

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 chimique

Présenté par

BRAHMI Sabrina

OUATMANI Yousra

Thème

**Suivi des Paramètres Physico-Chimiques au Cours de Raffinage de
Sucre Roux et Etude de l'Effet de Dilution de l'Enzyme Alpha-
Amylase sur la Dégradation du Taux de l'Amidon dans le Sucre**

Soutenue le 07/07/2022

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade		
M ^{me} Touati Naima	MCB	Université de Béjaia	Président
M ^{me} Belaid Taous	MCA	Université de Béjaia	Examinatrice
M ^{me} Takorabet Lynda	MAA	Université de Béjaia	Encadrant
M ^{me} Zaidi Lynda	MCB	Université de Béjaia	Co- Encadrant

Année Universitaire : 2021/2022

Remerciements

En tout premier lieu, Nous tenons à remercier le bon Dieu, tout puissant, qui nous a donné le courage, la volonté, la santé et la patience pour effectuer ce modeste travail et l'audace pour dépasser toutes les difficultés.

Nous tenons à remercier Mme TAKORBET Lynda et Mme ZAIDI Lynda De nous avoir encadrées, d'avoir suivi notre travail avec une extrême bienveillance,

Nous vous remercions également pour votre patience, disponibilité et surtout vos judicieux conseils et orientations qui ont contribué à alimenter notre réflexion.

Notre travail à été réalisé au laboratoire d'analyse physicochimique de la raffinerie de sucre au niveau de complexe CEVITAL pour cette occasion nous tenons à exprimer notre gratitude et notre respect au chef de service qualité raffinerie 3500T/J Mme TAZAROURTE Myriam, et Mme Hamel Manel qui nous a orienté et supporter pour réalisé ce travail ainsi que toutes les équipes du laboratoire d'analyse.

Nous sincères remerciements aux examinateurs qui ont accepté de jugé ce travail.

Nos remerciements s'adressent aussi à toute personne ayant participé de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail et surtout nos chers parents.

Dédicaces

Je dédier ce modeste travail :

A ceux qui m'ont mis au monde, mes chers parents

Je les remercie pour leurs sacrifices pour m'offrir un climat idéal de travail, de m'apporter leurs soutiens depuis toujours, pour leurs encouragements et consentis dans le souci de ma réussite, car sans eux je ne serais plus arrivée là où j'en suis.

A ma chère sœur Yasmine et mes petits frères yasser et youcef

A mes chères tantes Meriem ,Razika ,Bania ,souad pour leurs soutiens.

*A mes chers amis Thileli, Chahinez ,sonia , Massi, Mouloud , Houda ,
libya, katia, zohra, kahina, nesrine.*

A mes cousines kamilia et nesrine et melissa

A ma chère binôme sabrina

A tout mes camarades de la promotion Génie chimique 2022

youssa

Dédicaces

J'ai le plaisir de dédier ce travail à Ceux que j'ai tant aimés avec beaucoup d'affection

A mes chers parents que je ne trouverai jamais l'expression forte pour exprimer mon amour, ma reconnaissance et ma profonde gratitude pour tous les sacrifices consentis et dévoués pour mon bien être les quels je voue un profond respect. Je leur remercie pour leur confiance et que Dieu leurs accorde une très longue vie.

A mon seul et unique frère Moho.

A mes chères sœurs Siham Djina Céline.

*A mes oncles et tantes ainsi que mes cousins, cousines Fazia, Kenza, Djamilla, Moufida, et toute ma Famille **BRAHMI** du petit au grand.*

A mes chers amis : Thilleli, Chahinaze, Katia, Tinhinane, Moh, Hanane, Rami qui m'ont aidé à tracer un tel chemin de réussite.

A ma chère Manel qu'elle a tout donné pour l'achèvement de ce mémoire.

A ma binôme Yousra et sa famille.

A tous mes camarades de la promotion Génie chimique 2022.

A tous ceux que je connais de près et de loin.

Sabrina

Sommaire

Sommaire

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

Introduction

Chapitre I : Généralités et techniques de raffinage de sucre roux

I.1. Généralité sur le sucre de canne	3
I.1.1. Canne à sucre	3
I.1.2. Définition	3
I.1.3. Composition	3
I.1.2. Sucre roux	4
I.1.2.1. Définition	4
I.1.2.2. Procédés d'extraction de sucre roux	4
I.1.3. Le Saccharose	4
I.1.3.1. Définition	4
I.1.3.2. Propriétés physicochimique du saccharose	5
I.1.3.2.1. Aspect	5
I.1.3.2.2. Granulométrie	5
I.1.3.2.3. Inversion	5
I.1.3.2.4. Solubilité	5
I.1.3.2.5. Température de fusion	5
I.1.4. Notion générale sur la chimie sucrière	5
I.1.4.1. Brix	5
I.1.4.2. Solubilité	6
I.1.4.3. Polarisation	6
I.1.4.4. Pureté	6
I.1.4.5. Colorimétrie	6
I.1.4.6. Les non-sucre	6
I.1.4.7. Saturation	7
I.2. Technologies de raffinage du sucre roux de canne	7
I.2.1. Affinage et refonte	7
I.2.1.1. Affinage	7

I.2.1.2. Refonte	7
I.2.2. Épuration calco-carbonique	8
I.2.2.1. Préparation de lait de chaux	8
I.2.2.2. Chaulage	8
I.2.2.3. Carbonatation	8
I.2.2.3.1. Première carbonatation	9
I.2.2.3.2. Deuxième carbonatation	9
I.2.3. Filtration	9
I.2.4. Décoloration	10
I.2.5. Concentration	10
I.2.6. Cristallisation	10
I.2.6.1. Cristallisation haut produit (HP)	10
I.2.6.2. Cristallisation bas produit (BP)	11
I.2.7. Séchage et maturation	11
I.2.8. Stockage et conditionnement	11
I.3. Normes et qualités du sucre blanc	12
I.3.1. Critères de qualité du sucre blanc	12
I.3.1.1. Aspect	12
I.3.1.2. Aspect microbiologique	12
I.3.1.3. Coloration en solution	13
I.3.1.4. Teneur en cendre	13
I.3.1.5. Couleur critère d'évaluation de la qualité	13
Chapitre II : Amidon et Activité enzymatique Alpha-amylase	14
II.1. Amidon	14
II.1.1. Définition	14
II.1.2. Structure chimique de l'amidon natif	14
II.1.2.1. Composition chimique de l'amidon	14
II.1.2.2. Amylose	15
II.1.2.3. Amylopectine	15
II.1.3. Structure physique de l'amidon	16
II.1.4. Propriétés de l'amidon	17
II.1.4.1. Propriétés chimiques	17
II.1.4.2. Propriétés physiques	17
II.1.5. Propriétés fonctionnelles de l'amidon	18

II.2. Alpha-amylase	18
II.2.1. Définition.....	18
II.2.2. Nomenclature.....	18
II.2.3. Structure.....	18
II.2.4. Propriétés de l’alpha-amylase	19
II.2.4.1. Masse moléculaire	19
II.2.4.2. pH optimal	19
II.2.4.3. Température optimummale.....	19
II.2.5. Différentes origines	19
II.2.5.1. Origine animal	20
II.2.5.2. Origine végétale.....	20
II.2.5.3. Origine microbienne	20
II.2.6. Application industrielles.....	20
II.2.6.1. Demain industries agroalimentaires	20
II.2.6.2. Domaine médical et pharmaceutique	21
II.2.6.3. Autres utilisation.....	21
II.3. L’activité d’enzyme alpha-amylase sur l’amidon	21
II.3.1. Réaction chimique	21
II.3.2. Mécanisme d’action	21
 Chapitre III : Matériels et méthodes	
III.1. Prélèvement des échantillons	23
III.2. Produits utilisés	23
III.2.1. Sucre roux	23
III.2.2. Sirops	24
III.2.3. Autres produits	24
III.2.4. produits chimiques	24
III.3. Etude de la dégradation d’amidon par l’enzyme alpha-amylase.....	26
III.3.1. Préparation du sirop de fonte	26
III.3.2. Préparation des solutions.....	27
III.3.3. Détermination de la quantité d’amidon dans le sucre roux (matière première).....	27
III.3.4. Détermination de la quantité d’amidon dans le sucre roux avec injection d’alpha amylase	28
III.3.5. Effet de la dilution sur la dégradation de l’amidon	28
III.3.6. Influence de temps sur la dégradation de l’amidon	28

III.3.7. Dosage de l'amidon par spectrophotomètre UV/Visible	29
III.3.8. Détermination la présence d'alpha-amylase dans la matière première (sucre roux) et produit fini (sucre blanc)	30
III.4. Protocole expérimental à suivre pour réaliser les analyses physico-chimiques.....	31
III.4.1. Détermination de Brix.....	32
III.4.2. Détermination de la couleur en solution	33
III.4.3. Détermination de la polarisation des sirops	34
III.4.4. Détermination de la pureté	34
III.4.5. Mesure de pH	34
Chapitre IV : Résultats et discussion	
IV.1. Etude de la dégradation de l'amidon par injection de l'enzyme alpha-amylase.....	35
IV.1.1. Détermination de la quantité d'amidon dans le sucre roux (matière première)	35
IV.1.2. Effet de la dilution sur la dégradation de l'amidon.....	35
IV.1.3. Influence de temps sur la dégradation de l'amidon	36
IV.1.4. Détermination la présence d'alpha-amylase dans la matière première (sucre roux) et produit fini (sucre blanc)	36
IV.2. Suivi des différents paramètres physico-chimiques de sucre roux au niveau de processus de raffinage	38
IV.2.1. Détermination de Brix.....	38
IV.2.2. Détermination de la couleur en solution	38
IV.2.3. Détermination de la polarisation des sirops	39
IV.2.4. Détermination de la pureté.....	40
IV.2.5. Mesure de pH.....	41
Conclusion	43

