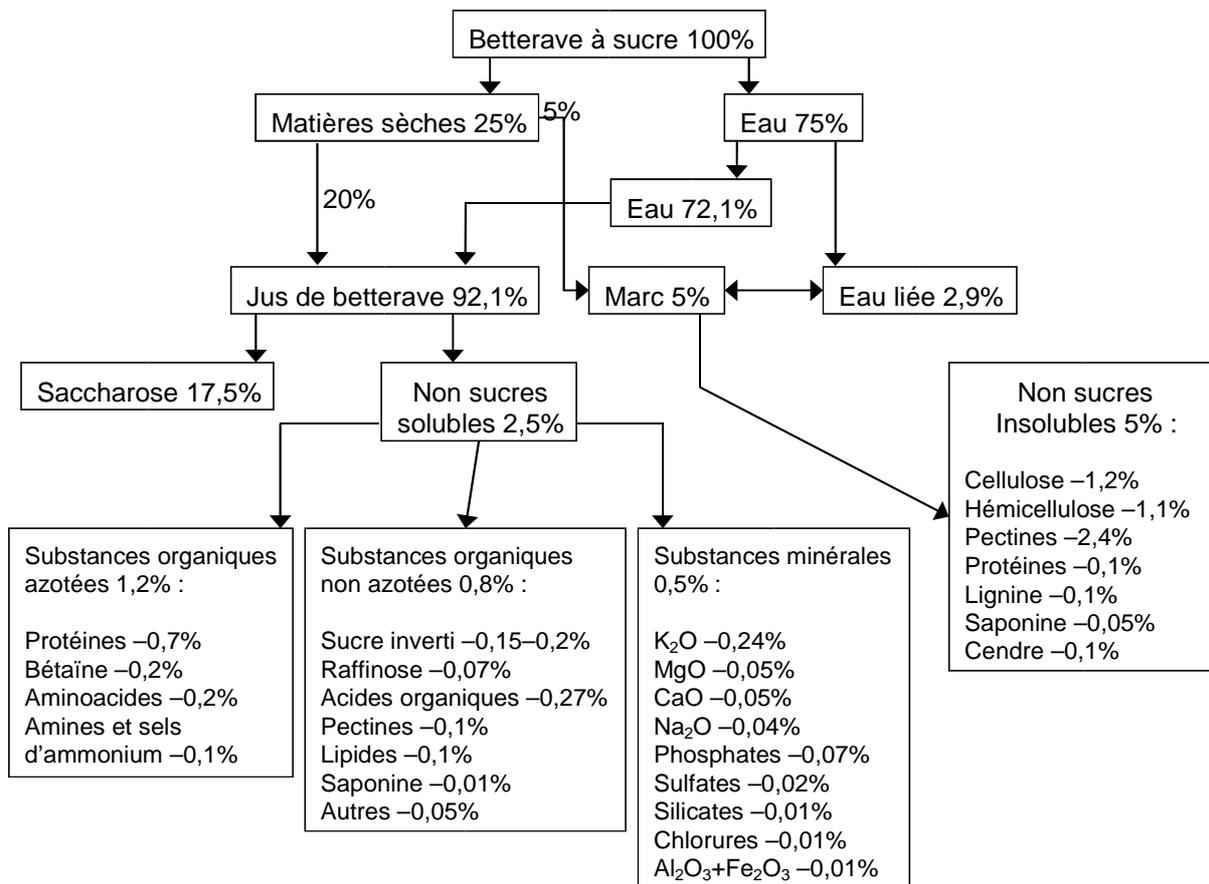


Figure 1.6 : Composition chimique de la betterave à sucre

I.4 Production du sucre

L'obtention industrielle du saccharose par voie chimique n'est pas avantageuse. Comme dans la nature le saccharose se forme dans de nombreuses plantes, il est préférable de l'extraire des tissus végétaux.

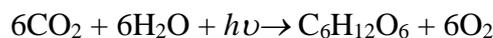
I.4.1 Formation du sucre dans les plantes

Le sucre se forme dans les feuilles de la betterave ou de la canne à sucre par photosynthèse. C'est le phénomène par lequel les plantes vertes parviennent à produire des composés organiques dont elles ont besoin pour vivre grâce à l'énergie solaire, le dioxyde de carbone de l'air et de l'eau du sol. La photosynthèse est la source de toute vie sur terre, elle fournit la matière organique et régénère sans cesse l'oxygène de l'atmosphère. Le mécanisme de la photosynthèse des plantes vertes se déroule en deux phases distinctes (**Christophe, 2015**):

- **La phase claire**

Pendant la journée, la chlorophylle (qui est la substance colorante des feuilles) capte la lumière de soleil et la restitue sous forme d'énergie chimique. Les feuilles absorbent de l'eau et des sels minéraux par leurs racines, ainsi que le gaz carbonique de l'air. Elles se servent de l'énergie solaire pour changer l'eau (H_2O) et le dioxyde carbone (CO_2) en glucose tout en rejetant de l'oxygène (O_2).

Schématiquement le premier produit de photosynthèse est un monosaccharide (**Asadi, 2007; Silin, 1967**) :



- **La phase sombre**

Pendant la nuit l'énergie emmagasinée pendant la phase claire par la plante est utilisée pour effectuer des synthèses chimiques de sucre. Le plus abondant des composés formés est le fructose (sucre à 6 carbones). En passant des feuilles aux racines, les deux monosaccharides s'unissent pour former le saccharose à l'aide de l'enzyme sucrase (**Christophe, 2015**).



I.5 Variétés de sucre

Les sucres peuvent varier de couleur, de saveur, de goût et de grosseur des cristaux. Chaque caractéristique permet au sucre d'avoir des fractions précises dans les aliments, en plus de leur donner un goût sucré. Il existe plusieurs types de sucre (26 en tout) (Payne, 1982).



Figure I.7 : Différents types de sucre

I.5.1 Sucre brut

C'est un produit intermédiaire dans la production de sucre de canne, granulé grossier, produit à la fin du processus de broyage après évaporation du sirop de sucre de canne clarifié (Payne, 1982).

I.5.2 Sucre blanc ou raffiné

Est le plus pur, puisqu'il est constitué à 99,9 % de saccharose. Il est recueilli dans les turbines après concentration sous vide et cristallisation des sirops, au stade final de l'extraction en sucrerie. Il se présente sous la forme de cristaux plus ou moins gros (Arzate, 2005).

I.5.3 Sucre roux

Il se compose de 85 à 98% de saccharose et de certaines impuretés, qui lui donnent sa couleur plus ou moins accentuée et saveur caractéristique. C'est soit du sucre de betterave ayant subi au moins deux cycles de cuisson (vergeoise), ou obtenu par cristallisation (sucre roux appelé candi) soit du sucre coloré avec du caramel (Colonna et al., 2006).

I.5.4 Sucre cristallisé

Issu directement de la concentration et la cristallisation du sirop, ces cristaux sont plus ou moins fins. Il est utilisé surtout pour les confitures, les pâtes de fruits et les décors de pâtisserie (Vergne et al., 2002).

I.5.5 Sucre liquide (sirop de sucre)

C'est une solution de sucre soluble dans l'eau, de saveur douce, provenant de la canne ou de la betterave. Elle est claire, contenant un sucre hautement raffiné. Il contient ou moins 62% de matières sèches (dont moins de 3% de sucre inverti), destiné aux industries alimentaires (Elgado et Casanova, 2001 ; Colona et al., 2006 ; Asadi, 2007).

I.5.6 Sucre en poudre

Ce sucre (de canne ou betterave) cristallisé broyé et tamisé est conditionné en paquets de 500g ou 1kg. Dans certains pays 3% d'amidon de maïs est ajouté pour prévenir l'agglomération. Il est très exploité pour la préparation des desserts, pâtisseries, glaces et entremets, et pour sucrer, laitages, boissons, crêpes etc. (Vergne et al., 2002 ; Colonna et al., 2006).

I.5.7 Le sucre candi

Résulte de la cristallisation, pendant 10 à 12 jours, d'un sirop très pur, concentré et chaud. Le sirop est ensuite refroidi lentement à température ambiante. C'est la caramélisation qui lui donne sa couleur brune caractéristique (Arzate, 2005).

I.5.8 Sucre en morceaux

Il est obtenu par moulage du sucre cristallisé (blanc ou roux), provenant de la canne ou de la betterave, humidifié à chaud puis séché pour souder les cristaux. Il convient pour sucrer toutes les boissons chaudes, ainsi que pour préparer le sirop de sucre ou le caramel (Vergne et al., 2002 ; Colonna et al., 2006).

I.5.9 Sucre inverti (ou interverti)

Obtenu par hydrolyse (partielle ou totale) du saccharose en milieu aqueux par voie acide, par l'action de la chaleur en présence d'un catalyseur (acide tartrique ou critique), ou enzymatique, par l'action d'une enzyme spécifique : l'invertase. Très utilisé pour inhiber la recristallisation des solutions de sucre. Plus soluble que le saccharose, de viscosité élevée et

très hygroscopique, il est utile pour réguler l'activité de l'eau de certaines confiseries(Grabkowski, 2001 ; Colona et al.,2006 ; Asadi, 200)

I.5.10 Sirop de glucose

Solution aqueuse purifiée et concentrée du saccharide nutritif obtenu à partir de l'amidon et/ou l'inuline. Le sirop de glucose présente une teneur en équivalent dextrose non inférieure à 20% m/m (exprimée sous forme de D-glucose sur la base du poids sec) et une teneur en solides totaux non inférieure à 70% m/m (Codex stan, 1999 ; Hull, 2010).

I.6 Propriétés physiques du sucre

Les propriétés physico-chimiques des sucres sont nécessaires à la compréhension de la saveur sucrée et la maîtrise de l'application de ces produits dans les industries alimentaires et pharmaceutique(Mathlouti,1993).

I.6.1 Aspect

Le sucre du commerce se présente sous la forme d'une matière cristalline blanche et brillante (prismes rhomboïdes) non hygroscopique. Son humidité est très faible, de l'ordre de 0,05%, et sa stabilité au stockage est très grande(Doucet,1992).

I.6.2 Température de fusion

Le saccharose est extrêmement stable sous sa forme cristalline à température ambiante. Il commence à fondre à des températures élevées, environ 185°C donnant des sucres invertis et des substances colorées. La température exacte dépend du solvant de cristallisation et de la pureté du sucre(La filière sucre en Algérie, 2014).

I.6.3 Densité

La densité d'un seul cristal de saccharose est de 1. 588.Pour un ensemble de cristaux, la densité apparente change légèrement selon la taille des cristaux et sa distribution en fonction du degré de leurs tassements. L'intervalle de cette variation est de 0.8. Ce qui est traduit par une masse volumique global de 0.8 à 0.9 g/cm³ pour la majorité des produits(Arzate,2005).

I.6.4Solubilité

Le saccharose présente une grande solubilité dans l'eau et les solvants très polaires mais presque insoluble dans les solvants organiques. Elle augmente significativement avec la température mais aussi dépend de la quantité et de la nature des autres molécules présentes. La vitesse de dissolution dépend de la taille des particules, vitesse d'agitation et du degré de saturation (Mathlouthi et Reiser,1995 ; Jarosz,2020).

I.6.5 Le Degré Brix

Lorsqu'on chauffe une solution, l'eau s'évapore et lorsqu'elle est totalement évaporée, il reste les matières sèches(MS).Une solution est donc composée de matières sèches(MS) et d'eau(E) :

$$\text{Solution}=\text{Matière sèche} +\text{l'eau}=\text{MS}+\text{E}$$

Avec : $\begin{cases} MS : \text{Matières sèches;} \\ E : \text{Eau.} \end{cases}$

Le Brix est le rapport entre la quantité de matières sèches contenues dans l'eau et la quantité de solution. Le Brix est généralement exprimé en pourcentage (Anonyme 2, 2002).

$$\text{Le Brix (\%)}=\frac{\text{la quantité de la matière sèche}}{\text{la quantité de la solution}} *100=\frac{m(\text{MS})}{m(\text{MS})+m(\text{E})} *100$$

I.6.6 Viscosité

La viscosité, ou résistance à l'écoulement, de n'importe quel fluide est une mesure primordiale du point de vue manipulation des fluides. Elle est une caractéristique du produit final et elle est très importante pour le contrôle du procédé. La viscosité d'une solution de saccharose augmente de façon non linéaire avec la teneur en solides et diminue rapidement avec l'augmentation de la température. De façon générale, la viscosité augmente avec la diminution de la pureté du saccharose. Atitre d'exemple, la viscosité des solutions de saccharose en fonction de ces deux variables sont présentées dans le tableau I.2(Arzate,2005).

Tableau I.2 : Effet de concentration et de température sur la viscosité des solutions de saccharose (Pennington et Baker,1990).

Brix %	Viscosité	
	20°C	50°C
20	2	N.D
40	6	N.D

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

60	60	12
70	480	N.D

N.D : Non déterminé

I.6.7 Pouvoir rotatoire

Le pouvoir rotatoire, dû à l'asymétrie de la molécule, est élevé pour les sucres et plus particulièrement pour le saccharose. Rappelons que, dans la mesure où l'on admet que les lois de Biot sont respectées, pour une substance donnée, à une radiation donnée, la rotation est proportionnelle à la longueur traversée et à la concentration de cette solution (**Mathlouthi et al., 1995**).

On peut ainsi définir : $[\alpha]_{\lambda} = \left(\frac{\alpha}{c \cdot \ell} \right)$

Avec : α : angle de déviation exprimé en degré ;

ℓ : longueur de la cuve exprimé en dm ;

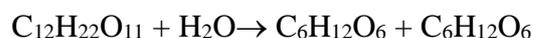
c : concentration exprimé en $\frac{g}{cm^3}$.

I.6.8 Granulométrie

Le sucre se présente sous différentes formes granulométriques, chacune adaptée aux multiples besoins des industries utilisatrices. La granulométrie est exprimée au moyen de deux chiffres : l'ouverture moyenne qui caractérise la dimension moyenne des cristaux (OM) et le coefficient de variation (CV) qui caractérise la dispersion des cristaux autour de cette valeur moyenne (**Doucet, 1992**).

I.6.9 Inversion

Sous l'influence des acides, dans la solution aqueuse, le saccharose se décompose en glucose et fructose. Durant cette réaction l'acide est catalyseur. C'est simplement une réaction entre saccharose et eau :



saccharose glucose fructose

La solution obtenue prend le nom d'inverti ou de sucre inverti (Industriellement le sucre inverti est obtenu par l'action de la chaleur sur une solution de saccharose en présence d'un catalyseur ou encore par l'action d'une enzyme spécifique, l'invertase (**Arzate,2005**)).

Le mélange obtenu n'oriente pas le plan de polarisation à droite, comme le saccharose, mais à gauche, parce que le pouvoir rotatoire lévogyre du fructose est plus grand que le pouvoir rotatoire dextrogyre du glucose. La rotation à droite se transforme en rotation à gauche, c'est pourquoi cette réaction s'appelle la réaction d'inversion (**Asadi, 2007 ; Silin, 1967**). L'inversion peut se produire dès les pH faibles et jusqu'à un pH de 8.5 (**Mathlouthi et al.,1995**).

I.6.10 Activité de l'eau (a_w)

La dissolution du sucre dans l'eau entraîne une diminution de l'entropie car les molécules d'eau, sous l'effet du sucre, se retrouvent dans un état organisé. Les molécules d'eau sont en effet moins libres de passer en phase vapeur, ce qui est à l'origine d'une baisse de la pression de vapeur. Par définition, l'activité de l'eau (a_w) est le rapport de la pression de vapeur de la solution à celle de l'eau ($a_w = \frac{P}{P_0}$), et par convention, l'activité de l'eau pure est égale 1. Des concentrations croissantes de saccharose vont donc diminuer l'activité de l'eau des solutions (**Mathlouthi et al.,1995**).