Référence bibliographiques

Annexes

Liste des abréviations

BP :Bas produits

CV : coefficient de variation

HP :Haut produit

ICUMSA:International Commission for Unification Methods for Sugar Analysis

JC : Jus chaulé

Kcal :Kilo calorie

LS1 :Liqueur standard 1

LS2 :Liqueur standard 2

LS3 :Liqueur standard 3

LSA: Liqueur standard A

MS:Matière sèche

NS:Non sucre

OM : Ouverture moyenne

Ppm :particules par million

S:Sucre

SCa: Sirop carbonatation

SCo : Sirop concentré

SD:Sirop décoloré

SR:Sirop de fonte

SF:Sirop filtré

UI:Unité ICUMSA

Liste des figures

Figure I.1 :	Canne à sucre.....	03
Figure I.2 :	Structure moléculaire du saccharose	05
Figure I.3 :	Injection du ban	07
Figure I.4 :	Ban «Alpha-amylase »	07
Figure I.5 :	Atelier de cristallisation	10
Figure II.1 :	Structure chimique de l'amylose	15
Figure II.2 :	Structure de l'amylopéctine	15
Figure II.3 :	Structure d'un grain d'amidon	16
Figure II.4 :	Structure tridimensionnelle de l'alpha-amylase	18
Figure II.5 :	Modèle de localisation des fractions amylose , amylopéctine dans des granules plus au moins hydraté	21
Figure III.1 :	Diluteur automatique	25
Figure III.2 :	Plaque chauffante agitateur « VELP, SCIENTIFICA »	25
Figure III.3 :	Spectrophotomètre (ELIOS).....	28
Figure III.4 :	Courbe d'étalonnage	29
Figure III.5 :	Solution de sucre sur la gélose dans des boites pétries	30
Figure III.6 :	Refractomètre (RFM340).....	32
Figure III.7 :	Polarimètre (Polaser-S).....	33
Figure III.8 :	pH-mètre (HANNA instruments).....	34
Figure IV.1 :	Effet de la dilution de l'enzyme alpha-amylase sur la dégradation de l'amidon.....	35
Figure IV.2 :	Influence de temps sur la dégradation d'amidon.....	36
Figure IV.3 :	Détection d' α -amylase dans le sucre roux.....	37
Figure IV.4 :	Détection de l' α -amylase dans le sucre blanc	37
Figure IV.5 :	Evolution du Brix au cours de processus de raffinage de sucre	38

Figure IV.6 :	Evolution de la couleur au cours de processus de raffinage de sucre ...	39
Figure IV.7 :	Evolution de la polarisation au cours de processus de raffinage de sucre.....	40
Figure IV.8 :	Evolution de la pureté au cours de processus de raffinage de sucre.....	41
Figure IV.9 :	Evolution du pH au cours de processus de raffinage de sure	41

Liste des tableaux

Tableau I.1 :	Composition moyenne de la canne à sucre	3
Tableau I.2 :	Principales réactions de l'épuration calco-carbonoïque	9
Tableau II.1 :	Applications industrielles de l'alpha amylase	20
Tableau III.1 :	Caractéristiques physico-chimiques de sucre roux	22
Tableau III.2 :	Les sirops prélevés au niveau de différentes sections	23
Tableau III.3 :	Principaux produits chimiques utilisés et leurs caractéristiques	24
Tableau III.4 :	Type d'analyses effectuées sur les différents produits du processus ...	31

Introduction

Introduction

L'industrie sucrière est considérée comme une industrie mature fondée sur les principes de base du développement au 21^e siècle. L'industrie subit des changements, y compris le développement technologique et l'économie d'énergie. Elle a toujours été au centre des progrès scientifiques et technologiques. Le sucre est un produit très énergétique et un élément nutritif très important pour l'homme. Il est extrait de nombreuses plantes, principalement de la canne à sucre et de la betterave sucrière. La canne à sucre est une graminée principalement cultivée dans les régions tropicales et subtropicales.

La production de sucre nécessite une première transformation en sucrerie et une seconde en raffinerie [1]. Pour cette raison plusieurs entreprises existent dans le monde pour traiter le sucre sous ses diverses formes (cristallisée, liquide, morceaux...) et chacune d'entre elle cherche à améliorer la qualité de son produit. Pour cela, il est nécessaire de maintenir le bon fonctionnement du processus de raffinage du sucre (affinage, carbonatation, filtration, décoloration, etc.), notamment pour assurer sa stabilité. Cette dernière dépend de plusieurs paramètres (Brix, couleur, pureté, etc.) qu'il faut surveiller en permanence [2].

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. L'Algérie est considérée parmi les pays exportateurs de sucre raffiné grâce à la raffinerie de sucre du complexe agroalimentaire CEVITAL.

A l'heure actuelle, l'industrie sucrière est confrontée à des contraintes à la fois économiques et environnementales. Cette situation a amené les sucriers à chercher les voies et les moyens d'augmenter le rendement d'extraction du saccharose et d'accélérer le développement économique sans pour autant nuire à l'environnement.

En raffinerie, la présence de l'amidon dans la composition du sucre roux n'est pas très souhaitable car il provoque le colmatage des filtres à bougies utilisés à l'étape de filtration. Pour y remédier à ce problème, au niveau du complexe CEVITAL, on injecte, dans la section affinage, l'enzyme alpha amylase pour transformer l'amidon en glucose. Les alpha-amylases sont des enzymes, très coûteux, appartenant à la famille des hydrolases. Ils hydrolysent de manière aléatoire les liaisons osidiques de l'amylose, de l'amylopectine de l'amidon, du glycogène et d'autres polysaccharides contenant plus de trois liaisons $\alpha(1,4)$ D-glucose. Mise à part la cherté de ces enzymes, leur présence dans les produits finis (sucre roux et sucre blanc) conditionne l'utilisation du sucre produit dans l'industrie agroalimentaire car elle empêche la coagulation des produits laitiers.

C'est dans cette optique que s'inscrit notre travail effectué au sein de la raffinerie de sucre 3500 t/j de CEVITAL. Nous nous sommes intéressés, dans la première partie, à l'étude de l'effet du temps et de la dilution de l'enzyme alpha amylase sur la dégradation de taux de l'amidon. En deuxième partie, nous avons effectués un suivi de raffinage du sucre roux au sein du complexe CEVITAL de Bejaia. Pour cela, nous avons effectués des analyses physico-chimiques sur des échantillons à différentes étapes du process.

Le manuscrit comporte quatre chapitres :

Le premier chapitre dresse une synthèse bibliographique sur le sucre dans laquelle sont présentées les généralités et la technologie de raffinage de sucre roux. Le deuxième chapitre est consacré à l'amidon et à l'activité enzymatique de l'alpha amylase. Le troisième chapitre, décrit les dispositifs expérimentaux, les modes opératoires et méthodes expérimentales utilisées. Le quatrième chapitre est consacré à la présentation des résultats expérimentaux obtenus et leurs interprétations. Enfin, on termine par une conclusion.

Chapitre I

Généralités et technologie de
raffinage de sucre roux

Chapitre I

Généralités et technologie de raffinage de sucre roux

I.1. Généralités sur le sucre roux

I.1.1. Canne à sucre

I.1.1.1. Définition

C'est une plante de la famille des graminées et du groupe des Andropogonées. C'est une grande herbe vivace, produisant des tiges cylindriques, noueuses, de deux à cinq mètres de hauteur, de couleurs variées (jaunes, rougeâtres, violacées ou tachetées), suivant les variétés. Ses tiges pleines et charnues dans l'intervalle des nœuds sont peu saillantes et d'autant plus distantes les uns des autres ce qui explique sa croissance rapide.



Figure I.1: Canne à sucre.

La canne à sucre est principalement cultivée dans des régions tropicales et subtropicales, et dont sa multiplication agricole se fait par voie végétative[2-4].

I.1.1.2. Composition

La canne à sucre est essentiellement composée d'eau, de fibres (comme l'amidon) et de sucre (saccharose). Le tableau I.1 ci - dessous représente la proportion moyenne de chaque composant.

Tableau I.1: Composition moyenne de la canne à sucre[2].

Composants	Teneur en %
Eau	70
Saccharose	14
Fibre ligneuses	14
Impuretés	2

Après extraction, une tonne de canne à sucre produit environ 250 à 300 Kg de débris, soit entre 25 % et 30 % de la matière première [2].

I.1.2. Sucre roux

I.1.2.1. Définition

C'est un saccharose partiellement purifié, cristallisé obtenu à partir de jus de canne. Il est caractérisé par des cristaux de saccharose recouverts d'une pellicule de mélasse de canne [5].

Le sucre roux de canne est constitué de 94 à 98,5 % de saccharose, il comprend également diverses impuretés [6].

Il constitue la matière première au niveau des raffineries de sucre ou il va subir plusieurs étapes de transformation pour aboutir à un produit final qui est le sucre blanc, commercialisable [7].

I.1.2.2. Procédés d'extraction du sucre roux

Afin d'extraire du sucre roux, la canne à sucre subit plusieurs modifications et étapes qui se décrivent comme suite [2]:

- Réception et lavage ;
- Extraction de jus de canne ;
- Clarification ;
- Evaporation ;
- La cristallisation ;
- Malaxage et turbinage ;
- Séchage ;
- Emballage et Entreposage.

I.1.3. Saccharose

I.1.3.1. Définition

Le saccharose est un disaccharide ou diholoside, non réducteur, il est formé de deux molécules d'hexoses réducteurs : **le glucose** (aldose) et **le fructose** (cétoses) (figure I.2) [4].

Il a pour formule brute : $C_{12}H_{22}O_{11}$. Sa masse moléculaire est de 342 g/mol. [8,9].

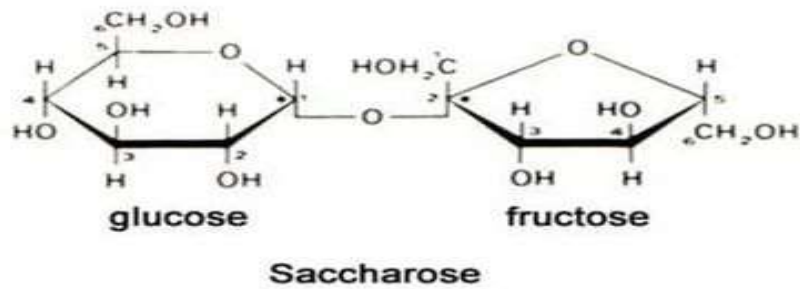


Figure I.2: Structure moléculaire du saccharose.

I.1.3.2. Propriétés physico-chimiques de saccharose

I.1.3.2.1. Aspect

Le sucre de commerce se présente sous forme d'une matière cristalline blanche et brillante qui n'est pas hygroscopique. Il est inodore de saveur caractéristique [9].

I.1.3.2.2. Granulométrie

Le sucre se présente sous différentes formes granulométriques, chacune est adaptée aux multiples besoins des industries utilisatrices. La granulométrie est exprimée au moyen de deux grandeurs : l'ouverture moyenne (**OM**) qui caractérise la dimension moyenne des cristaux et le coefficient de variation (**CV**) qui caractérise la dispersion des cristaux autour de cette valeur moyenne [9].

I.1.3.2.3. Inversion

Le sucre inverti (glucose et fructose) est obtenu par l'hydrolyse du saccharose plus au moins acide combinée à l'action de la température, ou par hydrolyse enzymatique par l'invertase [9].

I.1.3.2.4. Solubilité

La solubilité du sucre dans l'eau est d'autant plus grande que la température de celle-ci est élevée, à température ambiante (20°C) la solubilité est de 67g pour 33g d'eau ou pour 100g de solution [9].

I.1.3.2.5. Température de fusion

La forme cristalline du sucre fond entre 160°C et 186°C. La température exacte dépend du solvant de cristallisation et de la pureté du sucre [2].

I.1.4. Notion générale sur la chimie sucrière

I.1.4.1. Brix

Lorsqu'on chauffe une solution, on aura l'évaporation totale de l'eau (**E**). Il reste ce qu'on appelle « matières sèches ». Une solution est donc composée de matière sèche et de l'eau [10].

$$\text{Brix}(\%) = \frac{\text{Quantité de matière sèche (g)}}{\text{Quantité de solution}} \times 100 \quad (\text{Eq.I.1})$$

I.1.4.2. Solubilité

Le saccharose doit sa grande solubilité dans l'eau à sa structure spécifique.

Elle s'obtient en divisant la quantité (Q) de sucre dissout par la quantité (Q') d'eau dans laquelle elle a été dissoute selon la formule suivante [11].

$$\text{Solubilité} = \frac{Q \text{ sucre dissout (g)}}{Q' \text{ d'eau}} \quad (\text{Eq.I.2})$$

I.1.4.3. Polarisation

Une solution de sucre est composée de matières sèches et d'eau. Ces matières sèches contiennent des sucres et des non sucres .D'où :

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

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

MS: Matières sèches ; **NS:** Non sucre, **E:** eau [15]

La teneur en sucre dans une solution est le rapport entre la quantité de sucre contenue dans la solution et la quantité de solution. La polarisation peut être mesurée grâce à un polarimètre thermostaté à 20°C. Elle est également exprimée en pourcentage [12].

$$\text{Teneur en sucre (\%)} = \frac{\text{Quantité de sucre (g)}}{\text{Quantité de solution (g)}} \times 100 \quad (\text{Eq.I.3})$$

I.1.4.4. Pureté

La pureté définit la quantité de sucre (S) contenue dans la matière sèche (MS)[13].

$$\text{Pureté}(\%) = \frac{\text{Quantité de sucre (g)}}{\text{Quantité de la matière sèche (g)}} \times 100 \quad (\text{Eq.I.4})$$

La dilution ou la concentration d'une solution est sans effet sur la pureté, ainsi un jus avant évaporation et le sirop correspondant ont la même pureté.

I.1.4.5. Colorimétrie

Pour la détermination de la couleur du sucre blanc en solution et d'autres produits sucrés, **ICUMSA** (Internationale Commission of Unification of Methodes of Sugar Analyses) a officiellement adopté la méthode de mesure de l'absorbance à une longueur d'onde de $\lambda=420\text{nm}$ [14].

I.1.4.6. Non-sucres

Les non sucres sont toutes les substances dissoutes autre que le sucre (cendres et matières organiques). Après évaporation totale de l'eau, il reste la MS, c'est - à - dire :

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

MS: Matières sèches ; **NS:** Non sucre, **S:** sucre [15]

I.1.4.7. Saturation

La quantité de sucre pouvant se dissoudre dans une solution à une température donnée est limitée. Les cristaux de sucre ajoutés au-delà de cette quantité, ne se dissoudront pas ; la solution est saturée. En augmentant la température de la solution, la quantité de sucre que l'on peut dissoudre augmente [13].

$$\text{Saturation(\%)} = \frac{\text{Quantité maximale du sucre dissout}}{\text{Quantité d'eau}} \times 100 \text{(Eq.I.4)}$$

I.2. Technologie de raffinage de sucre roux

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, les étapes sont schématisées dans l'annexe I. Le raffinage de sucre au niveau de la raffinerie comporte huit sections.

I.2.1. Affinage et refonte

I.2.1.1. Affinage

L'affinage est une opération qui constitue «l'empattage», consiste à malaxer le sucre roux avec un sirop chaud légèrement sous saturé donnant un produit appelé magma d'affinage du Brix variant de 80% à 85% [6].

Cette étape a pour objectif de permettre à la couche superficielle des cristaux de se dissoudre [16].

Durant cette étape l'enzyme alpha-amylase est ajoutée (injection du ban) pour réduire la proportion d'amidon afin d'éviter le colmatage des tubes à l'étape de filtration (figures I.3 et I.4).



Figure I.3 : Injection du ban



Figure I.4 : Ban «Alpha-amylase »

I.2.1.2. Refonte

L'étape de refonte consiste à dissoudre les cristaux de sucre affiné dans une eau sucrée et chaude (50°C), après agitation, le sirop est filtré sur des tamis pour éliminer les déchets

grossiers. Cette étape est très importante puisqu'elle permet d'éliminer 50 % de la coloration et des impuretés dans le sucre brut [13].

I.2.2. Épuration Calco- Carbonique

La plupart des raffineries utilisent le procédé au carbonate de calcium, qui est le procédé le plus économique pour les usines à grand volume. Le sirop de refusion est traité avec une solution de chaux (lait de chaux) destinée à éliminer les impuretés dissoutes ou en suspension dans le sirop par décantation et filtration. Cette chaux est ensuite moyennée en dioxyde de carbone (CO_2) [17].

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 sucres

Les principales étapes de l'épuration calco - carbonique sont :

I.2.2.1. Préparation de lait de chaux

Le lait de chaux est constitué d'un mélange de chaux industrielle et de jus provenant de la filtration.

Une petite quantité de jus est utilisée pour que la chaux se dissout plus facilement dans l'eau sucrée afin d'augmenter sa solubilité et minimiser la quantité d'eau dans le processus. homogénéiser le mélange et remuer pour éviter la décantation du calcaire [13].

I.2.2.2. Chaulage

Le sirop refondu est chauffé dans un échangeur de chaleur à une température de 80°C à 90°C et mélangé avec du lait de chaux pour obtenir du jus de chaulé qui sera mélangé avec du gaz carbonique [18].

La chaux assure les réactions de dégradation, de coagulation, de floculation et de précipitation et apporte une charge suffisante de chaux carbonatée comme support de filtration [19].

I.2.2.3. Carbonatation

Le jus obtenu après diffusion contient beaucoup de sucre, mais aussi des impuretés, la carbonatation d'une part fait précipiter la chaux sous forme de carbonate de calcium (CaCO_3), propice à l'adsorption des impuretés, d'autre part, elle peut neutraliser l'environnement [18].

Le mélange (jus de citron vert, CO_2) est réalisé dans une chaudière de carbonatation, il s'agit de faire barboter le dioxyde de carbone dans le sirop pour une efficacité de réaction optimale. Le point de carbonatation optimal a été obtenu à un pH de 11,10 à 11,20 et une alcalinité de 5,5 g CaO/l et une température variant entre 80°C et 82°C [17].

I.2.2.2.1. Première carbonatation

La première carbonatation est utilisée pour précipiter l'excès de chaux dans le jus sous forme de CaCO_3 , adsorbant les impuretés sur les cristaux de carbonate naissant, en particulier les colorants résultant de la dégradation des produits de sucre inverti dégradés de manière hexosalcalique (PDAH).

En effet, le jus chaulé vert est réchauffé puis barboté avec du dioxyde de carbone, selon la réaction[7] :



I.2.2.2.2. Deuxième carbonatation

La deuxième carbonatation a pour rôle d'éliminer le maximum de calcium encore en solution dans les sirops de la première carbonatation [19]. La réaction se résume comme suite :



Tableau I.1:Principales réactions de l'épuration calco-carbonoïque [20]

Préparation de lait de chaux	$\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{énergie}(\text{Eq.I.7})$ Chaux Lait de chaux
Chaulage	$\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11} \longrightarrow \text{C}_{12}\text{H}_{20}\text{O}_{11}\text{Ca} + \text{H}_2\text{O}(\text{Eq.I.8})$ Saccharose Saccharate
1 ^{ère} et 2 ^{ème} carbonatation	$\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}\text{Ca} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{CaCO}_3 + \text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11} + \text{énergie}$ Carbonates de calcium (Eq.I.9)

I.2.3. Filtration

Le but de la filtration est d'éliminer le carbonate de calcium en suspension dans le sirop carbonaté et de récupérer les petits jus.