I.7 Propriétés chimique du sucre

I.7.1 Polarisation

Une solution de sucre est composée de matières sèches (MS) et d'eau (E). Ces matières sèches contiennent des sucres (S) et des non-sucres (NS) ; D'où :

$$MS = S + NS$$

$$Quantité\ de\ la\ solution = m(S) + m(NS) + m(E)$$

Avec : **MS**: matières sèches;

E: eau;

NS: non – sucres.

La teneur en sucre d'une solution est le rapport entre la quantité de sucre contenue dans la solution et la quantité de solution. Elle est généralement exprimée en pourcentage par la formule suivante.

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

I.7.2 Pureté

Du fait que la pureté est le rapport entre la quantité de sucre et la quantité de matières sèches, la dilution ou la concentration d'une solution est sans effet sur sa pureté. Elle est généralement exprimée en pourcentage.

$$\text{la pureté} (\%) = \frac{\text{la quantité de sucre (S)(g)}}{\text{la quantité de matière sèche (MS)(g)}} * 100 = \frac{\text{m(S)(g)}}{\text{m(MS)(g)}} * 100$$

I.7.3 Les non- sucres

Les non-sucres(NS) sont constitués de cendres et de matières organiques. Après évaporation totale de l'eau, il reste les matières sèches(MS), C'est à dire :

$$MS = S + NS = S + \text{Matières organiques} + \text{cendres}$$

Si l'on continue à chauffer, le sucre et les matières organiques se consomment :

- A 128 °C, l'ensemble donne du caramel ;
- A 600 °C, le sucre et les matières organiques disparaissent complètement, il ne reste que les cendres.

I.7.4 Saturation

Une solution de sucre est dite saturée à une température donnée lorsque, mise en présence de cristaux de sucre, ces derniers ne se dissolvent plus et ne grossissent plus. En dessous de cette concentration en sucre, la solution est dite sous-saturée, les cristaux peuvent encore se dissoudre. On peut dépasser la limite de solubilité soit en refroidissant la solution, soit en éliminant l'eau par évaporation.

$$\text{Saturation} = \frac{\text{Masse maximale de sucre dissout (m S)}}{\text{Masse de l'eau (m E)}}$$

I.7.5 Sursaturation

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

On peut dissoudre 3,69 kg de sucre pur dans 1 litre d'eau pure à 80°C et que l'on obtient ainsi une **solution saturée**.

Portons cette solution à ébullition, il s'évapore 0,2 Kg d'eau, puis on laisse la solution refroidir à 80°C. Le S/E de la solution ainsi obtenue est :

$$\frac{S}{E} = \frac{\text{la quantité de sucre (pur) dissout (kg)}}{\text{la quantité d'eau (kg)}} = \frac{3.69}{(1-0.2)} = 4.61 \frac{\text{kg}}{\text{kg}}$$

Remarque : $\frac{S}{E} = 4.61 \text{ Kg/kg}$ est une valeur qui indique la sursaturation. Ce qui veut dire que l'on a obtenu une solution qui contient plus de sucre dissout qu'une solution saturée. La solution est dite **sursaturée**. Le refroidissement est un moyen pour tenir des solutions sursaturées.

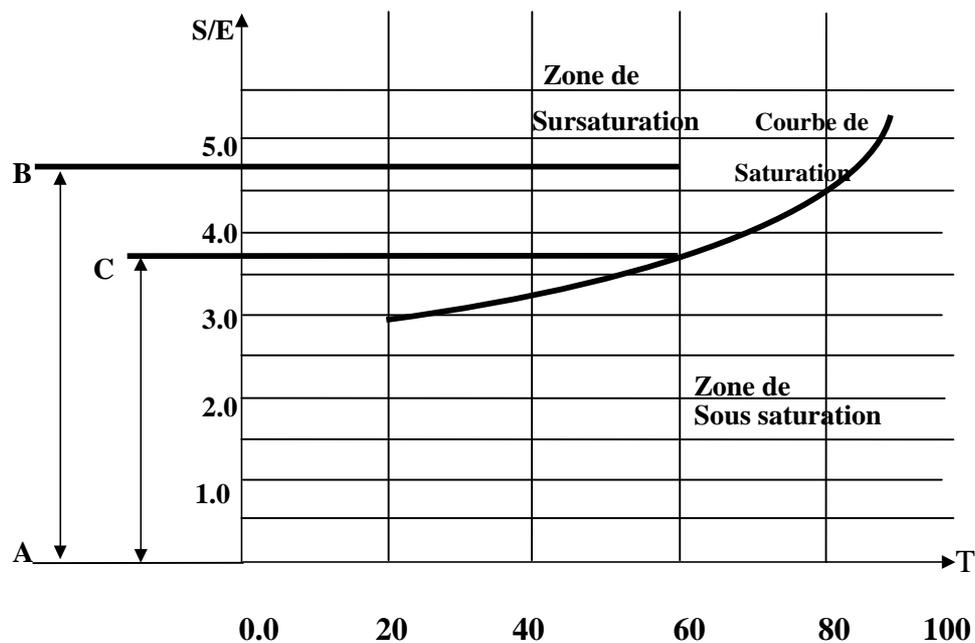


Figure I.8 : Courbe de variation de S/E en fonction de la température

$$\left\{ \begin{array}{l} AB = \frac{S}{E} = \text{une valeur qui indique que la solution est sursaturée à } 80^{\circ}\text{C}; \\ AC = \frac{S}{E} = \text{une valeur qui indique que la solution est saturée à } 60^{\circ}\text{C}. \end{array} \right.$$

A partir de la courbe précédente, on peut définir le coefficient K de sursaturation à une température donnée, comme le rapport des longueurs AB/AC.

$$K_{sursaturation} = \frac{AB}{AC}$$

Dans l'exemple précédent :

$$\left\{ \begin{array}{l} AB = \frac{S}{E} \text{ à } 80^{\circ}\text{C} = \frac{3.69(Kg)}{(1-0.2)(kg)} = 4.61 \left(\frac{Kg}{kg} \right) \\ AC = \frac{S}{E} \text{ à } 60^{\circ}\text{C} = \frac{3.69(kg)}{1(kg)} = 3.69 \left(\frac{Kg}{kg} \right) \end{array} \right. \quad \text{Avec : } K = \frac{AB}{AC} = \frac{4.61 \frac{Kg}{kg}}{3.69 \frac{Kg}{kg}} = 1.25$$

Ainsi, en évaporant de l'eau, on a obtenu une solution contenant 1,25 fois plus de sucre qu'une solution saturée. C'est ce que l'on réalise dans l'appareil à cuire.

Remarque :

Si : $\left\{ \begin{array}{l} K < 1: \text{ On dit que la solution est sous - saturée;} \\ K = 1: \text{ On dit que la solution est saturée;} \\ K > 1: \text{ On dit que la solution est sursaturée.} \end{array} \right.$

I.8 processus de raffinage du sucre roux

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

La raffinerie de sucre est composée de plusieurs ateliers appelés sections où le sucre roux de canne subit des traitements et des transformations qui vont l'épurer afin de fabriquer du sucre blanc (**Anonyme I, 2010**).

I.8.1 Section affinage et refonte

I.8.1.1 Affinage :

L'affinage ou empattage consiste à enlever les couches d'impuretés présentes à la surface des cristaux du sucre brut (**Anonyme I, 2010**).

Le sucre roux est déversé dans un malaxeur et mélangé par un brassage à un sirop chaud légèrement sous saturé. Cette opération permet à la couche superficielle des cristaux (la plus impure) de se dissoudre (**Mathlouthi et Barbara, 2004**). Cette étape aboutit à la préparation du magma entre 80 et 85° Brix. Environ 50% des colorants sont éliminés pendant l'affinage (**Decloux et al. 1999**).

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

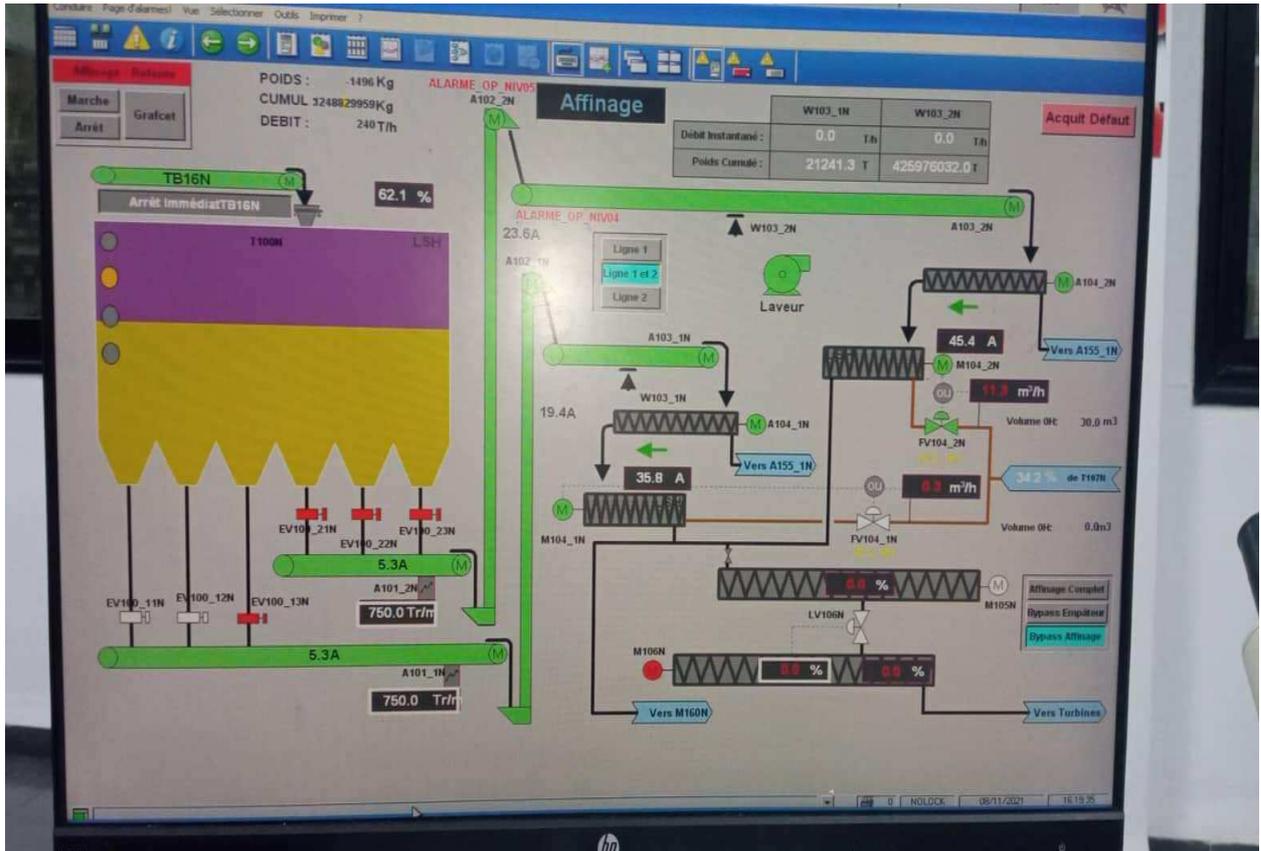


Figure I.9 : Section d'affinage

I.8.1.2 Refonte :

Le sucre affiné passe dans des turbines d'affinage pour être débarrassé des impuretés et matières colorantes sur la surface des cristaux, puis refondu dans un fondoir avec de l'eau sucrée et chaude à 850°C pour augmenter la solubilité du sucre et atteindre un °Brix de 70%, formant « un sirop de refonte » (Rachedi, 2002).

Le sirop de refonte obtenu est acheminé vers des séparateurs (tamiseuses), afin de le débarrasser des déchets grossiers qui sont recueillis dans un bac à déchets, avant de subir une épuration par chaulage et carbonatation (Decloux et al. 1999).

I.8.2 Section carbonatation

La carbonatation est un procédé chimique permettant de décolorer le sirop résultant de la refonte du sucre brut affiné.

Ce procédé consiste à additionner au sirop, de la chaux préparée sous forme de lait de chaux, qui est introduit dans des chaudières à carbonater. Cette chaux est ensuite saturée au moyen de dioxyde de carbone (CO₂). La combinaison de la chaux et de dioxyde de carbone

conduit à la formation d'un précipité de carbonate de calcium (CaCO_3) qui piège les substances non sucrés, contenues dans le sirop de refonte (Anonyme I, 2010).

- **La réaction de la carbonatation :**



I.8.2.1 Préparation du lait de chaux :

Le lait de chaux est constitué d'un mélange de chaux industrielle et du petit jus (eau sucrée) récupéré lors de la filtration.

On utilise le petit jus car la chaux se dissout plus facilement dans une eau sucrée afin d'augmenter sa solubilité et de minimiser la quantité d'eau dans le processus. Le mélange est homogénéisé et agité afin d'éviter la décantation de la chaux (Rachedi, 2002).

- **Réaction de préparation de lait de chaux**



I.8.2.2 Chaulage

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

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

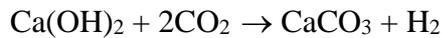
- **Réaction de lait de chaux**

Saccharose + Lait de chaux → Saccharate de chaux

➤ **Première carbonatation**

L'objectif de la première carbonatation est de précipiter l'excès de chaux en suspension dans le jus sous forme de carbonate de calcium (CaCO_3), sur les cristaux de carbonate naissants s'adsorbent les impuretés et plus particulièrement les colorants provenant de la décomposition de sucre invertis produit de dégradation alcaline des hexoses (PDAH).

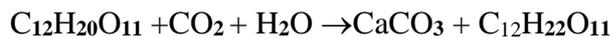
Pratiquement, le jus chaulé est réchauffé puis barboté au CO₂ selon la réaction (**Mathlouthi et Barbara, 2004**) :



Le point optimum de carbonatation est obtenu pour un pH de 11,10 à 11,20 et une alcalinité de 1,0 à 1,25 g/Lde CaO(**Burzawa, 1999 ; Decloux, 2002**)

➤ **Deuxième carbonatation**

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



➤ **Troisième carbonatation**

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

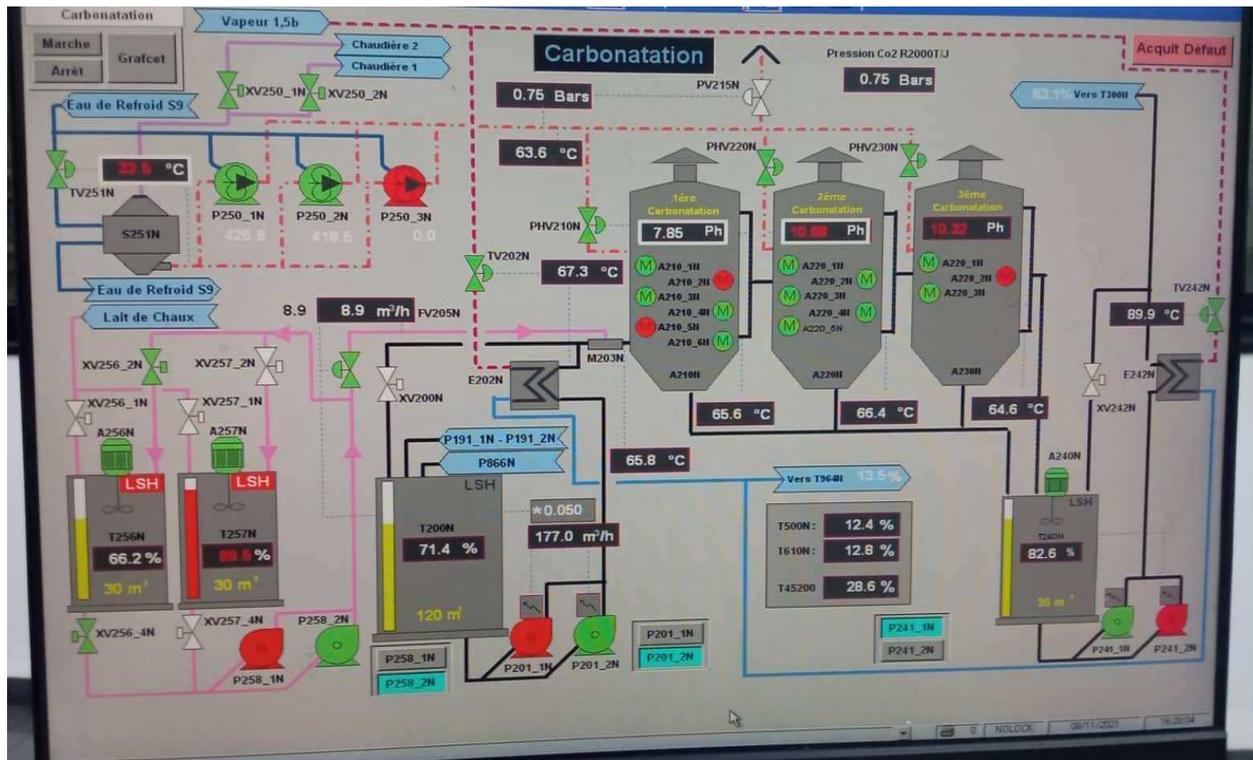


Figure I.10: section de carbonatation

I.8.3 Section filtration

Le sirop issu de la carbonatation contient une suspension de carbonate de calcium. Cette dernière est séparée par une filtration sur des filtres Auto-nettoyants à bougies en toile.

Le sirop filtré est envoyé vers la décoloration, la boue résultante passera par un filtre presse pour récupérer le sucre résiduel, sous forme de petit jus. Les boues (ou écumes) sont évacuées et utilisées pour l'amendement du sol (engrais)(Anonyme I, 2010).

I.8.4 section décoloration

La décoloration consiste à réduire le taux de la coloration du sirop issu de la section d'épuration jusqu'à 80%, elle est effectuée par des résines échangeuses d'ions dans le but d'améliorer le rendement de la cristallisation (Theoleyere et al., 1999 ; Lameloise et Decloux, 2007).

De façon générale, les colorants du sucre sont des macromolécules ayant un comportement d'acides faibles. Ils se présentent sous la forme de longue chaînes carbonées hydrophobes et

possédant une extrémité hydrophile au niveau de leur fonction acide faible (**Theoleyre, 1999**).

En effet, les résines échangeuses d'ions possèdent, outre leurs propriétés d'échange d'ions, de très bonnes propriétés d'adsorption. Les résines anioniques fortement basiques se révèlent plus efficaces sur le sirop de canne. La régénération se fait avec une saumure alcaline (*NaCl* 10%, *NaOH* 0,5%), l'eau quitte la résine par effet d'osmose, entraînant avec elle les composés fixés (**Lameloise et Decloux, 2007**).

I.8.5 Section concentration

Cette opération consiste à ramener la concentration du sirop décoloré à un Brix de 70% par l'évaporation d'une certaine quantité d'eau introduite par les opérations précédentes. (**Anonyme I, 2010**).

Avant de se cristalliser, le sirop est concentré dans un évaporateur, et les vapeurs issues de ce dernier sont récupérées pour les besoins de chauffage durant le processus (**Bouras, 1998**).

Le jus est ramené à une température d'ébullition afin d'éliminer l'eau, entraînant ainsi sa concentration sous forme d'un sirop entre 60 et 70° Brix de saccharose, le sirop initialement à environ 58% de Brix, se retrouve à la sortie du concentrateur à 72° de Brix.

A la fin de l'évaporation, le sirop de sucre se caractérise par un taux de pureté de 93 %. Ce sirop va entrer dans le processus de cristallisation. Pour cela, il est transvasé dans une cuve sous vide à une pression d'environ 0,2 bar et maintenu à une température inférieure à 80°C (ce qui évite la caramélisation du sirop et permet l'évaporation de l'eau) (**Bouras, 1998**).

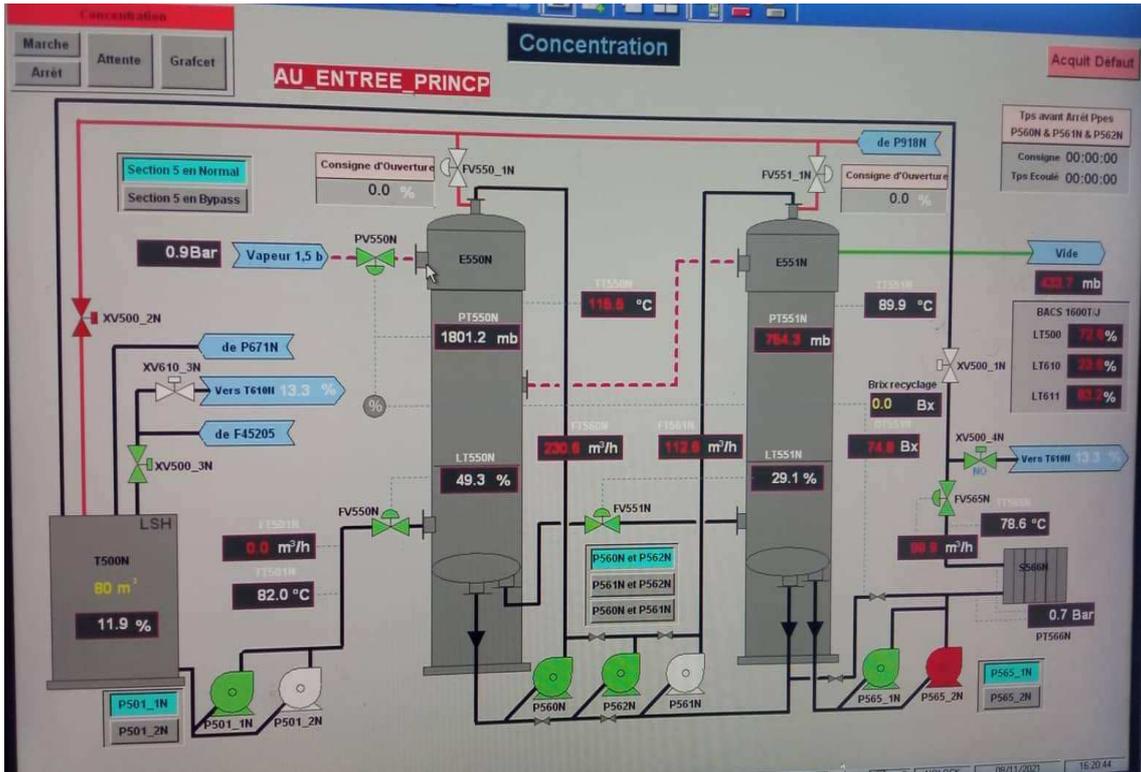


Figure I.11 : section de concentration

I.8.6 Section cristallisation

La cristallisation du sucre est une opération qui permet d'extraire le saccharose en solution dans le jus concentré (Gromdin-Perez et al., 2005), alors que les impuretés restent concentrées dans le liquide, pour donner en final une solution résiduelle épuisée (Mathlouthi et Barbara, 2001).

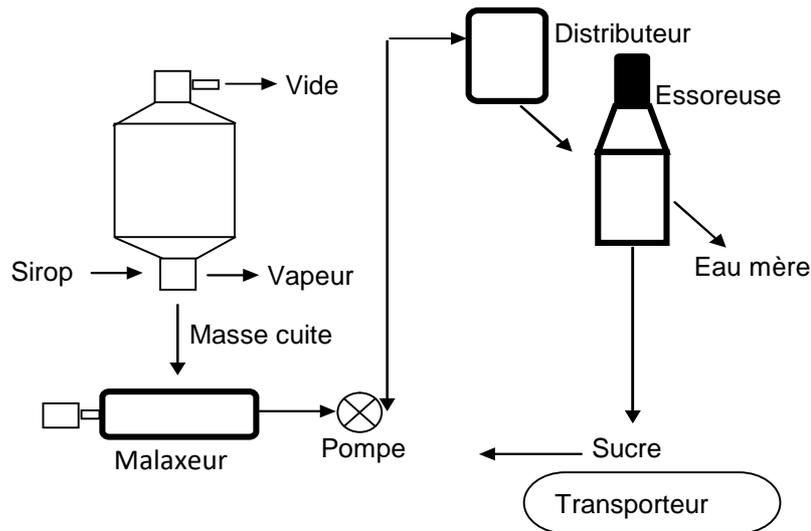


Figure I.12: Atelier de cristallisation (Decloux, 2003).

I.8.6.1 Cristallisation Haut Produit (HP)

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

Le sirop d'alimentation du premier jet est appelé « liqueur standard », le sirop et les cristaux formés au cours de la cristallisation forment la « masse cuite », ce sirop qui entoure les cristaux est dit eau mère puisqu'il nourrit les cristaux.

Lors de l'essorage, l'eau mère entourant les cristaux devient « égout pauvre » l'eau utilisée pour le clairçage de sucre dans les turbines centrifugeuses constitue « l'égout riche » (Mathlouthi et Barbara, 2001).

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

I.8.6.2 Cristallisation Bas produit (BP) :

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

Les cuites sont identiques à celle de la cristallisation HP. La première étape donne un sucre A qui peut être séché et consommé comme sucre roux ou refondu pour être réintégré au raffinage. Les jets B et C ne sont que des moyens d'épuisement complémentaires.

L'égout final de la centrifugation de la masse cuite C contient le non sucre et une partie équivalente de sucre qui n'est plus cristallisable s'appelle la mélasse.

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

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

I.7.7 Section Séchage et maturation

Le sucre cristallisé blanc, issu du premier jet, est évacué encore chaud (45 à 60°C) vers un sécheur, il présente un taux d'humidité de 1%. Subit un séchage par de l'air chaud dans des cylindres, séchoirs rotatifs ou en lits fluidisés, puis refroidi pour ramener ce taux à des valeurs comprises entre 0.03 et 0.06% (**Mathlouthi et Barbara, 2001**).

L'air requis pour le séchage doit être sec, chaud et filtré, avec une température de 35°C. Avec un volume d'air de l'ordre de 1600 m³ par tonne de sucre (**Schrevel, 2001**).

Ces deux étapes sont nécessaires à la bonne conservation du sucre et permettent d'éviter son altération (**Frédéric, 2004**).

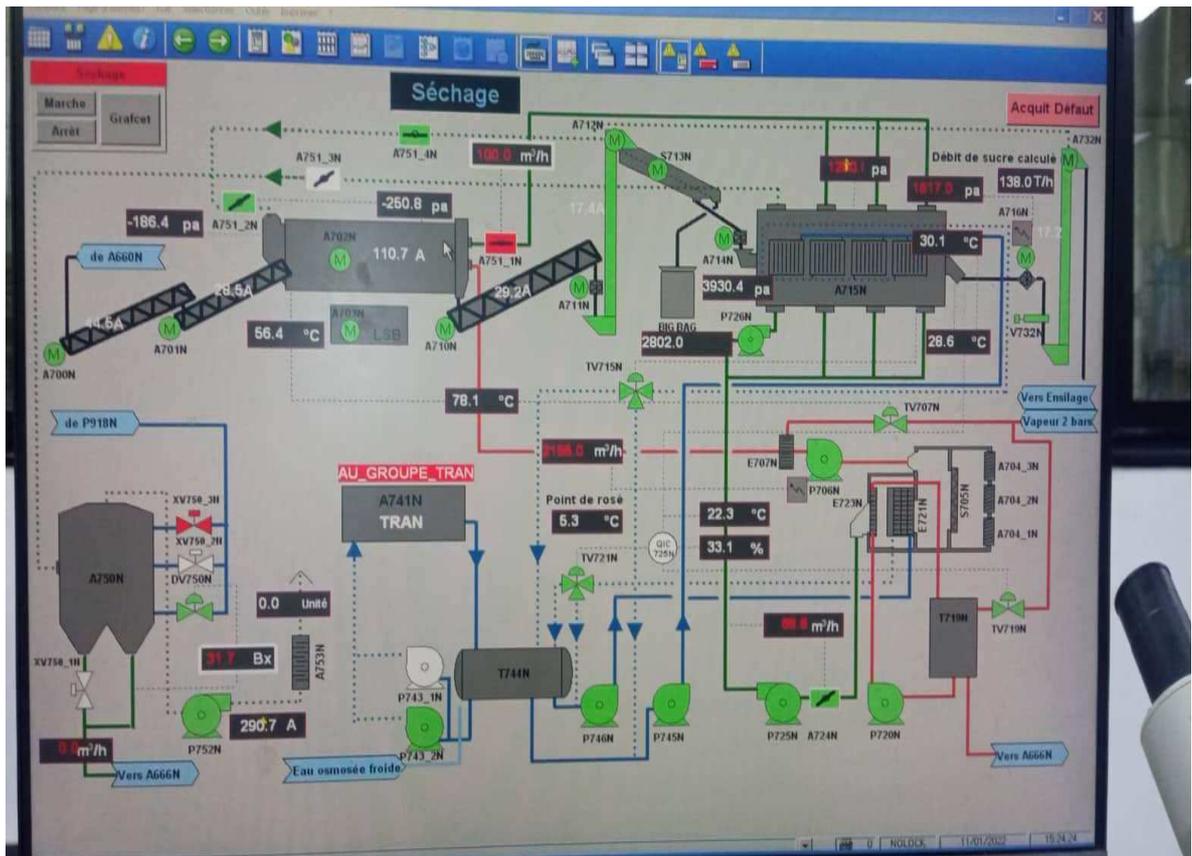


Figure I.13 : Section de séchage

I.7.8 section Stockage et conditionnement

Après séchage, le sucre est tamisé, classé et pesé puis dirigé vers les ateliers de conditionnement où il peut être directement ensaché ou conditionné en morceaux ou stocké en silos. Le sucre destiné au stockage en silo est en apparence sec et fluide, mais la cristallisation du sucre se poursuit au cours des premiers jours de stockage ; s'accompagne d'une libération d'eau qu'il faut éliminer par ventilation des silos (maturation). (Romain et al., 2007).

Le temps de maturation du sucre est de 48 heures. Un air conditionné circule à l'intérieur des silos avec un débit de 2500 m³ /h en continu, dont le but de maintenir le sucre dans de bonnes conditions de température et d'humidité, et pour que le sucre soit fluide au moment de la vidange des silos (Rachedi, 2002).

I.8 Qualité des sucres

Le but de l'usine est de fabriquer du sucre correspondant à la qualité exigée par les clients, au meilleur coût possible.

L'essorage joue un rôle important dans la qualité du sucre produit. De lui dépend :

- La coloration
- La quantité de cendres

Si on dépasse la qualité recherchée, on va augmenter les coûts de fabrication et celle-ci est moins rentable. La qualité de la fabrication consiste à atteindre l'objectif fixé. Si on n'atteint pas la qualité voulue, on ne satisfait pas les clients et on ne vend pas.