Le sirop produit par carbonatation est passé sur un filtre à bougie (Annexe I) dont le but est d'obtenir un jus clair en retenant dans le filtre les impuretés précipitées par la chaux et adsorbées sur du carbonate de calcium [21].

Les particules déposées finissent par former une précouche, qui devient un "gâteau" d'épaisseur croissante au fur et à mesure de la filtration [13].

Le filtre est vidé pour récupérer les boues qui ont traversé le filtre-pressé, de sorte qu'une petite quantité de jus peut être obtenue pour la préparation du lait de chaux, tandis que l'écume sera utilisée comme "engrais» [22].

I.2.4. Décoloration

La décoloration du sirop filtré est réalisée dans un échangeur d'anions de type AMBERLITE IRA 900 RF cl. Les résines échangeuses d'ions améliorent le rendement de cristallisation, et la couleur du sirop est d'environ 1000 ICUMSA, qui chute à 200 voire 100 ICUMSA après décoloration [23, 24].

I.2.5. Concentration

Faits saillants Avant la cristallisation, le sirop est concentré dans un évaporateur où la vapeur est récupérée pour le chauffage [25].

L'évaporation ou la concentration a pour but d'éliminer l'humidité [26].

Le sirop avait initialement environ 58 % de Brix et s'est avéré être à 78 % de Brix à la sortie du concentrateur. Enfin d'évaporation, le sirop est pur à 93 % et cristallisé pour la cuisson [27].

I.2.6. Cristallisation

La cristallisation du sucre est une opération qui permet d'extraire le saccharose en solution dans du jus concentré [28].

Alors que les impuretés restent concentrées dans le liquide pour donner en final une solution résiduelle épuisée [7].

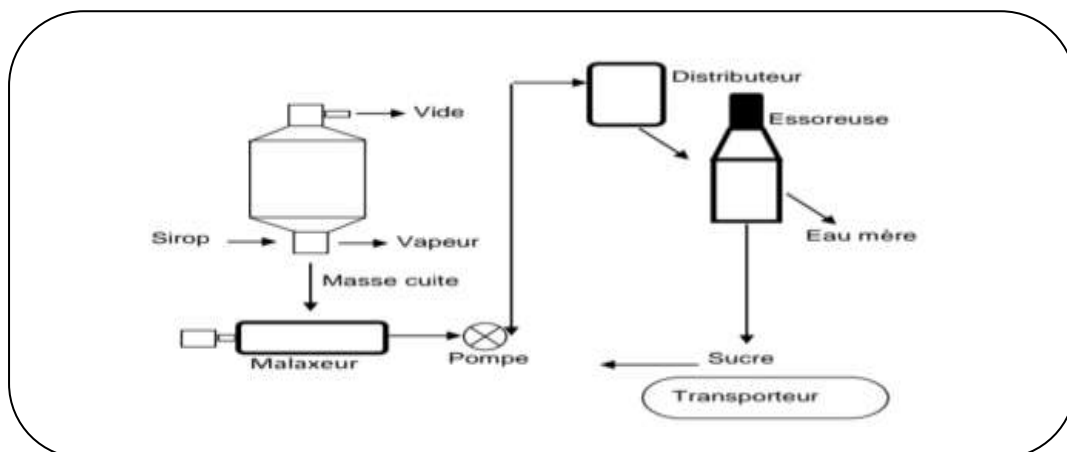


Figure I.5: Atelier de cristallisation[6].

I.2.6.1. Cristallisation Haut Produit (HP)

Cette étape est généralement réalisée dans trois buses, chaque buse étant elle-même constituée de 3 étapes : Cook, Mix and Spin ou Spin. Le premier sirop d'alimentation est appelé "solution standard", et le sirop et les cristaux formés au cours du processus de cristallisation forment une "pâte". Ce sirop entourant les cristaux s'appelle la liqueur mère car il nourrit les cristaux. Après déshydratation, la liqueur mère autour des cristaux devient une

«eau usée pauvre » ; l'eau utilisée pour clarifier les sucres dans les turbines centrifuges constitue une « eau usée riche » [7].

Le sucre obtenu est envoyé au séchage, et les eaux usées contenant encore du sucre cristallisable sont récupérées pour une nouvelle cristallisation. Cela crée trois jets. L'effluent final pas assez pur pour produire du sucre raffiné est envoyé à la cristallisation Bas-Produits.

I.2.6.2. Cristallisation Bas produit (BP)

Cette partie peut récupérer le sucre des drains de haute pureté bouillants, ou en raison de l'épuisement du sucre, cela se fait en trois étapes (jet) de cuisson suivies d'une centrifugation.

La prise de vue est la même que la prise de vue du cristal HP. La première étape fournit le sucre A, qui peut être séché et consommé sous forme de cassonade ou fondu pour être réintégré dans le raffinage. Les jets B et C ne sont que des modes d'épuisement supplémentaires.

L'effluent final après centrifugation Masse Cite C contient des quantités non sucrées et égales de sucre non recristallisé, appelé mélasse.

La mélasse est un sous-produit qui peut être utilisé à diverses fins, notamment :

- La production d'alcool (distillation après fermentation).
- La fabrication de levure boulangère.
- L'introduction dans l'alimentation du bétail [29].

I.2.7. Séchage et maturation

La première mouture de sucre blanc est évacuée vers un dessiccateur alors qu'elle est encore chaude (45 à 60°C) avec 1% d'humidité. Le séchage par air chaud en tambour, sécheur rotatif ou lit fluidisé suivi d'un refroidissement ramène ce taux à des valeurs comprises entre 0,03 et 0,06 % [7].

L'air nécessaire au séchage doit être sec, chaud et filtré à 35 °C. Le volume d'air par tonne de sucre est d'environ 1600 mètres cubes [30].

Ces deux étapes sont nécessaires à la bonne conservation des sucres et à la prévention de leurs altérations [31].

I.2.8. Stockage et conditionnement

Le sucre séché est tamisé, calibré et pesé puis envoyé à l'atelier de conditionnement, qui peut être directement ensaché ou tranché pour le conditionnement, ou stocké dans un silo.

Le sucre utilisé pour le stockage en silos est apparemment sec et fluide, mais le sucre continue à cristalliser le premier jour de stockage, avec dégagement d'eau, qui doit être éliminée (maturation) par ventilation du silo[32].

Les sacs pour l'emballage de 1Kg sont en plastique hermétique avec du polyéthylène à l'intérieur et du polypropylène à l'extérieur, les sacs de 50Kg et 1000Kg sont des sacs en polyéthylène et polypropylène tissés avec de la toile pour assurer une conservation hygiénique, nutritive et une qualité technique du produit.

Il y a quatre silos de stockage d'une capacité de 3200 tonnes pour chacun dont les conditions de stockage recommandées sont :

- Température ambiante.
- Humidité relative $\leq 65\%$ (à 20°C).
- Évité les chocs thermique et le contact avec des surfaces humides.
- Et la propreté de l'endroit du stockage.

La meilleure date de péremption pour le sucre blanc est de deux ans après le conditionnement [33].

I.3. Norme et qualité du sucre blanc

Les aliments destinés à la consommation directe doivent répondre à un certain nombre de règles de conformité établies par des organisations internationales dans le but de protéger la santé des consommateurs [34].

La qualité commerciale d'un sucre blanc se détermine au laboratoire à l'aide de critères normalisés au niveau européen. Elle est ainsi fonction de :

- L'aspect du cristal en surface.
- La coloration en solution
- La teneur en cendres conductimétriques [17].

I.3.1. Critères de qualité du sucre blanc

I.3.1.1. Aspect

Le sucre du commerce se présente sous la forme d'une matière cristalline blanche et brillante (prisme rhomboïdaux), qui n'est pas hygroscopique inodore et de saveur caractéristique [17].

I.3.1.2. Aspect microbiologique

L'analyse du sucre blanc a montré une activité de l'eau (a_w) comprise entre 0,2 et 0,3. Ces valeurs sont bien inférieures à la limite de développement microbien (0,6 - 0,7). Pour cette raison, le sucre sec est considéré comme un produit microbiologiquement sûr et ne nécessite aucune précaution autre que de bonnes pratiques de fabrication et un stockage approprié [35].

I.3.2.3. Coloration en solution

Mesurer l'absorption lumineuse de la solution sucrée à contrôler diluée à 50 % dans de l'eau distillée aux longueurs d'onde limites de la lumière visible et de la lumière ultraviolette. Cette solution filtrée a été contrôlée à 1 cm d'épaisseur à l'aide d'une table de concentration à 1% et multipliée par 1000 et nommée coloration ICUMSA (Comité International pour l'Harmonisation des Méthodes d'Analyse des Sucres). Divisé par 7,5 pour obtenir des points [36].

Sur la base de la valeur lue sur le colorimètre, le point de coloration est calculé [37].

I.3.1.4. Teneur en cendres

En règle générale, la cendre équivaut à un tiers du total des impuretés solubles contenues dans le sucre. La détermination de la teneur en sucre était basée sur des mesures de conductivité de solutions de sucre à 28 % [9].

I.3.1.5. Couleur critère d'évaluation de la qualité

La couleur du sucre blanc est l'un des déterminants de la typicité d'un produit, une caractéristique puissante sur laquelle les consommateurs peuvent choisir parmi une variété de produits concurrents.

Différents aspects de la couleur peuvent être considérés : la science, la technologie et les affaires. Pour la définition commerciale du sucre et son contrôle, la méthode officielle ICUMSA a été utilisée. La couleur en solution a été déterminée par spectrophotométrie à 420 nm sur une solution de sucre à 50° Brix préalablement filtrée sur une membrane de 0,45 µm. Un point est attribué pour 7,5 unités de couleur exprimées en unités "ICUMSA" [38].