Les sucres sont classés en 3 catégories suivant leur total de points européens qui sont calculés selon 3 critères :

- L'aspect
- La coloration
- Les cendres

La mesure de chaque critère donne un nombre de points dont le total détermine la catégorie dans laquelle le sucre sera placé (**Anonyme I, 2010**).

I.8.1 Aspect

La mesure de l'aspect se fait par comparaison du sucre produit avec 7 échantillons numérotés de 0 à 6. La note d'aspect sera celle qui correspondra le mieux à un des échantillons.

I.8.2 Coloration

La coloration du sucre en solution se mesure à l'aide d'un appareil, le colorimètre. On dissout l'échantillon de sucre dans de l'eau distillée pour obtenir une solution à 50 °Bx, puis on la filtre. Une cellule mesure la quantité de lumière qui traverse la solution. Le colorimètre affiche directement la lumière absorbée par la solution.

$$\text{Lumière absorbée} = \text{lumière émise} - \text{lumière atteignant la cellule}$$

A partir de la valeur relevée sur le colorimètre, on calcule les points de coloration.

I.8.3 Les cendres

Pour mesurer la teneur en cendres, on mesure la conductivité d'une solution contenant une quantité précise de sucre à analyser. Le sucre est un mauvais conducteur ; l'eau distillée ne conduit pas le courant. La conductivité dépendra de la quantité de cendres qui, elles, sont conductrices. On déduit la teneur en cendres de la conductivité mesurée et on calcule le nombre de points européens correspondant.

La quantité de cendres contenues dans le sucre constitue un critère de pureté. Les cendres sont essentiellement des sels minéraux(**Anonyme I, 2010**).

I.10 Intérêt technologique

Le sucre, en plus de donner le goût sucré, il :

- Sert d'agent de conservateur (confiture) ;
- Permet de conserver l'humidité et de prévenir la perte de fraîcheur (pâtisseries) ;
- Rehausse la texture et les couleurs des fruits et légumes en conserve ;
- Empêche la formation de cristaux de glace dans les mélanges congelés comme la Crème glacée ;
- Aide à la fermentation de la levure dans les produits(comme le pain) et dans les produits contenant de l'alcool (comme le vin) .
- Le sucre ralentit le séchage des ciments et des colles

Le sucre possède des propriétés fonctionnelles qui en font un ingrédient important :

- Propriétés sensorielles (Goût, caramélisation, saveur, texture, attendrisseur...)
- Propriétés physiques (Solubilité, point de congélation, point d'ébullition)
- Propriétés microbiennes (Conservation, fermentation)
- Propriétés chimiques (antioxydant) (**Asadi,2007**).

Chapitre II : Matériels et Méthodes

Le présent chapitre consiste à présenter un historique de l'entreprise d'accueil, à savoir CEVITAL, sa position géographique et ses différentes unités de production qui ont pour mission principale de contribuer au développement de l'économie nationale, suivi d'un aperçu sur la spectrophotométrie UV-Visible (méthode spectrophotométrique utilisée pour l'analyse des échantillons). Ensuite nous présenterons les divers prélèvements d'échantillons, de sucre brut et ses produits intermédiaires, effectués au niveau des diverses sections de la raffinerie 3500T. Enfin nous présenterons les divers protocoles analytiques suivis, ainsi que le matériel utilisé durant la période de notre stage au sein du laboratoire physico-chimique de la raffinerie 3500T, en vue de déterminer quelques paramètres physico-chimiques du sucre roux et des différents produits intermédiaires obtenus au cours du procédé de raffinage .

II.1 Présentation de l'entreprise

II.1.1 Historique de groupe CEVITAL

Le groupe CEVITAL est un conglomérat algérien de l'industrie agroalimentaire, la grande distribution, l'industrie et les services. Créé par l'entrepreneur ISAAD REBRABen 1998 à Bejaïa, son complexe de production se situe dans le port de Bejaïa et s'étale sur une superficie de 45000 m².

Avec un taux de croissance annuel à deux chiffres, le groupe CEVITAL a atteint aujourd'hui une taille qui lui permet d'acquérir le statut d'acteur majeur régional et continental, consacré par le rapport *the african challengers de BCG*, le prestigieux cabinet américain de stratégie.

CEVITAL contribue largement au développement de l'industrie agroalimentaire nationale. Elle vise à satisfaire le marché national et exporter le surplus, en offrant une large gamme de produits de qualité. Les nouvelles données économiques nationales dans le marché de l'agroalimentaire, font que les meilleurs sont ceux qui maîtrisent d'une façon efficace et optimale les coûts, les charges et ceux qui offrent le meilleur rapport qualité prix. Ceci est nécessaire pour s'imposer sur le marché que CEVITAL négocie avec les grandes sociétés commerciales internationales. Ses produits se vendent dans différents pays africains (Nigeria, Niger, Mali, Tunisie, Lybie ...).

II.1.2 Situation géographique de groupe CEVITAL

Le groupe CEVITAL est implanté au niveau du nouveau quai du port de Bejaïa, à 3km du sud –ouest de cette ville, à proximité de la RN 26. Cette situation lui a beaucoup profité étant donné qu'elle lui confère l'avantage de proximité économique. En effet, elle se trouve proche du port et l'aéroport.

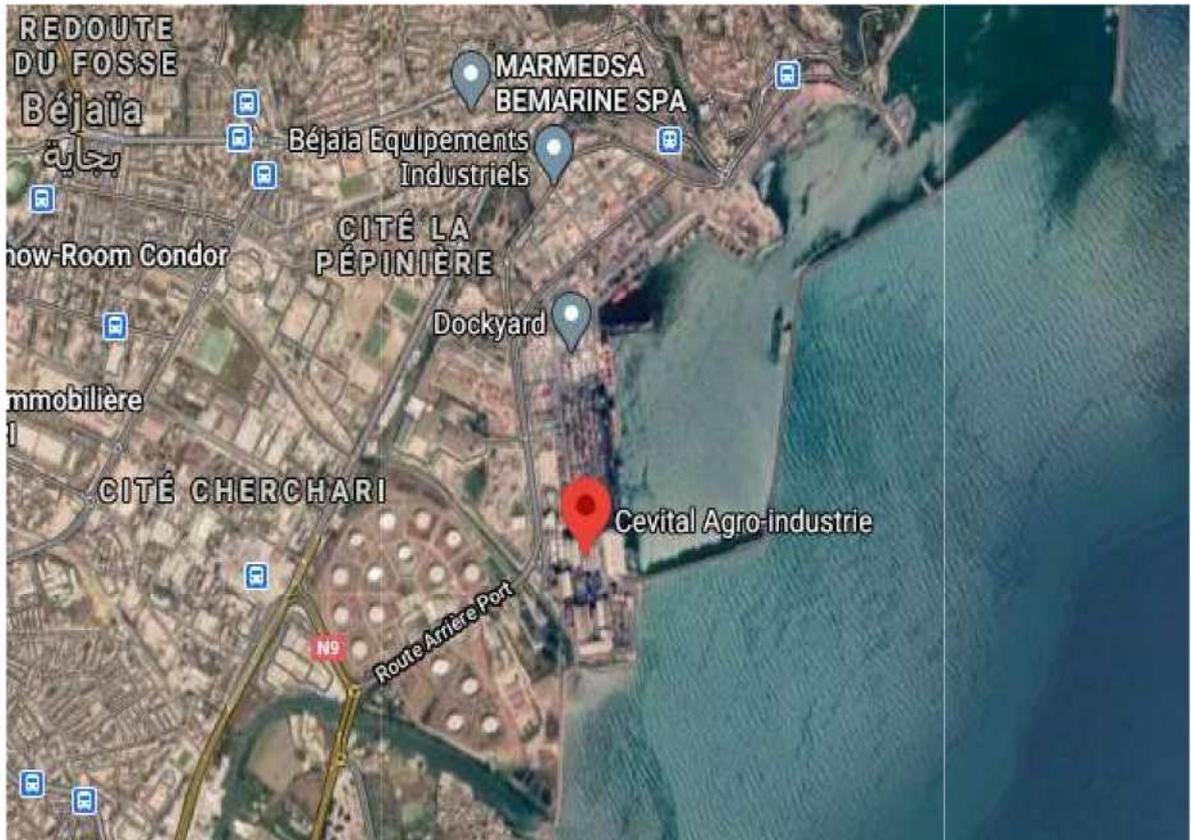


Figure II.1 : Situation géographique du complexe CEVITAL

II.1.3 Les unités de production du groupe CEVITAL

Le groupe CEVITAL dispose de :

- ✓ Deux raffineries de sucre 3000T et 3500T
- ✓ Une unité de sucre liquide
- ✓ Une raffinerie d'huile
- ✓ Une margarinerie
- ✓ Une unité de conditionnement de sucre
- ✓ Une unité de conditionnement d'eau minérale
- ✓ Une unité de fabrication et conditionnement de boissons rafraichissantes

- ✓ Une conserverie
- ✓ Une unité de fabrication de chaux calcinée.
- ✓ Elle dispose également de plusieurs silos portuaires ainsi qu'un terminal de déchargement portuaire d'une capacité de 2.000 tonnes/heure ce qui en fait le premier terminal de déchargement portuaire en méditerranée. [1]

II.1.4 Organigramme de l'entreprise CEVITAL

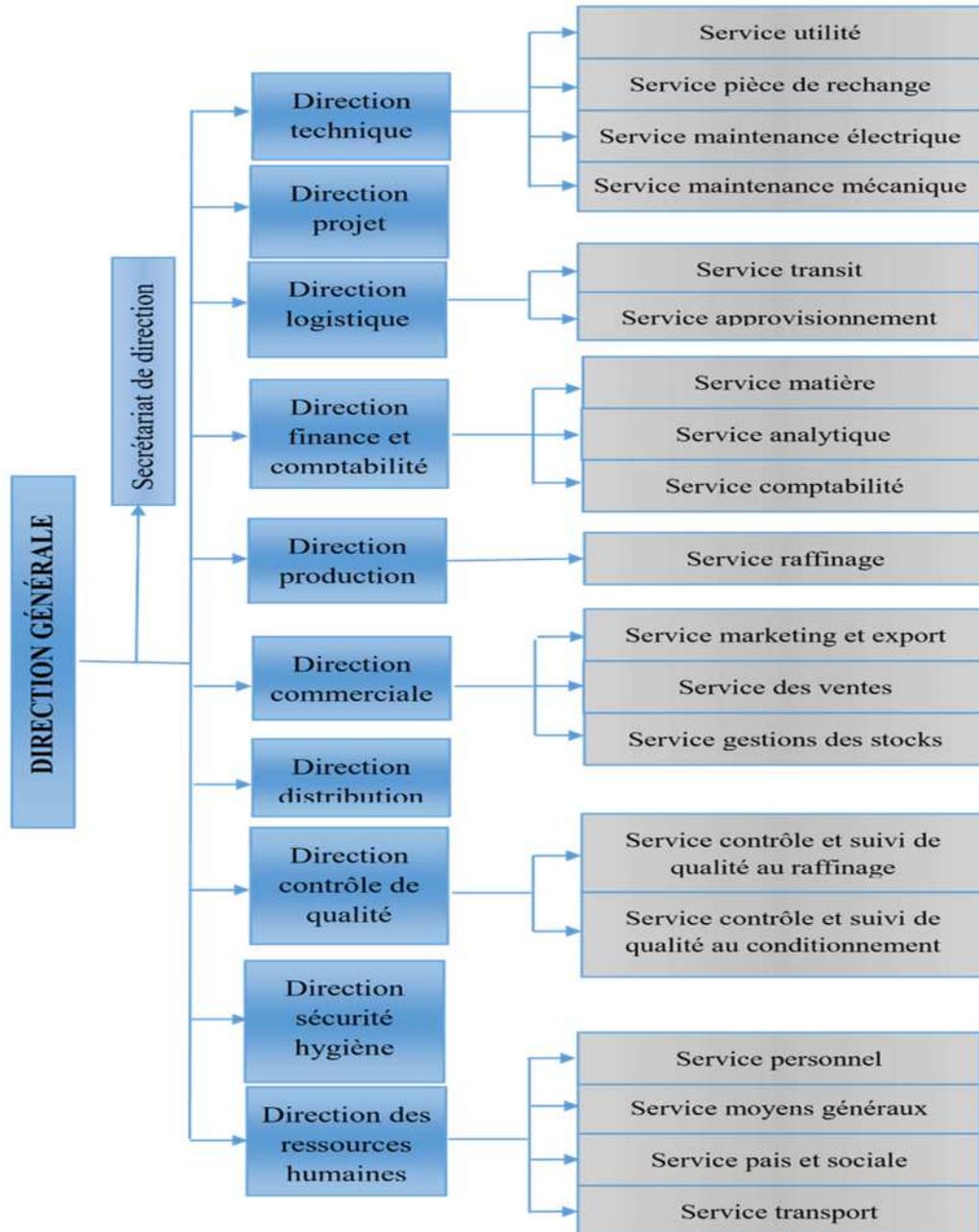


Figure II.2 : Organigramme de l'entreprise CEVITAL

II.1.5 Mission et objectifs du groupe CEVITAL

L'entreprise a pour mission principale de développer la production et d'assurer les qualités et le conditionnement des huiles, des margarines et du sucre à des prix nettement plus compétitifs et cela dans le but de satisfaire le client et le fidéliser. Les objectifs visés par CEVITAL peuvent être présentés comme suit :

- ✓ L'extension de ses produits sur tout le territoire national
- ✓ L'importation de graines oléagineuses pour l'extraction directe des huiles brutes
- ✓ L'optimisation de ses offres d'emploi sur le marché du travail
- ✓ L'encouragement des agriculteurs par des aides financières pour la production locale de graines oléagineuses
- ✓ La modernisation de ses installations en termes de machine et technique pour augmenter le volume de sa production
- ✓ Le positionnement de ses produits sur le marché étranger par leur exportation

II.2 Spectrophotométrie d'absorption dans l'ultra violet et le visible

II.2.1 Principe de la spectrophotométrie UV-Visible

Le principe de la spectrophotométrie d'absorption dans l'ultraviolet et le visible repose sur l'absorption du rayonnement par les molécules dans le domaine allant de 190-800(Benedetto Dominique et Breuil Philippe. 2007).

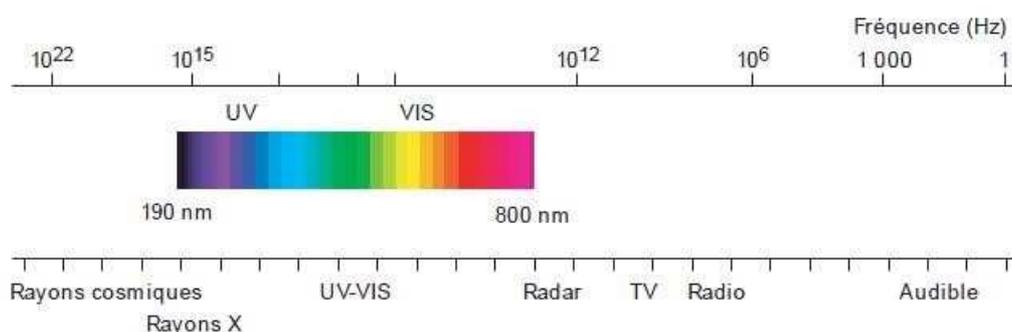


Figure II.3 : Domaine spectral du rayonnement électromagnétique(Benedetto Dominique et Breuil Philippe. 2007).

L'absorption de la lumière dans le domaine spectral a pour origine l'interaction des photons de la source lumineuse avec les électrons des liaisons des espèces présentes dans l'échantillon observé (Rouessac Francis et Rouessac Annick. 2004).