Chapitre II

Amidon et activité
enzymatique alpha-amylase

Chapitre II

Activité enzymatique d'alpha-amylase sur l'amidon

II.1. Amidon

II.1.1. Définition

Les amidons sont des végétaux composés majoritairement de polysaccharides (98 à 99%) et des glucides (1 % à 2 %). Physiologiquement, ce sont des substances de réserves, emmagasinés dans les grains de céréales telles que le maïs et dans les tubercules comme la pomme de terre, le manioc, et on les trouve aussi dans les fruits comme la banane et dans plusieurs légumes [39].

Ils possèdent un diamètre pouvant varier de 1 à 100 μm selon la plante. Le motif constitutif est le glucose, de formule brute ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) [40]. L'amidon est l'un des glucides d'origine végétale les plus largement réponsus. Son intérêt primordial, tant sur le plan alimentaire qu'industriel n'est plus à démontrer [41]. L'amidon est un matériau peu coûteux, totalement renouvelable et en plus, rapidement biodégradable [42].

L'amidon est constitué de deux parties de polymères avec des structures primaires différentes : l'amylose et l'amylopectine, qui sont des molécules à chaîne ramifiée.

Les amidons sont des granulés allant de 1 à 100 μm ; leur taille et leur formation dépendent de leur origine végétale [43].

II.1.2. Structure chimique de l'amidon natif

II.1.2.1. Composition chimique de l'amidon

L'hydrolyse acide complète de l'amidon libère 98 à 99 % de D-glucose. Ce dernier est la conformation de chaise la plus stable (C1), les groupes hydroxyle C2, C3, C4 et C6 sont situés à l'équateur.

Les unités monomères de D-glucose sont principalement α -(1-4) (95-96%) et moins de touches α -(1-6) (4-5%). Chaque molécule possède une fonction pseudo-aldéhyde réductrice à son extrémité C1.

Du fait du fractionnement moléculaire de l'amidon, il a été montré que la fraction glucidique est un mélange de deux polymères : l'amylose, une molécule essentiellement linéaire, et l'amylopectine, une molécule ramifiée [44].

II.1.2.2. Amylose

L'amylose (figure II.1) représente 20 à 30 % de l'amidon, selon son origine végétale. C'est une macromolécule à structure linéaire formée de résidus de glucopyranose liés entre eux par des liaisons α -(1-4). Cependant, une petite quantité de liaisons α -(1-6) est présente.

La distribution en masses moléculaires de l'amylose est bien décrite par une distribution logarithmique. Sa masse molaire moyenne est de 105 à 106 g.mol⁻¹. Du fait de son caractère essentiellement linéaire, lié à la présence quasi-exclusive de liaisons α -(1-4), l'amylose est susceptible de complexer les molécules hydrophobes (iode, acides gras, chaînes hydrocarbonées). En particulier, la complication de l'iode est à la base de sa caractérisation analytique.

L'étude du comportement hydrodynamique de l'amylose en solution diluée montre que la molécule adopte une conformation en pelote statistique et ne présente pas de conformation hélicoïdale en milieu aqueux neutre [45- 47].

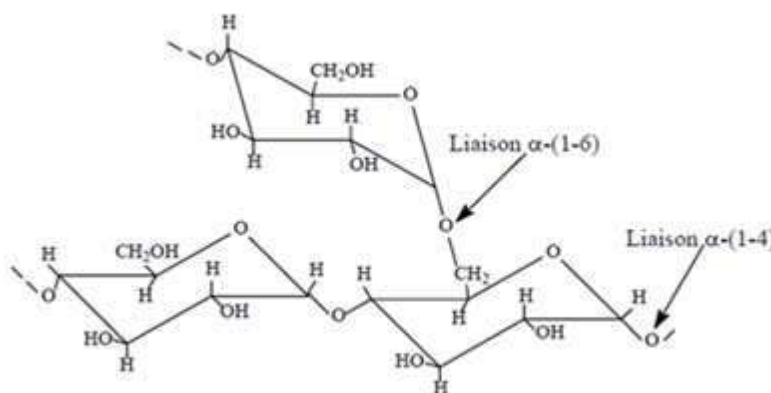


Figure II.1: Structure chimique de l'amylose.

II.1.2.3. Amylopectine

L'amylopectine représente 70 à 80 % de la portion glucidique de l'amidon. C'est une macromolécule dont la masse molaire est comprise entre 107 et 108 g.mol⁻¹, selon l'origine végétale, la variété et les conditions physiologiques lors de sa biosynthèse. Il est formé par l'association de résidus glucopyranose liés entre eux principalement par des liaisons α -(1-4) et 5-6% de liaisons α -(1-6), lui conférant une structure ramifiée (figure II.2)[47].

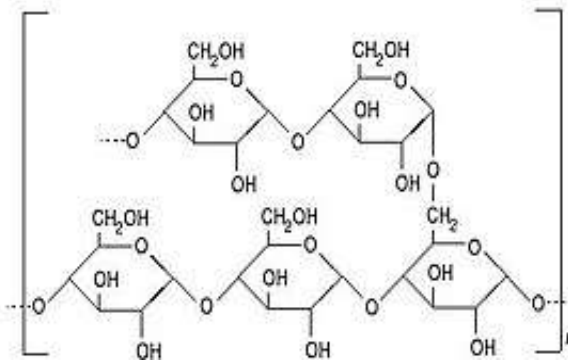


Figure II.2 : Structure de l'amylopectine

II.1.3. Structure physique de l'amidon

Il apparaît sous forme de grains formés par une alternance de régions concentriques claires et sombres autour d'un centre plus sombre appelé "hile".

La taille, la forme et la structure de ces grains varient en fonction de la plante dont provient l'amidon. Ainsi, selon les sources, il existe non pas un mais plusieurs amidons aux propriétés similaires mais légèrement différentes (figure II.3)[48].

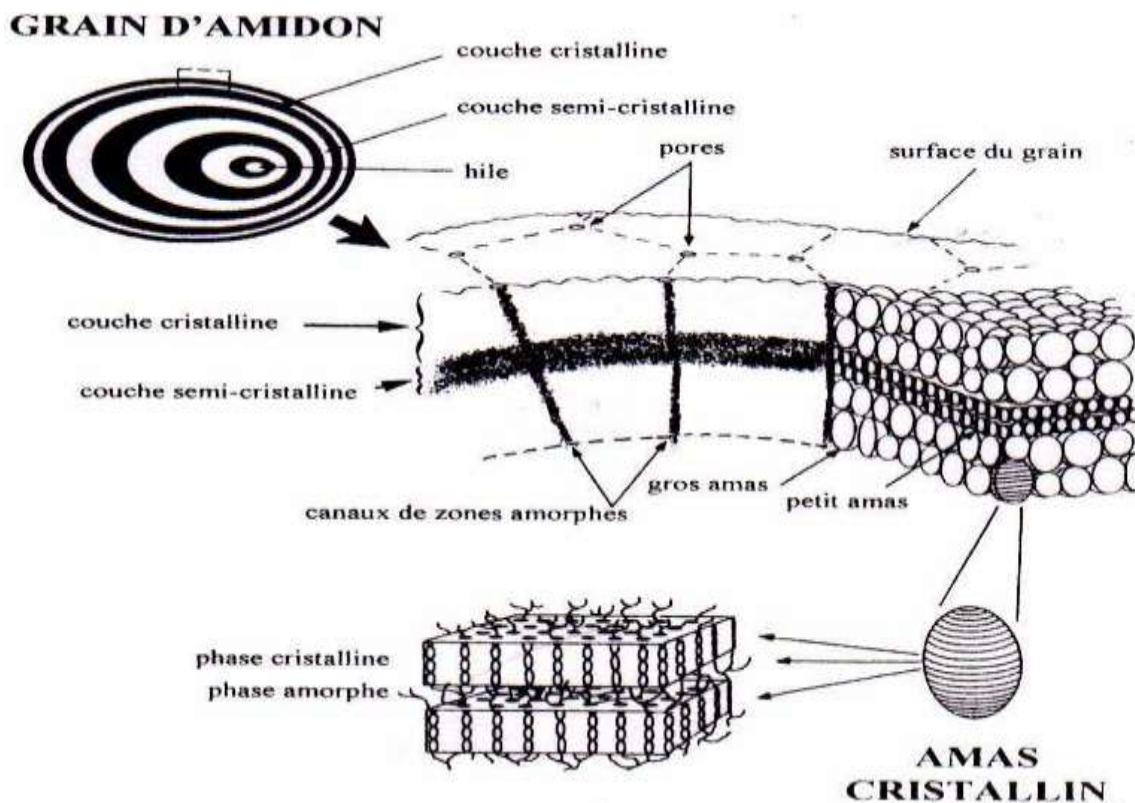


Figure II.3 : Structure d'un grain d'amidon [48].

II.1.4. Propriétés de l'amidon

II.1.4.1. Propriétés chimiques

En suspension dans l'eau, on obtient du lait d'amidon, suspension instable mais qui est chauffée à 70°C, devient visqueuse et translucide [49, 50] c'est le point de gélatinisation. Lors d'une transformation thermique classique, les grains d'amidon natif gonflent en présence de chaleur et d'eau. Ce gonflement s'accompagne de la fusion des cristallites et d'une libération progressive de molécules de petites masses moléculaires et solubles dans l'eau, venant de l'amylose et de l'amylopectine, jusqu'à l'éclatement de la structure granulaire et la libération totale des macromolécules d'amidon [51].

Au contact d'une solution iodo-iodurée, l'amidon prend une teinte violette (réaction entre l'amylose et l'iode) [50].