II.2.2 Composants :

Un spectrophotomètre est constitué schématiquement de :

1. Une source lumineuse ;
2. Un sélecteur de longueur d'onde (monochromateur) ;
3. Une cellule de mesure ;
4. Système de mesure de l'intensité lumineuse (détecteur) ;
5. Dispositif d'affichage et de traitement du signal.

II.2.3 Catégorie de spectrophotomètres

On peut classer les appareils en deux catégories :

- Les appareils à simple faisceau,
- Les appareils à double faisceau, à montage optique direct (**Benedetto Dominique et Breuil Philippe. 2007**).

☞ Spectrophotomètre mono faisceau :

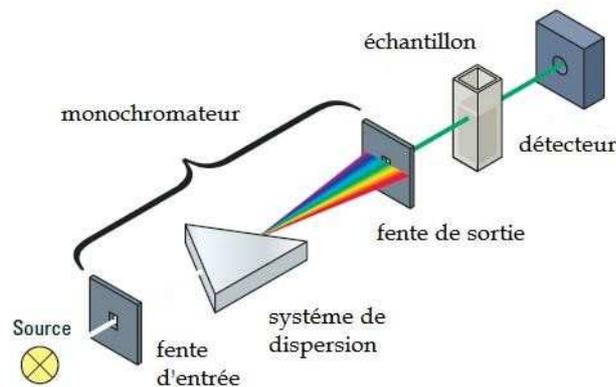


Figure II.4: Spectrophotomètre simple faisceau (**Benedetto Dominique et Breuil Philippe. 2007**).

L'intensité du blanc et celle de l'échantillon sont mesurées consécutivement dans un intervalle de temps de quelques secondes à quelques minutes. Si l'intervalle est trop long, des variations d'intensité de la source lumineuse produisent des erreurs non négligeables sur les résultats (**Benedetto Dominique et Breuil Philippe. 2007**).

La lumière blanche polychromatique est décomposée dans le monochromateur (**Burgot Gwenola et Burgot Jean Louis., 2004**) avant qu'elle n'atteigne l'échantillon, ce qui permet de stabiliser l'intensité de la source (**Rouessac Francis et Rouessac Annick. 2004**).

Les cellules d'analyse se présentent sous forme de parallélépipède à base carrée de 1 cm de trajet optique ayant deux faces opposées polies, elles contiennent de 1 à 3ml de solution.

II.2.4 Application analytique :

La spectroscopie UV-Vis a toujours eu un double rôle dans l'analyse des composés organiques et inorganiques : (Analyse qualitative et Analyse quantitative).

☞ Analyse qualitative :

La méthode détecte les groupements fonctionnels chromophores mais ne présente cependant pas de structure suffisamment fine pour permettre l'identification certaine d'un analyte (Skoog, West et Holler. 1997). Elle doit toujours être complétée par d'autres informations physiques d'origine spectrale (IR, RMN, masse) ou chimiques comme les point de fusion, d'ébullition, réactions colorées (Burgot Gwenola et Burgot Jean Louis).

☞ Analyse quantitative :

La spectroscopie d'absorption dans l'ultraviolet et le visible est l'un des outils les plus utilisés en analyse quantitative (Skoog, West et Holler. 1997). L'absorption du rayonnement UV/visible par les molécules permet de mesurer leurs nombres dans le trajet du rayonnement (Benedetto Dominique et Breuil Philippe. 2007). Cette mesure se fait en utilisant des mélanges étalons de concentrations connues des substances à doser. La quantité de rayonnement absorbée par ces étalons est déterminée par le spectrophotomètre.

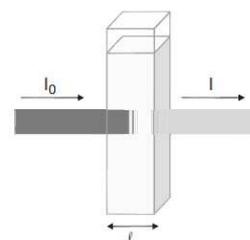
A une longueur d'onde où la molécule absorbe, les mesures reposent sur la loi de BEER et LAMBERT qui relie dans certaines conditions l'absorption de la lumière à la concentration d'un composé en solution (Rouessac Francis et Rouessac Annick. 2004).

Lois de BEER et LAMBERT :

$$I = I_0 e^{-\epsilon \ell C}$$

Ou encore, $A = \log \frac{1}{T} = \log \frac{I_0}{I}$; avec $T = \frac{I}{I_0}$

$$\Rightarrow A = -\log T = \log \frac{I_0}{I} = \epsilon \ell C$$



I_0 : Intensité du rayonnement monochromatique incident,

I : Intensité du rayonnement monochromatique transmis.

C : Concentration molaire de l'entité absorbante dans la solution (mol. L^{-1}) :

ε : Coefficient d'absorption molaire de la substance en solution (L/mol.cm) à λ considéré

ℓ : Longueur du trajet optique (en cm), qui correspond à l'épaisseur de la cuve de mesure.

T : La transmittance d'une solution est la fraction du rayonnement électromagnétique incident qui est transmis par un échantillon (Skoog et al., 1997).

A : Absorbance :

II.3 Echantillonnage et prélèvements

Le prélèvement des échantillons est l'une des étapes les plus importantes de notre étude. Le volume prélevé doit être suffisant pour effectuer toutes les analyses. L'échantillon ne doit pas être altéré entre le moment du prélèvement et celui de l'analyse, c'est pourquoi, les analyses doivent être faites juste après le prélèvement.

Des échantillons ont été prélevés, au moyen des vannes installées au niveau des sections de raffinage, pendant une période de 10 jours.

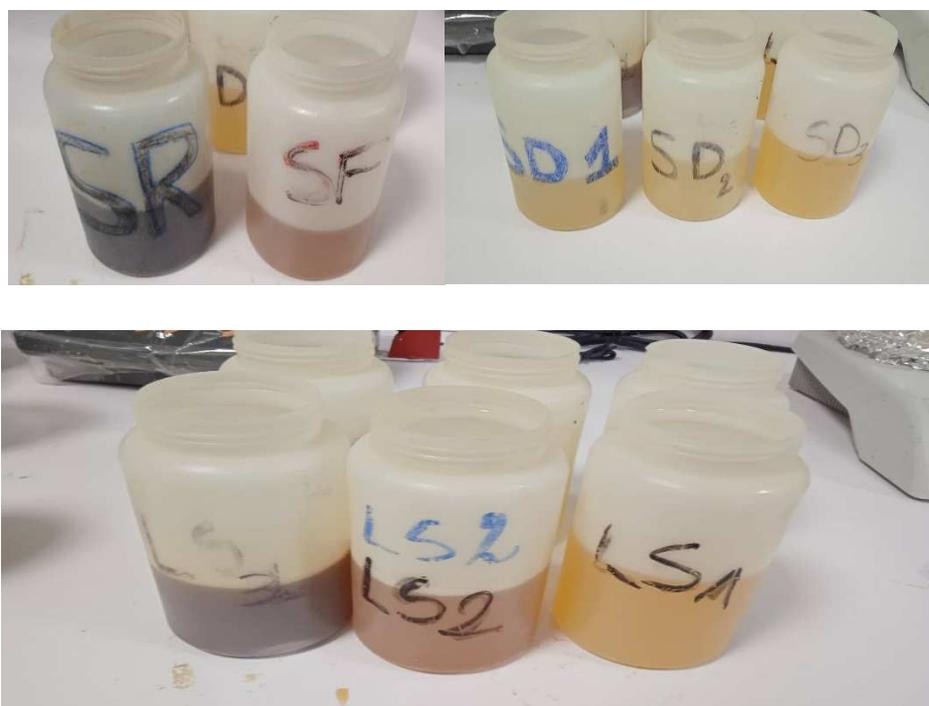
Les échantillons sont placés dans des flacons en plastique de 500 ml, ces flacons sont rincés préalablement avec de l'eau distillée et bien séchés.

Tableau II. 1 : Échantillons prélevés des différentes sections et leurs paramètres étudiés

Section	Échantillon prélevé	Paramètres étudiés
Affinage et refonte	Sirop de refonte (SR)	°Brix, Pureté, Polarisation, Couleur, pH
Filtration	Sirop filtré (SF)	
Décoloration	Sirop décoloré 1 (SD1) Sirop décoloré 2 (SD2) Sirop décoloré 3 (SD3)	
Concentration	Sirop concentré (SC)	
Cristallisation	Liqueur standard 1 (LS1) Liqueur standard 2 (LS2) Liqueur standard 3 (LS3)	

MATERIELS ET METHODES

Séchage	Sucre blanc	Propreté, humidité
---------	-------------	--------------------



.Figure II.5 : Echantillons prélevés dans les sections de raffinage

II.4 Matériel utilisé

L'ensemble du matériel utilisé durant cette étude est récapitulé dans le tableau ci-après:

Tableau II.2 : Liste des différents appareils utilisés au niveau du laboratoire.

Matériels
<ul style="list-style-type: none"> • Un spectrophotomètre, de marque thermo scientific, pour la mesure d'absorbance, • Un pH-mètre, de marque HANNA, pour la mesure des pH des différentes solutions, • Un Agitateur magnétique, de marque VELP SCIENTIFICA • Une balance de précision, de marque SARTORIUS ED4202S-CW • Un polarimètre, de marque POLASER-S, pour la mesure de la polarisation, • Brix-mètre : pour mesure de Brix • Une balance analytique, de marque SARTORIUS ED4202S-CW • Etuve réglée à 105° C, de marque MEMMERT 500

- **Agitateur rotateste**, de marque SM-30A CONTROL
- **Dessiccateur en verre**
- **Tamiseur**, de marque RETSCSH AS 200
- **Pompe à vide**
- **Conductimètre**, de marque knick
- Filtre 45 µm et des filtres plissés
- **Diluteur automatique mené de balance de précision**, de marque REI pour la réalisation des dilutions
- Des entonnoirs
- Des fioles de 100 ml
- **Un bain marri** pour refroidissement des différentes solutions
- Ordinateur muni de logiciel « CLEOPATRE M »
- Burette
- Eprouvette graduée de 50 ml
- Pipette
- Bécher : pour la manipulation
- Erlein Mayer pour les titrages

II.5 Analyses physico-chimiques

Le tableau suivant montre les dilutions effectuées pour quelques analyses qui concerne les différents produits.

Tableau II.3 : Produits analysés et leurs dilutions

<i>Produits</i> / <i>Analyses</i>	<i>Dilution</i>		
	<i>Brix</i>	<i>Polarisation</i>	<i>coloration</i>

<i>Sirop de refonte SR</i>	1/5	1/5	1/5
<i>Sirop filtré SF</i>	1/5	1/5	1/5
<i>Sirop décoloré 1 SD1</i>	1/5	1/5	1/5
<i>Sirop décoloré 2 SD2</i>	1/5	1/5	1/5
<i>Sirop décoloré 3 SD3</i>	1/5	1/5	1/5
<i>Sirop concentré SC</i>	1/5	1/5	1/5
<i>Liqueur standard 1 LS1</i>	1/5	1/5	1/5
<i>Liqueur standard 2 LS2</i>	1/5	1/5	1/5
<i>Liqueur standard 3 LS3</i>	1/5	1/5	1/5

II.5.1 Mesure du taux d'humidité du sucre roux et sucre blanc (Méthode ICUMSA 2007) :

☞ Principe

Le principe de la méthode est le séchage du sucre roux et sucre blanc à l'étuve à une température de 105⁰C suivi d'un refroidissement dans des conditions normalisées.

☞ Mode opératoire

1. Sécher le récipient et son couvercle ouvert à l'étuve à 105⁰ C ;
2. Refroidir le récipient et son couvercle au dessiccateur jusqu'à température ambiante ;
3. Peser le récipient et son couvercle à vide, e noter la masse (**m₁**) ;
4. Mettre 15 à 30 g du sucre roux ou sucre blanc en remettant le couvercle, peser et noter la masse(**m₂**) ;
5. Remettre le récipient ouvert à l'étuve pendant 3 heures, replacer le couvercle, et refroidir au dessiccateur jusqu'à température ambiante,peser et noter la masse (**m₃**).

☞ Expression des résultats :

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

Avec : $\begin{cases} m_1: \text{masse (récipient+couvercle);} \\ m_2: \text{masse (récipient+couvercle+échantillon avant séchage);} \\ m_3: \text{masse (récipient+couvercle+échantillon après séchage).} \end{cases}$

II.5.2 Détermination du taux de cendres conductimétriques (%) du sucre roux (Méthodes ICUMSA GS 2/3-17 2002)

☞ **Principe**

Les cendres conductimétriques, dans les solutions du sucre à 28g /100 ml de solution, permettent de mesurer la concentration des sels solubles ionisés présents dans les solutions de faible conductivité.

☞ **Mode opératoire**

1. Dissoudre 28 g du sucre roux dans une fiole de 100 ml ;
2. Compléter avec l'eau distillé jusqu'au trait de jauge ;
3. Mélanger soigneusement la solution jusqu'à dissolution complète de sucre ;
4. Plonger l'électrode dans la solution, le conductimètre affiche la valeur de la conductivité et la température de la solution préparée.



Figure II.6 : Conductimètre de marque knick

☞ **Expression de résultats**

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

$$C_{28} = C_1 - 0.35C_2$$

Avec : $\left\{ \begin{array}{l} C_{28}: \text{Conductivité corrigée de sucre ;} \\ C_1: \text{Conductivité mesurée en } \mu\text{s/cm à } 20^\circ\text{C ;} \\ C_2: \text{Conductivité spécifique de l'eau.} \end{array} \right.$

La teneur en cendres est donnée par la formule suivante :

Teneur en cendres conductimétriques (%) = $6 \cdot 10^{-4} \cdot C_{28}$;

$6 \cdot 10^{-4}$: *Facteur conventionnel*

Remarque : Si la mesure n'a pas été réalisée à 20°C, une correction doit être effectuée, Celle-ci est donnée par :

$$C_{20}(^{\circ}\text{C}) = \frac{C_T}{1 + 0.026 (T - 20)}$$

Avec : $\left\{ \begin{array}{l} C_T : \text{La conductivité à la température } T \text{ en } ^{\circ}\text{C} ; \\ T : \text{Température de mesure.} \end{array} \right.$

II.5.3 Mesure de polarisation du sucre roux (Méthodes ICUMSA GS 1/2/3-1 1994)

☞ Principe

Toutes les molécules optiquement actives (possédant au moins un carbone asymétrique) sont capables de dévier le plan d'une lumière polarisée. Cette déviation est proportionnelle à la teneur en substance à doser.

☞ Mode opératoire

1. Peser 26 g de sucre roux dans une fiole de 100 ml ;
2. Ajouter une quantité d'eau distillé entre 50-60 ml ;
3. Agiter jusqu'à dissolution complète ;
4. Ajouter l'eau distillée, ne pas remplir au trait de jauge ;
5. Mettre la solution dans un bain marri à 20°C pendant 15 à 20 min. Si le volume de la solution dépasse le trait de jauge, le sucre roux est dilaté. Si non, ajouter de l'eau au trait de jauge.
6. Après les 20 min, agiter la solution manuellement et la laisser reposer 5 min ;
7. Verser la solution dans un filtre plissé contenant de la terre infusoire pour faciliter la filtration ;
8. Passer le filtrat à travers le polarimètre programmé, celui-ci affiche la valeur de la polarisation.



Figure II.7 : Polarimètrede marque POLASER-S

☞ Expression des résultats

La polarisation lue sur l'appareil, avec correction de température est donnée par la formule suivante :

$$P_{20} = P_T + 0.033 (T - 20)$$

Avec : $\left\{ \begin{array}{l} P_{20}: \text{Polarisation à } 20^{\circ}\text{C}; \\ P_T: \text{Polarisation mesurer à température } T; \\ T: \text{Température de la solution.} \end{array} \right.$

II.5.4 Mesure de couleur :

A. Sucre roux et sucre blanc(Méthodes GS 1-7, 1994)

B. Produits intermédiaires(Méthode SNFS n° 41,2001)

☞ Principe

On analyse la solution filtrée du sucre brut et des produits intermédiaires en utilisant un spectrophotomètre UV-visible mono faisceau.L'absorbance est mesurée à la longueur d'onde 420 nm.La couleur de la solution est déterminée à partir de la valeur de l'absorbance mesurée.

A. Sucre roux et sucre blanc

☞ Mode opératoire

1. Préparer une solution de sucreroux ou blanc de Brix 30 (programme 4 dans un diluteur) ;
2. Agiter la solution jusqu'à dissolution complète à l'aide un agitateur rotateste ;

3. Ajuster le pH entre 6.80-7.20 avec l'ajout de gouttelette de HCl ou NaOH (0.1N) ;
4. Ajouter la terre infusoire et filtrer la solution (sous vide) à travers un papier filtre de 0.45 μ m ;
5. Récupérer le filtrat dans un bécher propre et sec ;
6. Avec un spectrophotomètre UV visible, lire l'absorbance de la solution par rapport à l'eau distillé à 420 nm ;
7. Introduire les valeurs de Brix et de l'absorbance dans un logiciel «Cléopâtre», lire la valeur de la couleur.

Remarque : 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 avant de la remplir (éviter les bulles d'air).

B. Produits intermédiaires

☞ Mode opératoire

1. À partir des échantillons prélevés, peser 50 à 60g de chaque sirop à l'aide d'une balance de précision ;
2. Puis avec un diluteur, réaliser leurs dilutions de (1/5).
3. Après dilution et agitation dans un agitateur rotateste, procéder à la filtration des différents échantillons à travers une membrane filtrante (filtre plissé standard) ;
4. Récupérer le filtrat dans un bécher propre et sec (cas de sirop de fonte).
5. Ajuster le pH du filtrat entre 6.80 -7.20, par l'ajout de fines gouttelettes de solution de NaOH 0.1N ou d'HCl 0.1N ;
6. Avec un spectrophotomètre UV visible, lire l'absorbance de la solution par rapport à l'eau distillé à 420 nm ;
7. La couleur des échantillons analysée est calculée par le logiciel Cléopâtre.



Figure II.8 : SpectrophotomètreUV-Visible de marque thermo scientifique

☞ **Expression des résultats**

$$\text{Couleur ICUMSA}_{420} = \frac{A_{420} * 1000}{B * C}$$

Avec : $\begin{cases} \mathbf{A}_{420} \text{ :L'absorbance de la solution à 420 nm;} \\ \mathbf{B} \text{ :La longueur de la cellule en cm;} \\ \mathbf{C} \text{ :La concentration de la solution en } \frac{\text{g}}{\text{ml}}. \end{cases}$

II.5.5 Mesure du Brix du sucre roux et des produits intermédiaires (SNFS n° 41, 2001)

☞ **Principe**

La détermination du Brix est réalisée selon la méthode **SNFS n° 41, 2001** en mesurant l'indice de réfraction au moyen d'un réfractomètre thermostaté à 20 °

☞ **Mode opératoire**

1. À partir des échantillons prélevés, peser 30 à 40g de chaque sirop à l'aide d'une balance de précision ;
2. Avec un diluteur, réaliser la dilution des échantillons de (1/5) et en programme 4 ;

3. Après dilution et agitation dans un agitateur rotateste, rincerle Brix-mètre(réfractomètre) avec l'eau et introduire une quantité d'échantillon dilué dans l'appareil ;
4. Relever la valeur affichée par réfractomètre.

Remarque : Après dilution et agitation, le sirop de fonte est filtré à travers une membrane filtrante (filtre plissé standard), le filtrat est récupéré dans un bécher propre et sec.



Figure II.9 : Brix-mètre (réfractomètre)

☞ Expression des résultats

Les résultats sont exprimés en g/ml ou en pourcentage (%) de matière Sèche et calculés selon la formule suivante :

$$\text{Brix}(\%) = \text{valeur}_{(\text{lue})} \cdot F ; F: \text{facteur de dilution}$$

II.5.6 Mesure de la polarisation des produits intermédiaires (SNFS n° 41, 2001)

☞ Mode opératoire

On utilise le même mode opératoire utilisé pour la mesure du Brix, l'appareil de mesure est remplacé par le polarimètre.

☞ Expression des résultats

$$\text{Polarisation} \left(\frac{\text{g}}{\text{ml}} \text{ ou } \% \right) = K \cdot \text{Valeur}_{(\text{lue sur le polarimètre})} \cdot F$$

Avec : $\begin{cases} F : \text{facteur de dilution} \\ K = 0.20 \text{ si le poids normal du saccharimètre est à } 20\text{g} ; \\ K = 0.26 \text{ si le poids normal du saccharimètre est à } 26\text{g} . \end{cases}$

II.5.7 Mesure de La pureté des produits intermédiaires(SNFS n° 41 2001)

La détermination de la pureté est réalisée en utilisant les valeurs mesurées de polarisation et Brix, des produits intermédiaires Elle est exprimée en pourcentage massique de saccharose, pour 100g de matière sèche.(Decloux, 2002). Elle est calculée par le logiciel CLEOPATRE selon la formule suivante :

$$\text{Pureté (\%)} = \frac{\text{Polarisation} \cdot 100}{\text{Brix}}$$

II.5.8 Mesure de pH (SNFS n°17 1999)

Le pH est l'une des mesures que l'on doit effectuer le plus fréquemment, il est relié à la concentration en ions H^+ c.-à-d. à l'acidité ou l'alcalinité de l'échantillon. L'échelle de pH s'étend de 0 (milieu très acide) à 14 (milieu très basique), en passant par 7 (milieu neutre). La détermination du pH par la méthode potentiométrique est réalisée à l'aide d'un pH-mètre étalonné.

☞ Principe

C'est la mesure de la différence de potentiel existant entre une électrode de verre et une électrode de référence plongeant dans l'échantillon à analyser. Le potentiel de l'électrode est lié à l'activité des ions H^+ . La valeur du pH s'affiche directement sur le cadran de l'appareil.

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

Le pH de l'eau pure à 20°C est neutre, pH = 7.

☞ Mode opératoire

1. Allumer le pH-mètre sur la touche ON
2. Etalonner le pH-mètre avec les deux solutions de référence (pH 4.01, pH=7) à la température de 20°C
3. Rincer l'électrode avec de l'eau distillée, l'essuyer avec du papier absorbant
4. Plonger l'électrode à la surface l'échantillon (environ 6 à 8 cm)

5. Attendre que l'équilibre s'établisse et faire la lecture
6. Après chaque détermination du pH, on retire l'électrode, on la rince et à la fin de l'expérience, on la laisse trempée dans l'eau distillée.

II.5.9 Test de propreté du sucre blanc

On applique ce test au produit fini (sucre blanc), dans le cas où il y a une suspicion de la présence d'impuretés.

☞ Mode opératoire

1. Contrôler visuellement le sucre sur une surface de couleur blanche ;
2. Prendre une quantité de sucre blanc dans un bécher, puis mélanger avec l'eau à l'aide d'un agitateur magnétique ;
3. Filtrer la solution à travers un dispositif à vide (pompe à vide) ;
4. Vérifier le filtre.

Chapitre III : Résultats et discussions

Ce chapitre sera consacré à la présentation et discussion de l'ensemble de résultats obtenus, des analyses physico-chimiques du sucre roux, sucre blanc et produits intermédiaires du raffinage tels que le sirop de refonte (SR), sirop filtré (SF), sirops décolorés (SD1, SD2, SD3), sirop concentré (SC) et les liqueurs standards (LS1, LS2, LS3).

Les analyses effectuées concernent la détermination du degré Brix, la polarisation, la couleur, la pureté, le pH, la teneur en cendres et l'humidité. Les valeurs moyennes des différents paramètres analysés sont regroupées dans des tableaux III.1-III.7(voir annexes).

III.1 Evolution de la moyenne du brix au cours du procédé de raffinage du sucre roux

Les résultats de l'évolution de la moyenne du Brix,des échantillons prélevés,au cours du processus de raffinage,au niveau de toutes les sections, sont représentés sur la figure ci-après.

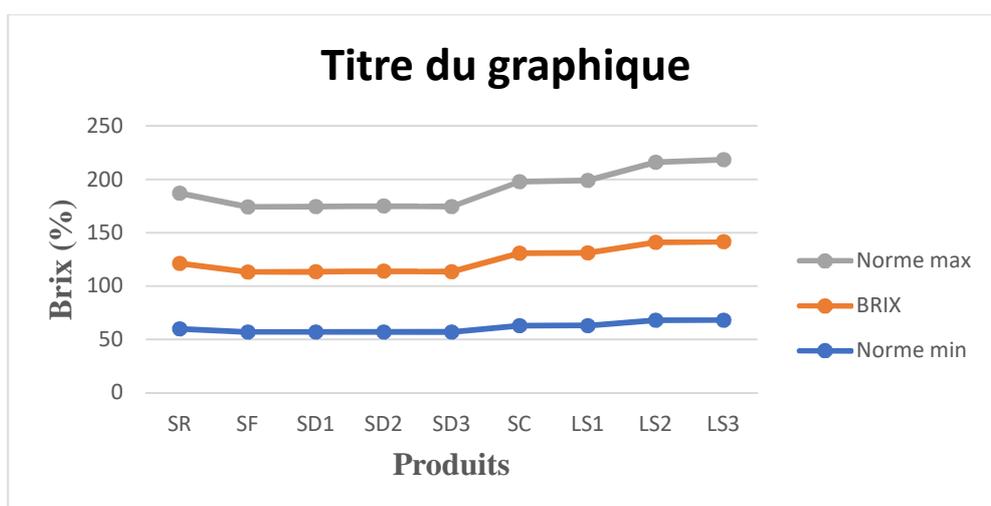


Figure III.1 : Evolution de la moyenne duBrix, par-rapport aux normes, durant le processus de raffinage du sucre, au niveau de toutes les sections de raffinage.

D'après cette figure, le graphe illustrant les valeurs moyennes de Brix est situé entre la norme maximale et la norme minimale. Le Brix du sirop de refonte (SR) analysé est de 61.15%,cette

valeur est très proche de la norme minimale établie par CEE (Voir tableau III.8Annexe) [60 – 66%]selon **Donovan (2003)**.

Le degré Brix diminue légèrement à partir du sirop de fonte (SR) jusqu'au sirop filtré (56.10%). Ceci est dû à la dissolution des cristaux de sucre ainsi qu'à l'élimination des impuretés issues du sirop de fonte au cours de la carbo-filtration par le carbonate de calcium et les filtres à bougies (**Vu et al. 2020**).

Le Brix du sirop décoloré (section de décoloration) reste presque constant, les valeurs moyennes sont 56.45%, 56.90% et 56.50% pour SD1, SD2et SD3 respectivement.Ceci est dû à la rétention des impuretés etcolorants organiques par la résine échangeuse d'ions.

Le Brix augmente progressivement auniveau du concentrateur (SC) pour atteindre une valeur de 67.75 % à cause de l'évaporationd'eau sous l'effet de l'augmentation de la température pour atteindre la saturation qui vafaciliter la cristallisation (**Donovan, 2003 ; Mathlouthi et Rogé, 2004**).

Les valeurs de Brixdes liqueurs standards (LS1, LS2 et LS3) sont respectivement : 67.95%, 72.90 et 73.50. Cette augmentation progressive est due à l'augmentation de la température pour procéder à la cuisson.

III.2 Evolution de la moyennede la pureté au cours duprocédé de raffinage du sucre roux

Les résultats de l'évolution de la moyenne de la pureté, au cours du processus de raffinage, au niveau de toutes les sections, sontreprésentés sur la figure ci-dessous.

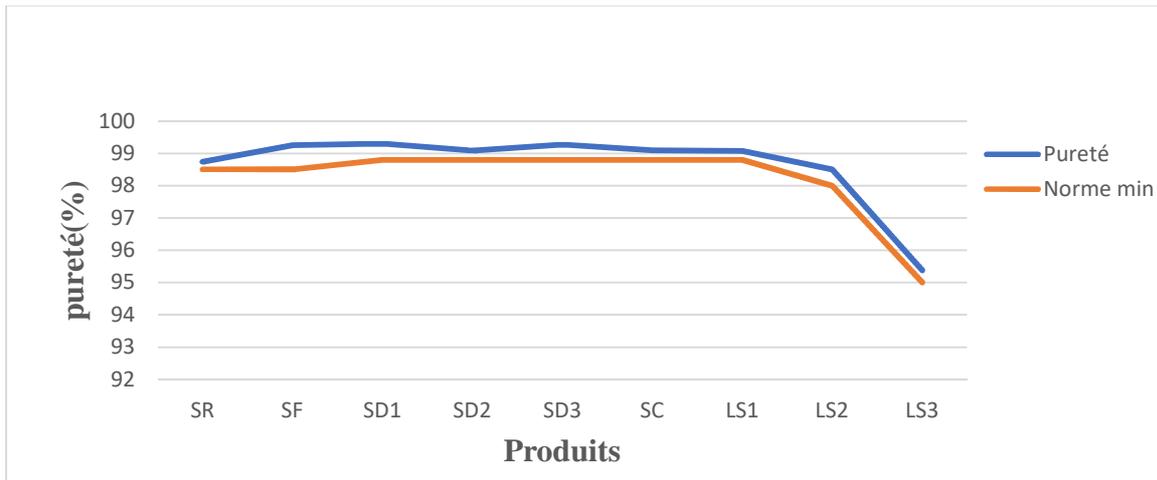


Figure III.2 : Evolution de la moyenne de la pureté (%), par rapport à la norme minimale, durant le processus de raffinage du sucre roux, au niveau de toutes les sections de raffinage.

L'allure du graphe de la moyenne de la pureté est similaire à celle de la norme minimale.

Le graphique montre une stabilité de la pureté, du sirop de refonte (SR) avec une valeur de 98.74% jusqu'à la liqueur standard 1 (LS1) où elle atteint une valeur de 99.08%. Cela peut être attribué à la présence de produits très riches en saccharose, par rapport aux impuretés, durant les différentes étapes de raffinage jusqu'au 1^{er} jet de cristallisation (LS1).

La courbe s'incline vers des valeurs plus basses à partir de la liqueur standard 2 (LS2) jusqu'à la liqueur 3 (LS3), tel que les valeurs sont de l'ordre de 98.50% et 95.38% respectivement. Cette chute de pureté est directement liée à la diminution de taux de saccharose dans les liqueurs après séparation de sucre.