L'amidon ne peut pas oxyder la liqueur de Fehling, car sa fonction alcool (-OH)réductrice est « perdue » dans la taille de la molécule. La molécule seule d'amylose s'organise en une hélice droite à six glucoses par tour [50].

L'amidon est obtenu des produits agricoles par des processus divers. Les opérations de transformation des féculents pour la production d'amidon passe des voie sèche et voie humide(Hydrolyse) [50].

II.1.4.2. Propriétés physiques

Comme d'autres produits, l'amidon a ses propres propriétés physiques à savoir :

a. Influence de la température

L'amidon est insoluble dans l'eau. Il forme, en revanche à chaud(70°C) une solution colloïdale qui épaisse en donnant un gel communément appelé empois.

L'amidon est insoluble dans l'eau. Par contre, lorsqu'il est chauffé (70°C), il forme une solution colloïdale qui s'épaissit pour former un gel communément appelé amidon.

b. Température de gélification

La gélification commence progressivement à 50°C, mais est ensuite effective à des températures qui dépendent de l'agitation moléculaire, de la taille des particules, des propriétés de l'amidon, de l'eau utilisée et de la concentration en amidon.

c. Effet stabilisant .

Les amidons sont influencés par trois types d'action : thermique, chimique, enzymatique [52].

- **Actions thermique:** elle change la couleur et le goût de l'amidon par dextrinisation.
- **Actions chimiques et enzymatiques :**Les acides provoquent une hydrolyse partielle de l'amidon pour former des dextrans (D-glucose) et le maltose. Le gel formé est

moins épais. Cette hydrolyse est accélérée par l'augmentation de la température.

L'amidon peut également passer par l'action d'enzyme amylase.

Comme on peut le voir, les amidons natifs ont déjà une forte influence sur la texture, mais leur fragilité sous certains paramètres (par exemple la température) a conduit à l'utilisation d'amidons modifiés (traitée chimiquement).

II.1.5. Propriétés fonctionnelles de l'amidon [53].

L'amidon est un matériau peu coûteux avec de nombreuses utilisations : comme épaississants, stabilisants, gélifiants, etc.

La conformation spatiale de l'amidon contrôle ses propriétés physiques et chimiques. En fait, nous savons que les régions amorphes sont plus vulnérables à l'attaque des réactifs que les régions cristallines. Par conséquent, l'amidon est de préférence prétraité pour rompre les liaisons hydrogène intramoléculaires et intermoléculaires, le modifiant ainsi chimiquement.

Ce traitement doit pouvoir casser les liaisons hydrogène de l'amidon Les groupements hydroxyles sont ainsi libres et donc plus réactifs.

II.2. Alpha-amylase

II.2.1. Définition

Les alpha-amylases sont des enzymes appartenant à la famille des hydrolases (Mercier, 1985 ; Keating et al. 1998). Ils hydrolysent de manière aléatoire les liaisons osidiques de l'amylose, de l'amylopectine de l'amidon, du glycogène et d'autres polysaccharides contenant plus de trois liaisons $\alpha(1,4)$ D-glucose [54].

II.2.2. Nomenclature

- ✓ Nom codifié : EC 3.2.1.1.
- ✓ Nom générique : Alpha-amylase.
- ✓ Autres noms : glycogénase, alpha-amylase ; endoamylase ; Taka-amylase A, maxilase.
- ✓ Nom systématique : 1,4- α -D-glucane-4-glucanohydrolase [55, 56].

II.2.3. Structure de l' α -amylase

L'alpha-amylase (figure II.4) est une glycoprotéine contenant trois domaines globulaires (A, B et C) [57]. Il contient une fraction glucidique composée principalement de D-mannose, D-glucose, D-galactose, D-xylose et D-glucosamine, avec 471 à 483 résidus La chaîne polypeptidique lie chimiquement les acides aminés avec 4 ou 5 liaisons disulfures [58].

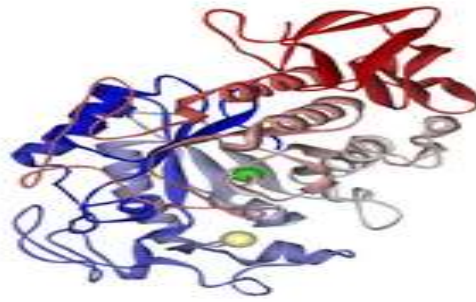


Figure II.4: structure tridimensionnelle de l'alpha-amylase.

II.2.4. Propriétés de l'alpha-amylase

II.2.4.1. Masse moléculaire

Le poids moléculaire des alpha-amylases varie selon la source et l'espèce. Elle est comprise entre $6.64212E-20$ et $1.494477E-19$ g/mol [55].

II.2.4.2. pH optimal

Les alpha-amylases sont généralement stables dans la plage de pH de 5 à 8, les alpha-amylases fongiques étant optimales entre 4 et 5 et les alpha-amylases bactériennes au-dessus de 6 à 8,5 [54]. Pour la levure, l'enzyme nécessite un pH compris entre 4 et 6 selon les espèces [59].

II.2.4.2. Température optimale

Les amylases microbiennes, quant à elles, sont très thermostables (30-60°C) et leur température optimale peut être plus élevée, entre 40°C et 70°C [60].

Selon la source et l'espèce, la température optimale pour l'alpha-amylase se situe entre 40°C et 90°C [55]. En effet, les alpha-amylases bactériennes sont connues pour leur excellente thermo stabilité, les *Bacillus amyloliquefaciens* se caractérisent par une température optimale allant de 70°C à 90°C selon les applications, tandis que les alpha-amylases fongiques ont une stabilité thermique considérablement plus faible avec une température optimale entre 50°C et 55°C [61].

II.2.5. Différentes origines

Les alpha-amylases de différentes origines (bactéries, champignons, animaux et plantes) n'ont pas affecté l'activité amylolytique. Les alpha-amylases sont abondantes dans tous les domaines, et elles ont été isolées par extraction à partir de tissus végétaux et animaux ou par fermentation dans des cellules microbiennes [61].

II.2.5.1. Origine animale

Les alpha-amylases animales sont couramment extraites de la salive humaine et du pancréas de mammifères tels que les porcs et les veaux. Chez l'homme, l'amylase est répandue dans les sécrétions salivaires (amylase S) et pancréatiques (amylase P) [62].

II.2.5.2. Origine végétale

Les α -amylases végétales sont cruciales dans le métabolisme des glucides, et elles sont impliquées dans la transformation de l'amidon en réduisant l'amidon en sucres réducteurs [61].

Ces enzymes végétales sont généralement obtenues par extraction à partir de céréales, notamment de blé, d'orge, de son ou de riz [63]. Ils se forment généralement lors de la germination des grains.

II.2.5.3. Origines microbiennes

On distingue les alpha-amylases fongiques et bactériennes :

- a. Alpha-amylase fongique Les alpha-amylases fongiques diffèrent des amylases bactériennes en ce qu'elles sont inactivées par la température, ont une capacité de saccharification élevée et ont un faible pH optimal (4-5) [64].
- b. Alpha-amylase bactérienne Cette enzyme est extracellulaire et est principalement obtenue par fermentation de la famille Bacillus. Historiquement, les premières enzymes ont été produites par fermentation de surface par Bacillus amyloliquefaciens, Bacillus licheniformis ou Bacillus subtilis [65].

II.2.6. Applications industrielles

Actuellement, les alpha-amylases microbiennes sont parmi les enzymes les plus utilisés dans les procédés industriels : industrie alimentaire, pharmaceutique, textile, papeterie, et détergent [66].

II.2.6.1. Domaines industriels agro-alimentaires

Tableau II.1: Applications industrielles de l'alpha-amylase.

industries	Applications
Glucoserie	La solubilisation de l'amidon dextrose s'accompagne d'une diminution significative de la viscosité (liquéfaction).
Sucrierie	Réduit la viscosité du sirop de canne, permettant le processus de cristallisation en hydrolysant les contaminants de l'amidon.
Biscuiterie et panification	Améliorer les propriétés rhéologiques et levantes de la pâte, ainsi que le volume de la mie et la couleur de la croûte.

Le tableau II.1 représente les applications industrielles de l'enzyme alpha-amylase.

II.2.6.2. Domaines médicaux et pharmaceutiques

Dans le domaine pharmaceutique, l'alpha-amylase est utilisée comme agent anti-inflammatoire et aussi comme aide digestive pour éviter l'indigestion et la fermentation entérique [67].

II.2.6.3. Autres utilisations

Les alpha-amylases sont également utilisées dans l'industrie textile pour le désencollage des tissus et dans les domaines de la tannerie, de la papeterie et de la lessive, où elles favorisent la disparition des taches en dégradant les salissures, améliorant ainsi le pouvoir blanchissant. Ils sont également utilisés pour traiter les eaux usées pour éliminer l'amidon [67].

II.3. Traitement enzymatique de l'alpha-amylase sur l'amidon

II.3.1. Réaction chimique

L'amylase (enzyme) permet la réaction suivante :



L'efficacité de l'enzyme n'est pas modifiée au cours de la réaction et elle reste intacte après la réaction, c'est donc un catalyseur.

II.3.2. Traitement enzymatique

Il permet une plus grande diversité dans la composition glucidique. L'amidon est hydrolysé par différentes espèces d'amylase (figure II.5).