III.3 Evolution de la moyenne de la couleur au cours du procédé de raffinage du sucre roux

Les résultats de l'évolution moyenne de la couleur des sirops recueillis, au cours du procédé de raffinage, au niveau de toutes les sections, sont montrés dans la figure qui suit :

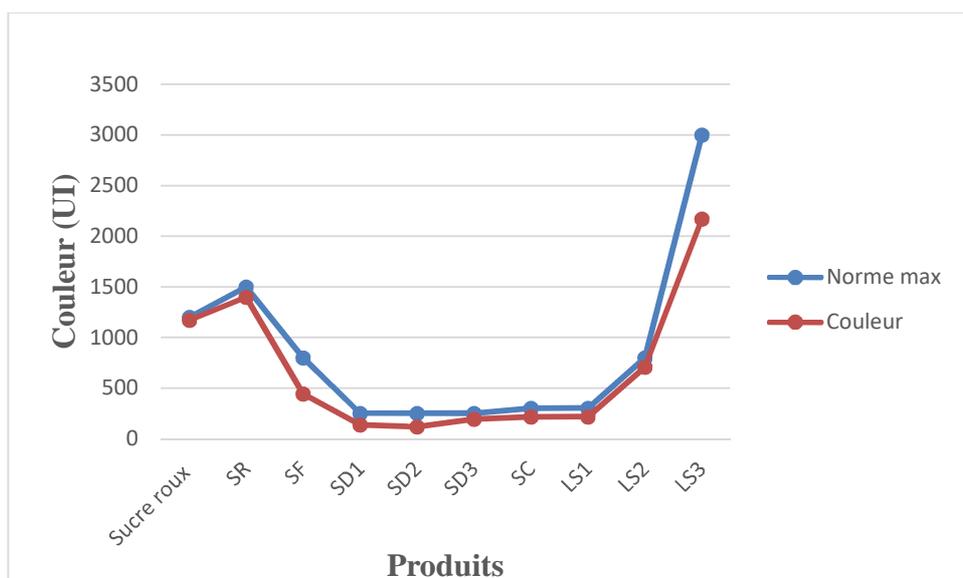


Figure III.3 : Evolution de la moyenne de la couleur(UI),par rapport à la norme maximale, durant le processus de raffinage du sucre roux, au niveau de toutes les sections de raffinage.

Le sucre roux entre dans le processus de raffinage avec une couleur ayant atteint une valeur de 1173 UI, il est additionné d'une eau sucrée, ce qui explique l'augmentation de la couleur pour atteindre 1399 UI pour le sirop de fonte (SR).

La diminution de la couleur est observée lors de la carbo-filtration pour atteindre 492 UI grâce à la rétention des colorants par le carbonate de calcium précipité, d'une part, et l'élimination des impuretés piégés dans les filtres à bougies, d'autre part (**Donovan, 2003**).

Elle continue de diminuer lors de la décoloration et atteint la valeur de 195 UI pour le sirop (SD3), ceci est dû à la rétention de la majorité des impuretés restantes par la résine échangeuse d'ions (**Theoleyre et al., 2016**). Selon (**Theoleyre et al.,1999 ; Godshall, 1999**), le sirop décoloré présente généralement une couleur de 100 à 200 UI avant la cristallisation.

La couleur du sirop concentré (SC) subit une légère augmentation pour atteindre la valeur de 217 UI, suite à l'évaporation d'eau et la concentration du sirop sous l'effet de l'augmentation de la température.

Au-delà, la couleur continue d'augmenter (même raison que le sirop concentré) jusqu'à 2172 UI pour LS3, sans pour autant dépasser les normes (couleur ICUMSA).

III.4 Evolution de la moyenne de pH au cours du procédé de raffinage du sucre roux

La Figure III.4 représente l'évolution de la Moyenne de pH, au cours du processus de raffinage du sucre roux, au niveau de toutes les sections de raffinage.

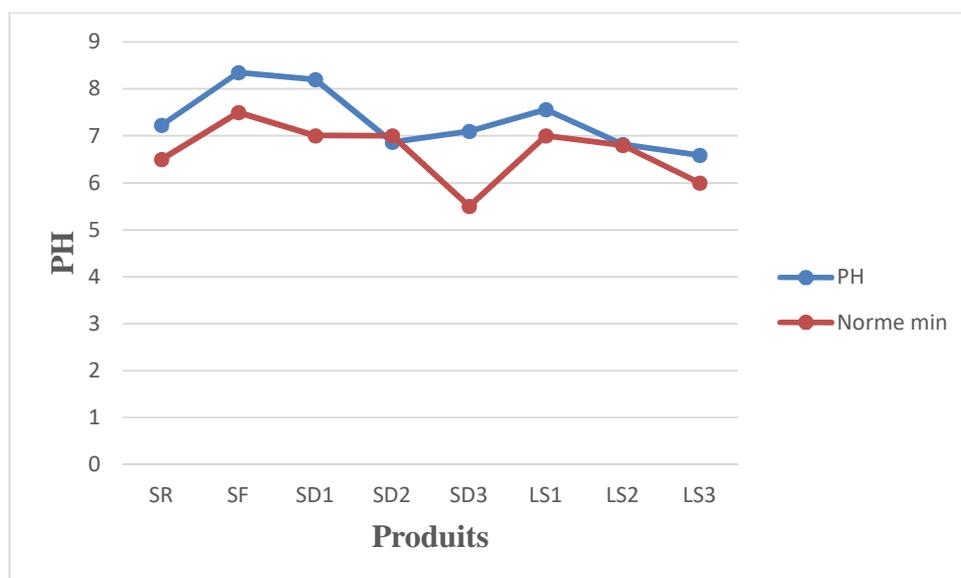


Figure III.4 : Evolution de la moyenne de pH, par rapport à la norme minimale, durant le processus de raffinage du sucre, au niveau de toutes les sections de raffinage.

D'après le graphe, la valeur de pH du sirop de fonte (SR) est de 7.23, valeur dans les normes [6.5 - 7.5], celle-ci augmente pour atteindre la valeur de 8.35 pour le sirop filtré (SF) mais toujours dans les normes [7.5 - 8.5].

Après filtration on remarque une légère diminution, au niveau de la section décoloration, cas du sirop (SD1) puis une importante diminution pour le sirop (SD2), ceci est due à la rétention des impuretés et le calcium en excès par, le filtre à bougie, d'une part, et le gâteau qui se forme à l'extérieur du filtre au fur et à mesure de la filtration, d'autre part.

Après décoloration, le pH diminue jusqu'à 6.59 allant de liqueur standard 1 (LS1) à la liqueur standard 3 (LS3), ceci est pour favoriser la cristallisation.

III.5 Evolution de la moyenne de la polarisation au cours du processus de raffinage du sucre roux

La Figure III.5 représente l'évolution de la Moyenne de la polarisation, au cours du processus de raffinage du sucre roux, au niveau de toutes les sections de raffinage.

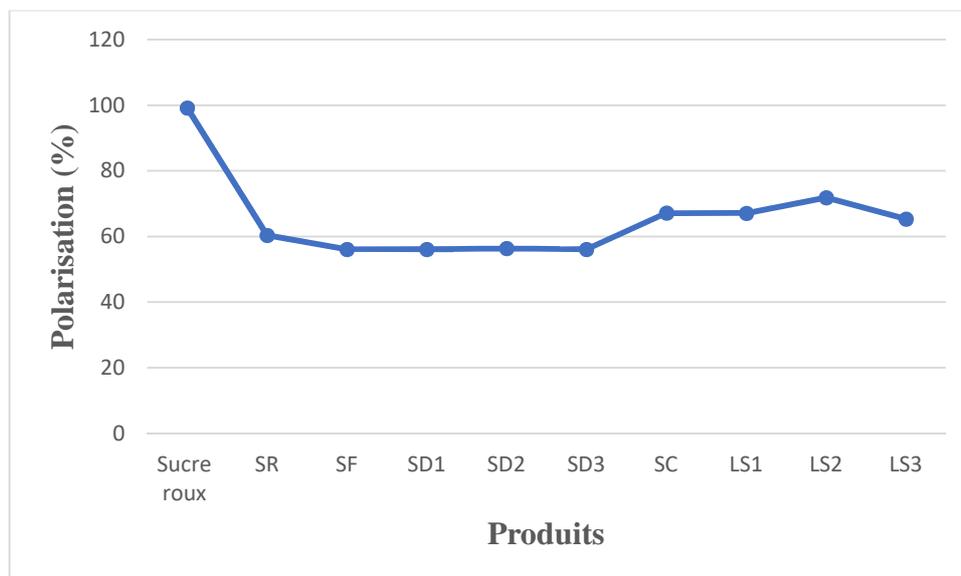


Figure III.5 : Evolution de la moyenne de polarisation (%),durant le processus de raffinage du sucre roux, au niveau de toutes les sections de raffinage.

Le sucre roux rentre au début du processus de raffinage avec une polarisation élevée estimée à 99.20%. Par l'ajout de l'eau au niveau de refondoir, le taux diminue jusqu'à une valeur de 60.38 %, dans le cas de (SR). Cette diminution continue après la filtration et la décoloration pour atteindre une valeur 56.09%, par l'ajout du lait de chaux, au niveau de l'épuration, ce qui explique l'augmentation du volume de la solution et la diminution du rapport $\left(\frac{\text{saccharose}}{\text{volume de la solution}}\right)$.

L'évaporation d'eau au niveau des concentrateurs provoque la diminution du volume de la solution, résultant ainsi une augmentation du taux de polarisation jusqu'à une valeur de 67,14%. Le taux de polarisation est en relation directe avec le Brix.

Au niveau des liqueurs standards 1,2 et 3, la polarisation augmente avec l'augmentation du Brix.Ceci est en accord avec l'évolution de la moyennedu Brix étudiée précédemment.

III.6 Evolution de la moyenne de la teneur en cendres au cours de raffinage du sucre roux

La Figure III.6 représente l'évolution de la Moyenne de la teneur en cendres (%) du sucre roux en fonction du temps.

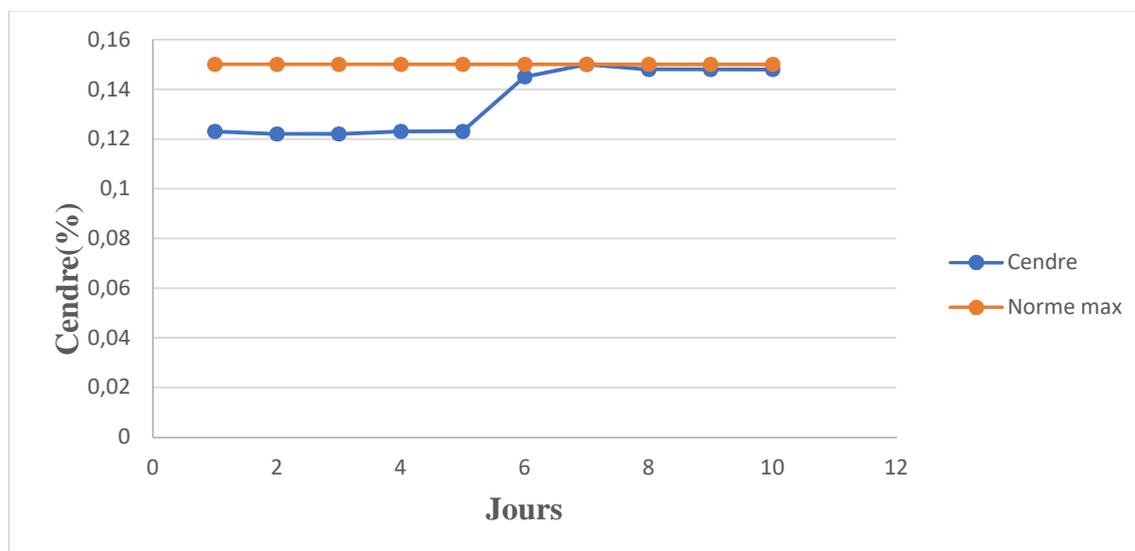


Figure III.6 : Evolution de la moyenne de la teneur en cendres (%), par rapport à la norme maximale en fonction du temps.

Le graphe de la teneur en cendres conductimétriques montre que les résultats de mesure sont stables du premier au cinquième jour. À partir du cinquième jour, elles augmentent pour atteindre le maximum au septième jour et se stabilise par la suite des analyses.

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

III.7 Evolution de de la moyenne d'humidité du sucre roux, sucre (ES), sucre (SS) et sucre blanc au cours de raffinage

Les résultats de l'évolution de la moyenne du pH du sucre roux, sucre (ES), sucre (SS) et sucre blanc, au cours du processus de raffinage, sont représentés sur la figure ci-après.

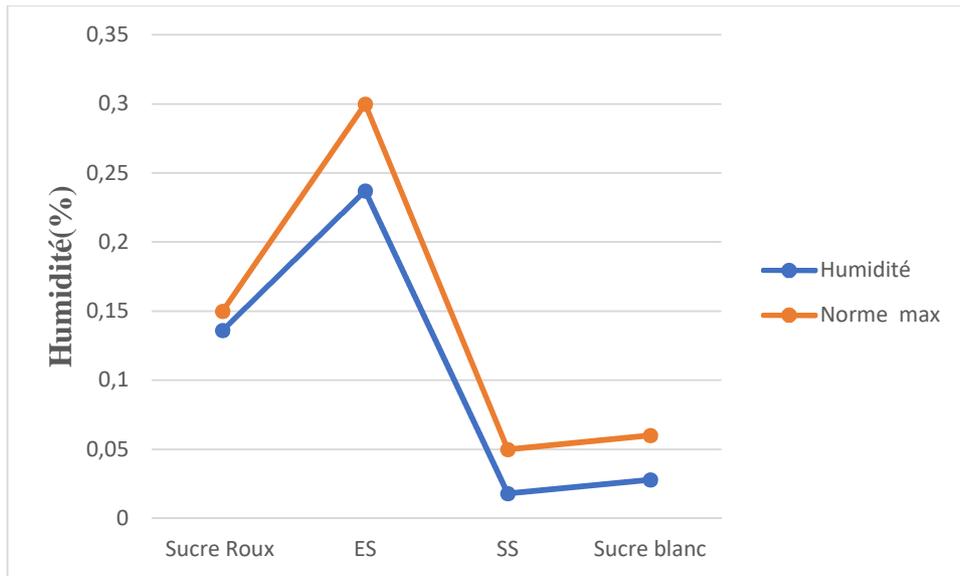


Figure III.7 : Evolution de la moyenne d’humidité, par rapport à la norme maximale, au cours du raffinage du sucre. Sucre (ES) : Sucre à l’entrée du sécheur, sucre (SS) : sucre à la sortie du sécheur.

Le sucre roux rentre au début du processus de raffinage avec un taux d’humidité de 0.136%. Suite à l’ajout de l’eau de clairçage au niveau des turbines, l’humidité du sucre augmente pour atteindre une valeur de 0.237% à l’entrée du sécheur.

A la sortie de sécheur, ce taux diminue remarquablement suite à l’évaporation d’eau jusqu’à 0.018%.

Le sucre, à la sortie de sécheur est chaud. Il est refroidi à l’air froid qui contient une certaine quantité d’humidité au niveau de lit fluidisé.

Au niveau de silos de maturation, le sucre libère peu à peu l’eau qu’elle contient encore. Le soufflage d’air, permet d’évacuer l’eau résiduelle et de maintenir constante l’humidité de l’air avec celle du sucre.

Le sucre blanc obtenu contient un taux d’humidité faible de l’ordre de 0.028%. Cette valeur est inférieure aux normes de la réglementation algérienne (0.1%) et européenne CEE (0.6%). Ce qui ne provoque pas la détérioration du produit fini au niveau de conditionnement.

III.8 Test de propreté

Les résultats obtenus sont présentés sur la figure ci-contre :



Figure III.8 : Résultats du test de propreté

D'après les analyses effectuées, du sucre, sur des micro filtres, on trouve une absence totale de corps étrangers (point noir) quel que soit leur origine, cela veut dire que le sucre est très propre et de très bonne qualité (conforme aux normes CEE et A).

Conclusion

Il y a une différence majeure entre le sucre blanc et le sucre roux, le sucre de canne est cristallisé avec une coloration qui va du blanc au brun, ceci est dû à des pigments présents uniquement dans la canne. Pour devenir blanc, le sucre roux de canne est refondu et débarrassé de ses colorants dans une raffinerie sans modification chimique.