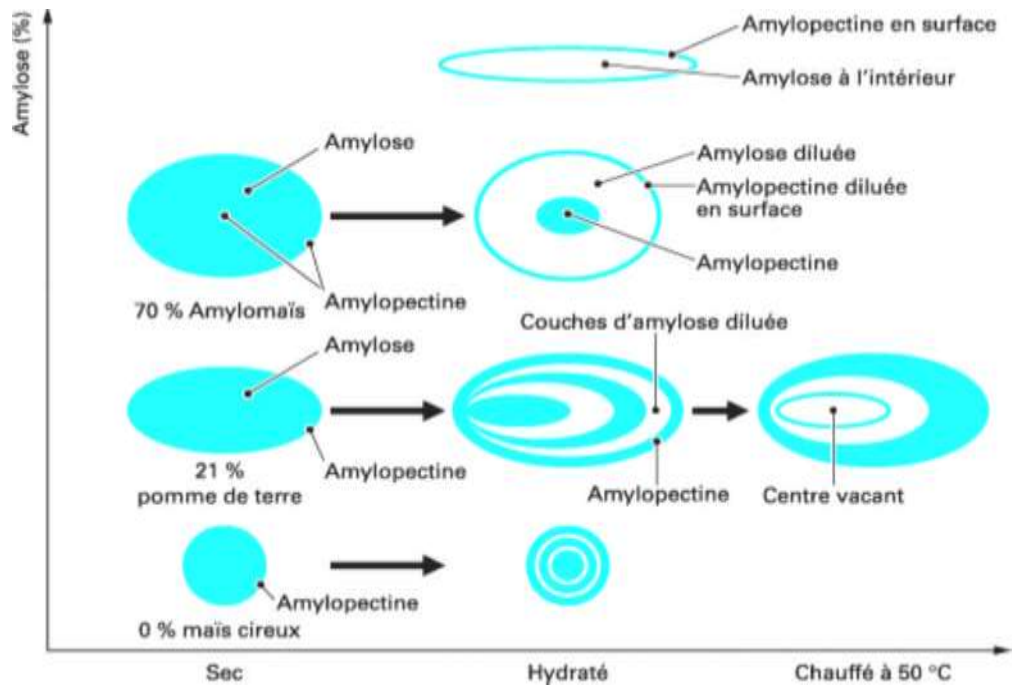


Figure II.5: Modèle de localisation des fractions amylose, amylopectine dans des granulés plus ou moins hydratés [68].

- L'alpha amylase : elle coupe les liaisons 1-4 des amyloses, au hasard, c'est une enzyme liquéfiante.
- La bêta amylase : elle libère surtout du maltose par rupture des liaisons 1-4 : hydrolyse saccharifiante, son action est stoppée au niveau des ramifications (1-6) de l'amylopectine.

L'amylo 1-4 glucuronidase : utilisé dans la fabrication du dextrose [69]: elle libère du glucose (dextrose) par rupture des liaisons (1-4).

Chapitre III

Matériels et méthodes

Chapitre III

Matériels et méthodes

Dans ce chapitre, nous présenterons dans un premier temps les matériaux et produits utilisés. Notre étude au niveau laboratoire de la sucrerie CEVITAL "Unité 3500 t/j". Dans Ce qui suit décrit un protocole expérimental pour suivre le phénomène dégradation de taux d'amidon par injection de l'enzyme alpha-amylase dans le sucre roux. A la fin de ce chapitre, nous aborderons les différentes techniques d'analyse physico-chimique utilisées au niveau de laboratoire.

III.1. Prélèvement des échantillons

Au cours de stage pratique effectué au sein du complexe CEVITAL, il a été procédé à différents prélèvements pour les analyses physico-chimiques.

L'échantillonnage consiste à ouvrir une vanne et à prélever une aliquote de l'échantillon, et l'échantillon est prélever dans des pots en plastique de 500 ml. Les pots seront immédiatement transportés au laboratoire pour analyse. Le prélèvement se fait chaque deux heures.

III.2. Produits utilisés

III.2.1. Sucre roux

Le sucre roux utilisé dans notre étude est une matière première importée de Brésil par CEVITAL, dont ses principales caractéristiques physico-chimiques sont données dans le tableau III.1 [70].

Tableau III.1 : Caractéristiques physico-chimiques sucre roux.

Caractéristiques	Spécifications	Unité	Normes d'essais
Pouvoir rotatoire	Min 99-Max 99,49	°Z(Zucker)	ICUMSA GS 1/2/3/9-1(2011)
Cendres conductimétriques	Max 0,15	%	ICUMSA GS 1/3/4/7/8-73 (1994)
Perte à la dessiccation (3 heures à 105°C)	Max 0,15	%	ICUMSA GS 2/1/3/9-15 (2007)
Couleur	Max 1200	U. Icumsa	ICUMSA GS 1/3-7 (2011)
Sulfites	Max 10	ppm	ICUMSA GS 2/1/7/9-33(2011)
Amidon	Max 200	ppm	ICUMSA GS 1-16 (2007)
Dextrane	Max 200	ppm	ICUMSA GS 1/2/9-15 (2011)

III.2.2. Sirops

Les sirops sont recueillis au niveau de différentes sections de l'atelier de production, les sirops sont présentés dans le tableau III.2.

Tableau III.2 : Les sirops prélevés au niveau de différentes sections.

Sirops	Nom des sirops	section
Magma	Magma	Affinage
SR	Sirop de refonte	Refonte
SCa	Sirop carbonaté	Carbonatation
SF	Sirop filtré	Filtration
SD	Sirop décoloré	Décoloration
SCo	Sirop concentré	Concentration
LS1	Liqueur standard 1	Cristallisation
LS2	Liqueur standard 2	Cristallisation
LS3	Liqueur standard 3	Cristallisation
LSA	Liqueur standard A	Cristallisation







III.2.3. Autres produits

- ✓ Alpha-amylase (nozozymes) : pH=3, température= 70°C.
- ✓ Amidon
- ✓ Terre infusoire

III.2.4. Produits chimiques

Les produits chimiques utilisés sont présentés dans le tableau III.3.

Tableau III.3 : Principaux produits chimiques utilisés et leurs caractéristiques.

Produit	Nom	Formule	Fournisseur	Caractéristiques
	Iodate de Potassium	KIO_3	FluKa	Densité=3,98 (20°C) Point de fusion=560°C Valeur de pH=6 Solubilité=92 g/l
	Iodure de Potassium	KI	SIGMA-ALORICH	Point de fusion =723°C T° ébullition=1325°C Solubilité=1430g/l Masse volumique=3,13 g/cm ³
	Chlorure de calcium dihydraté	$CaCl_2 \cdot 2H_2O$	VWR-CHEMICALS	Point de fusion=772°C Point d'ébullition =1935°C Solubilité à 20°C=745 g/l
	Agar agar	$C_{12}H_{18}O_9$	TM-MEDIA	T° fusion = 90°C
	Acétate de sodium	$C_2H_3NaO_2$	LOBACHEMIE	Densité=1.45 Point de fusion=57,9°C pH = [8,5-10] solubilité = 613 g/l
	Acide acétique	CH_3COOH	VWR-CHEMICALS	Masse molaire=60,52 g/mol Masse volumique=1,05 g/cm ³ point d'ébullition= 118°C point de fusion= 16,6°C

III.3. Etude de la dégradation d'amidon par l'enzyme alpha-amylase [71]

III.3.1. Préparation du sirop de refonte

Le sirop de refonte est préparé en respectant les conditions suivantes:

- Le Brix : avec un diluteur automatique on règle la machine au programme 4 (la norme du Brix est entre 60 % et 66%.
- La température : doit être entre 50 et 80°C car l'activité enzymatique commence à partir 50°C et jusqu'à 80°C pour avoir la dissolution complète du sucre.

❖ Mode opératoire

- On prend une petite quantité du sucre roux qu'on dilue avec de l'eau à l'aide d'un diluteur automatique (figure III.1) afin d'avoir un Brix de 65% ;

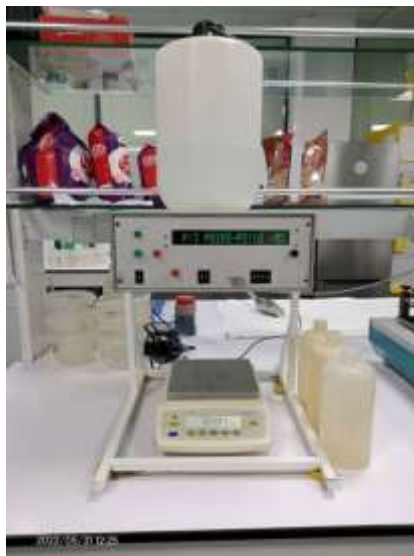


Figure III. 1 :Diluteur automatique.

- Agitation de la solution préparée jusqu'à dissolution complète du sucre avec une plaque chauffante agitateur « VELP, SCIENTIFICA » (figure III.2).



Figure III.2 : Plaque chauffante agitateur « VELP, SCIENTIFICA ».

III.3.2. Préparation des solutions

➤ **Solution d'acide acétique (CH_3COOH): 0,033 M**

Dans une fiole de 100ml on verse un volume de 3ml de la solution CH_3COOH de concentration 1M et on ajuste jusqu'au trait de repère avec l'eau distillée.

➤ **Solution de chlorure de calcium ($\text{CaCl}_2, 2\text{H}_2\text{O}$)**

Dans une fiole de 100ml on verse une masse de 41,69 g de chlorure de calcium di-hydrate [$\text{CaCl}_2, 2\text{H}_2\text{O}$] et on ajuste jusqu'au trait de repère avec l'eau distillée. Cette solution doit être préparée plusieurs heures avant l'analyse ou même la veille.

➤ **Solution de $\text{CaCl}_2 / \text{CH}_3\text{COOH}$**

On ajuste le pH de la solution de CaCl_2 à $3 \pm 0,1$ à l'aide de la solution de CH_3COOH 0,033M et cela juste avant l'utilisation.

➤ **Solution de l'iodate de potassium (KIO_3) : 0,0017M**

On sèche 0,5g de KIO_3 à 105 - 110°C pendant une heure. Dans une fiole de 1litre on verse une masse de 0,3566 g du produit séché et on ajuste jusqu'au trait de repère avec l'eau distillée. Cette solution doit être stockée à l'abri de la lumière dans un flacon fumé.