Donc il n'y a pas d'étape de raffinage pour le sucre blanc de betterave, et pour le sucre roux de canne, il doit être raffiné pour qu'il devienne blanc.

Dans la première partie de notre travail, nous avons suivi les différentes étapes du raffinage du sucre roux au niveau de la raffinerie de sucre 3500T, du complexe agro-alimentaire CEVITAL. Par la suite, des analyses nécessaires sont effectuées sur la matière première utilisée (sucre roux) pour écarter les non-conformités durant le processus de raffinage et favoriser ainsi son bon déroulement en évitant d'éventuelles pertes.

Les résultats obtenus révèlent que la matière première fournie à l'usine est conforme aux normes. La couleur est égale à 1173 UI, la teneur en cendres conductimétriques variant de 0.095 à 0.123% (< 0.15), ainsi qu'une polarisation supérieure à 99 % avec une humidité ne dépassant pas 0,018 %.

Dans la deuxième partie de notre travail, nous avons essayé de vérifier la stabilité de processus du raffinage par l'analyse des paramètres importants des produits intermédiaires tels que le sirop de fonte (SR), sirop filtré (SF), sirops décolorés (SD1, SD2, SD3), sirop concentré (SC) et les liqueurs standards (LS1, LS2, LS3). Les résultats du degré Brix, couleur, pureté, polarisation et pH sont conformes aux normes CEE et A.

L'analyse du sucre blanc obtenu montre que celui-ci contient un taux d'humidité faible de l'ordre de 0.028%. Cette valeur est inférieure aux normes de la réglementation algérienne (0.1%) et européenne CEE (0.6%). Ce qui ne provoque pas la détérioration du produit fini au niveau de conditionnement.

les analyses effectuées du sucre sur des micro filtres, montre une absence totale de corps étrangers (point noir) quel que soit son origine, cela veut dire que le sucre fini est très propre et de très bonne qualité (sucre est conforme).

Enfin, cette étude nous a permis de connaître les traitements que subit le sucre roux pour le purifier afin de le rendre blanc. Elle nous a permis également de maîtriser l'ensemble de

CONCLUSION

méthodes physico-chimiques utilisées pour le suivi des paramètres de qualité de la matière première, ses produits intermédiaires et le produit fini.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES



- **ACHABOU M. A. ET TOZANLI S. 2007.** Association agreement between Algeria and the European Union: consequences on the Algerian sugar industry. In 103 rd
- **ALAIS C., LINDE G., MICLO L.2003.**Glucides simples et produits dérivés.in biochimie alimentaire. Paris. Edition dunod.250 p.
- **ANONYME II. 2009.** Manuel opératoire des connaissances générales utilisé à CEVITAL. 12p.
- **ANONYME I. 2010.** Manuel opératoire de connaissances générales utilisé à CEVITAL .
- **ARZATE A.2005.** Extraction et raffinage de sucre de canne. Revue de l'acer (centre de recherche de développement et de transport technologique en acériculture). Saint-Norbert d'Athabaska.
- **ASADI M.2007.**Beet-sugar handbook.1st Edition. Wiley interscience. John Wiley and sons,Inc, publication. New jersey.884 p.



- **BEERAM S.,MORAKALAS., DESHMUKHS.S., SUNKARA P.R.2020.**Selection of suitable and sustainable clarification method for non-centrifugal sugar production using MCE.Materials today: proceedings,28(2).893-897 p.
- **BELHAMRI R. 2005.** Extraction des macromolécules pariétales des eaux de presse De betteraves sucrières : Etude de leur composition, de leurs propriétés physicochimiques et de leur effet sur le processus sucrier. Thèse doctorat : Chimie Physique Industrielle. Université de Reims champagne – ardenne.233p.
- **BERRO S. 2015.**Le sucre blanc raffiné, l'ennemi dissimulé. Achevé d'imprimé par Dupliprint pour publishroom. France.
- **BONIE D.2004.**Cours de technologie industrielle : l'usine agroalimentaire, école polytechnique universitaire de lille.42 p.

- **BOURAS. 1998.** Les constituants alimentaires et leur rapport avec la santé. (p272).
- **BURZAWA E., HEITZ F.1994.**La cristallisation du sucre : des bases théoriques à la production industrielle. Industries alimentaire et agricoles,112(7).3-19 p.
- **BURZWA E.1999.** Rappel des bases de l'épuration calco-carbonique. Association AVH – 6e Symposium, Reims, 4-10.

T

- **CARAKOSTASA M.C., CURRYB L.L., BOILEAUB A.C., BRUSICKD.J.2008.**Brusick overview: the history, technical function and safety of rebaudioside A, anaturallyoccurring steviol glycoside, for use in food and beverage. Food and chemical toxicology. S1-S10.
- **CHEN J.C.P ET CHOU C.C. 1993.** Cane sugar handbook : a manual for cane sugar manufacturers and their chemists. 12th Edition. Canada : John Wiley& Sons, Inc. 1120 p.
- **CHRISTOPHE P.2015.**Les produits sucrés. Technologie patisserie.4 p.
- **CODEX STAN 212. 1999.**Norme codex pour les sucres.1-5 p.
- **COLONNA W.ET AL. 2006.** Sugar. Kirk-Othmer encyclopedia of chemical technology
- **COURTEAU A.2005.**La canne à sucre et l'environnement à la réunion : revue bibliographique. Rapport de stage de maitrise. Institut universitaire professionnalisé génie des territoires et de l'environnement, filière diagnostique et gestion des systèmes écologiques. Université de Franche-Comté.

D

- **DECLoux M., TATOUD L., MESSAD A., 1999.**Rétention des impuretés de refonte de sucre roux de canne par filtration tangentielle.AVH association.6^{ème}symposium. Reims.58-63 p.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **DOUCET J.1992.** Le sucre et ses dérivées traditionnels et nouveaux. Lesucre, les sucrés, les édulcorants et les glucides des charges dans les industries agroalimentaires. (Multon J. L).1^{ère}Ed. Technique et documentation lavoisier.258-269p.

£

- **ELGADO.,CASANOVA D.2001.**Sugar Processing and Byproducts of the Sugar Industry. Food and Agriculture Organization of the United Nations –. PP 143.

F

- **FAO. 1994.**Soil chemical and physical properties as indicators of stainable land management under sugar cane in Papua New Guinea.
- **FRÉDÉRIC P.2004.** Descriptif et analyse des différents sécheurs et refroidisseurs de sucre. Association AVH, 11^{ème} symposium, Reims, pp 70, 77.

G

- **GRABKOWSKI M.2001.** Minimum energy consumption in sugar production by cooling crystallization of concentrate draw juice, Applied Thermal Engineering.
- **GROMDINE P ET AL. 2005.** Supervision of crystallization in Bois Rouge sugar millusing on –line crystal content. Estimation using synchronous microwave and refractometric brix measurements. Journal of Food Engineering 76p.

H

- **HAJOS-NOVAK. 2009.**Cultivated plants primarily as food sources. Volume II. Sugar bearing crops.
- **HUGOT E. 1987.**La sucrerie de canne : carbonatation, Ed. tec & Doc, 3^{ème} édition. Lavoisier, France, 449p.
- **HULL. 2010.** Glucose Syrups. Technology and Applications.

I

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **LAMELOISE L ET DECLOUX. 2007.**Les membranes en sucrerie et distillerie : Applications récentes et en développement. UMR GénIAI. AgroParisTech, site de Massy, 21p
- **LIBELLE T.J.2007.**Modèles de connaissance de la cristallisation de troisième jet en sucrerie de cannes expérimentation et simulations. Thèse de doctorat de génie de procédés. Université de la réunion.265 p.
- **LI Y ET AL. 2020.** Biofouling in sugarcane juice refining by nanofiltration membrane: Fouling mechanism and cleaning. Journal of Membrane Science. 1-23.

M

- **MATHLOUTHI M.1993.**Aspect physicochimique de la saveur sucré. La saveur sucré 2^{ème} colloque. Paris.5-6 p.
- **MATHLOUTHI M., REISER P., BIRCHET G.G.1995.** Le saccharose propriétés et application. Edition française polytechnica. Paris.
- **MATHLOUTHI M ET BARBARA.2001.**L'extraction du sucre. CEDUS : Centre d'étude et de documentation du sucre pp1-11-14.
- **MATHLOUTHI M ET BARBARA.2004.**L'extraction du sucre. CEDUS : Centre d'étude et de documentation du sucre pp1-11-14.
- **MERSAD A., DECLOUX M., FARGUES C., LEWANDOWSKI R.2002.**Les colorants en sucrerie : formation, masse molaire et rétention par filtration tangentiel. Ecole national supérieure des industries agricoles et alimentaires. AVH association.9^{ème} symposium. Reims.10-12 p.

P

- **PAYNE J H. 1982.**Unit Operations in Cane Sugar Production.
- **PENNIGTON N.L., BAKER., CHARLES W.1990.** Sugar: a user's guide to sucrose. AVI book. USA.332 p.

R

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **RACHEDI N .2002.**Précèdes de transformation dans la raffinerie de CEVITAL spa. Rapport de formation, pp 1-30.
- **ROMAINE ET AL. 2007.**Science des aliments. Lavoisier, Tec et Doc, 449p.
- **ROUSSEAU G.2002.**La sucrerie, une affaire de macromolécules. AVH association.9^{ème}symposium. Reims.47-50 p.

§

- **SAHU O.2018.**Assessment Sugar cane industry: suitability for production, consumption and utilization. Annals of agrarian science, 16(4).389-395 p.
- **SHIWECK H.1994.**Composition of sugar beet a molasses. Zuckerind.273-282 p.

¶

- **VANDER P., P.W., SCHIWECK H., SCHWARTZ T.1998.**Sugar technology. Beet and cane sugar manufacture. Verlag albert maters KG. Berlin.1005 p.

ANNEXES

Annexes

Tableau III.1 : Valeurs moyennes du degré Brix (%) au cours du procédé de raffinage.

Produit	Norme min	Brix (%)	Norme max
SR	60	61.15	66
SF	57	56.10	61
SD1	57	56.45	61
SD2	57	56.90	61
SD3	57	56.50	61
SC	63	67.75	67
LS1	63	67.95	68
LS2	68	72.90	75
LS3	68	73.50	77

Tableau III.2 : Valeurs moyennes de la pureté (%) au cours du raffinage.

Produit	Pureté	Norme min
SR	98.74	98.50
SF	99.25	98.50
SD1	99.30	98.80
SD2	99.09	98.80
SD3	99.27	98.80
SC	99.10	98.80
LS1	99.08	98.80
LS2	98.50	98.00
LS3	95.38	95.00

ANNEXES

Tableau III.3 : Valeurs moyennes de la couleur (UI) au cours du raffinage du sucre roux.

Produit	Couleur	Norme max
Sucre roux	1173	1200
SR	1399	1500
SF	492	800
SD1	136	250
SD2	118	250
SD3	195	250
SC	217	300
LS1	215	300
LS2	708	800
LS3	2172	3000

Tableau III.4 : Valeurs moyennes de pH des échantillons au cours du raffinage.

Produit	pH	Norme min
SR	7.23	6.50
SF	8.35	7.50
SD1	8.20	7.00
SD2	7.00	7.00
SD3	7.10	5.50
SC	7.56	7.00
LS1	6.82	6.80
LS2	6.8	6.00
LS3	6,59	6,00

ANNEXES

Tableau III.5 : Valeurs moyennes de la polarisation au cours de raffinage du sucre roux

Produit	Polarisation (%)
Sucre roux	99,2
SR	60,38
SF	56,1
SD1	56,12
SD2	56,38
SD3	56,09
SC	67,14
LS1	67,05
LS2	71,84
LS3	65,29

Tableau III.6 : Valeurs moyennes de la teneur en cendres (%) du sucre roux.

jour	Cendres (%)	Norme max (%)
1	0,123	0,15
2	0,123	0,15
3	0,124	0,15
4	0,109	0,15
5	0,095	0,15
6	0,097	0,15
7	0,123	0,15
8	0,119	0,15
9	0,11	0,15
10	0,112	0,15

ANNEXES

Tableau III.7 : Valeurs moyennes d'humidité du sucre roux, sucre (ES), sucre (SS) et sucre blanc au cours de raffinage du sucre.

Section	Humidité	Norme max
Sucre Roux	0,136	0,15
ES	0,237	0,3
SS	0,018	0,05
Sucre blanc	0,028	0,06

ES : Entrée du sécheur, SS : Sortie du sécheur.

ANNEXES

Tableau III. 8 : Critères de classification du sucre blanc selon les différentes réglementations.

Normes Critères	Réglementation algérienne (J.O.R.A, 1997)		Réglementation européenne CEE (DOUCET ,1992).			Codex Alimentarius (FAO/OMS) (Multon,1992).
	Spécification A	Spécification B	Qualité type sucre blanc 1	Qualité type sucre blanc 2	Méthodes d'évaluation	Sucre blanc
Teneur maximale en sucres Réducteurs (%MS)	0,04	0,1	0,04	0,04	Titrage avec une solution d'iode	0,04
Teneur maximale en cendres	0,04	0,1	0,27	0,072	Mesure conductimétrie	0,04
Taux d'humidité maximal (%)	0,1	0,1	0,06	0,06	Rapport de poids avant et après déshydratation	0,1
Couleur maximale ICUMSA	60	100	45	22,5	Mesure par la spectrophotométrie	60
La polarisation minimale (%)	99,7	99,7	99,7	99,7	Polarimètre	99,7
Aspect	Granulation homogène s'écoule librement	Granulation homogène s'écoule librement	Granulation homogène s'écoule librement	Cristaux Homogène s'écoule librement	La vue	//
Teneur maximale en Arsenic (mg/kg)	1	1	0,1	//	//	1
Teneur maximal en plomb (mg/kg)	0,5	0,5	0,1	//	//	1
Teneur maximal en Cuivre (mg/kg)	2	2	0,1	//	//	2
Somme maximal des points	//	//	≤ 22	≤ 8	//	//

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 de fin de cycle pour l'obtention de diplôme master
Filière : Génie des procédés
Option : Génie des procédés des matériaux

Thème : suivi du processus de fabrication du sucre blanc au niveau de la raffinerie CEVITAL et étude des paramètres physicochimique de procédé de raffinage

Résumé

Le raffinage est une nouvelle technologie utilisée dans le complexe agro-alimentaire CEVITAL. C'est un processus qui permet d'obtenir du sucre blanc à partir du sucre roux, extrait de la canne à sucre.

Le sucre roux, à son entrée dans la raffinerie, passe dans différentes sections afin d'éliminer les impuretés, les colorants et autres produits non sucrés entrant dans la composition du sucre.

Pour vérifier la qualité du sucre roux, ses produits intermédiaires et du produit fini (sucre blanc), les échantillons prélevés, sont analysés. Les résultats obtenus montrent une stabilité des paramètres physicochimiques durant les différentes étapes du raffinage.

Mots clés : sucre roux, Raffinage, couleur, sucre blanc, saccharose, technologie sucrière. Section décoloration, section affinage et fonte. Colorants, carbonates de calcium, gaz carbonique CO₂

Présenter par :

Encadré par : Mme AGUERSSIF N

M^{elle} Hamdi Amel

M^{elle} Mouhoune Wissame

Année universitaire 2021/2022

Chapitre I
Etude bibliographique

Chapitre II
Matériels et Méthodes

Chapitre III
Résultats et discussions

Introduction

Annexes

Conclusion

Sommaire