➤ **Solution de l'iodure de potassium (KI)**

Dans une fiole de 100ml on verse une masse de 10 g de KI et on ajuste jusqu'au trait de repère avec l'eau distillée. Cette solution doit être stockée à l'abri de la lumière dans un flacon fumé.

➤ **Solution de KI/ KIO_3**

On mélange 10 ml de la solution de KI avec 90 ml d'eau distillée. On rajoute à cette solution 100 ml de KIO_3 . Cette solution doit être stockée à l'abri de la lumière, dans un flacon fumé, et elle doit être préparée au moment de l'utilisation.

III.3.3. Détermination de la quantité d'amidon dans le sucre roux (matière première)

❖ **Mode opératoire**

- On pèse 7,20 g de sirop de refonte préparé dans deux fioles différentes ; Solution du blanc et b : Solution test.
- Puis on ajoute 14ml d'eau distillée dans chaque fiole ;
- A l'aide d'une burette, on ajoute dans chaque fiole 30 ml de chlorure de calcium / acide acétique ($\text{CaCl}_2 / \text{CH}_3\text{COOH}$), agiter puis boucher ;
- Placer les fioles pendant 15min dans un bain bouillant «JULABA F12 » (95-100°C) ;

- Agiter les fioles dans les 5 et 10 min qui suivent pour faciliter la dissolution de l'amidon. Les fioles doivent être mises dans le bain bouillant dans les 30 minutes qui suivent l'addition de l'eau distillé ;
- Après 15 minutes, retirer les fioles du bain bouillant, les refroidir dans un bain d'eau froide ;
- Dans chaque fiole ajouter à l'aide d'une burette 30 ml d'acide acétique à 0,033 mol / l, puis bien agiter ;
- Ajuster la fiole de la solution du blanc (a) avec de l'eau distillée et bien mélanger ;
- Ajouter 20ml de la solution potassium iodure / iodate (KI / KIO₃) à la solution test (b) et ajuster avec de l'eau distillée pour former le complexe amidon - iode de couleur bleu (c'est la fraction iode - amylose qui prend une couleur bleu), boucher la fiole et agiter ;
- Lire l'absorbance de la solution test à l'aide d'un spectrophotomètre « EVOLUTION 220, Thermo SCIENTIFICA », couplé avec un micro-ordinateur dans une cellule de 2 cm à 700 nm par rapport à la solution du blanc qui est considéré comme la solution de référence qui doit se faire entre 2 et 5 min après l'ajout du (KI / KIO₃).

III.3.4. Détermination de la quantité d'amidon dans le sucre roux avec injection d'alpha amylase

Injecter une goutte (0,01ml) d'enzyme alpha-amylase dans 50ml de sirop de refonte préparé et on applique le même mode opératoire.

Prendre notre sirop après l'injection et on mesure son Brix à l'aide d'un refractomètre(RFM340). On trouve que le Brix à augmenter (libération des saccharoses après l'injection d'enzyme alpha- amylase). On trouve le nouveau Brix est de l'ordre de 66,4%.

III.3.5. Effet de la dilution sur la dégradation de l'amidon

- Peser 4,78g de sirop de refonte préparé dans deux fioles différentes (blanc et test) ;
- Ajouter 9,21ml d'eau distillée dans chaque fiole et on applique le même mode opératoire.

III.3.6. Influence de temps sur la dégradation de l'amidon

Dans cette analyse on veut étudier l'influence du temps sur l'activité enzymatique Dans ce cas on a varié le temps de la réaction enzymatique (de 0 à 50 min) tout en fixant autres paramètres

- Le pH=3 ;
- La température : 75°C ;

- Le Brix = 65% ;
- Le facteur de dilution de l'enzyme alpha-amylase: 10.

Après l'injection, on applique le même protocole de dosage de l'amidon.

III.3.7. Dosage de l'amidon par spectrophotomètre UV/Visible

Le sucre roux est dissous dans l'eau distillée, on ajoute à la solution le chlorure de calcium /acide acétique pour solubiliser toute la quantité d'amidon présente dans l'échantillon. On ajoute la solution potassium iodure / iodate pour former le complexe amidon - iode de couleur bleu (c'est la fraction iode - amylose qui prend une couleur bleu).

L'absorbance de ce complexe est lue dans un spectrophotomètre UV/Visible (ELIOS) (figure III.3) à 700 nm, à cette longueur d'onde l'effet de l'absorbance des impuretés du sucre roux est minimal.



Figure III.3 : Spectrophotomètre (ELIOS).

Le spectrophotomètre est un appareil permettant de mesurer l'absorbance d'une solution, pour différentes longueurs d'ondes. Pour cela, il fait passer un rayon d'une longueur d'onde choisie à travers une cuve contenant la solution à étudier. Les molécules de la solution absorbent plus ou moins le rayon lumineux, on définit alors l'absorbance pour cette longueur d'onde. Les molécules qui présentent un spectre d'absorption UV-visible sont celles qui absorbent des photons dont l'énergie correspond à des longueurs d'onde se situant dans le domaine 190 nm – 800 nm. Lorsque des molécules absorbent des photons de l'UV-Visible, l'énergie des électrons de valence augmentent. Le phénomène d'absorption dans le domaine UV-Visible est lié aux variations de l'énergie moléculaire de transitions électroniques.

Le domaine spectral de l'UV-Visible est largement exploité en analyse quantitative. La loi de Beer-Lambert est une loi additive qui s'applique aux différentes molécules présentes en solution ou pour une même molécule aux différentes formes qu'elle peut prendre.

La loi de Beer-Lambert sert à établir une relation entre l'absorbance, l'épaisseur de l'échantillon et la concentration des espèces absorbantes.

Cette relation s'écrit : $\text{Log}_{10} (I_0/I) = \varepsilon \cdot C \cdot l$

Ou bien sous sa forme actuelle est : $A = \varepsilon \cdot C \cdot l$

Avec:

A : absorbance

ε : Coefficient d'extinction ($\text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{L}$).

C : Concentration (mol/L)

l : Epaisseur de la cuve (cm).

I_0 : Intensité de l'énergie d'irradiation arrivant sur l'échantillon (Lumière incidente)

I : Intensité de la radiation qui a traversé l'échantillon (Lumière transmise)

La figure III.4 présente la courbe d'étalonnage qui nous permet de calculer la quantité de l'amidon.

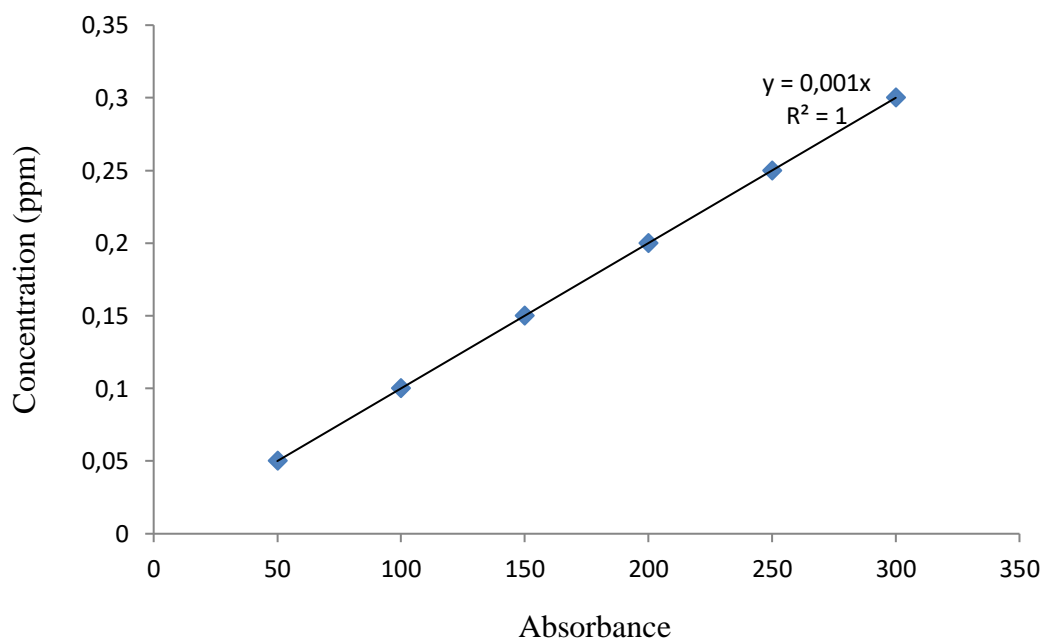


Figure III.4: Courbe d'étalonnage $A=f(C)$.

$$A = 0.001C$$

III.3.8. Détermination la présence d'alpha-amylase dans la matière première (sucre roux) et produit fini (sucre blanc)

❖ Mode opératoire

Préparation de la gélose (milieu de culture)

- Dans un bicher de 1l on prend 20g de l'agar + 1g d'amidon et 68g d'acétate du sodium puis on ajoute un litre d'eau distillé. On ajuste le pH avec la solution de HCl ;

- Faire chauffer le tout dans un bain marie à 100°C jusqu'à la dissolution complète de l'agar ;
- Repartir la gélose dans des boîtes pétries ;
- Préparer les solutions saturées du sucre avec l'eau distillée (exemple 10 g du sucre dans 5 ml d'eau) ;
- Mettre des puits sur la gélose on utilisant le bout de la pipette de 1ml ;
- Mettre dans les puits des gouttes de la solution de sucre à tester en utilisant la pipette pasteur figure III.4;
- Incuber les boîtes dans l'étuve « MEMMER» à 37°C pendant 24h et 48h ;
- Après l'incubation mettre l'iode sur la surface des boîtes pétries ;
- La lecture se fait par observation d'un halo transparent autours des puits qui montre une activité alpha amylase.

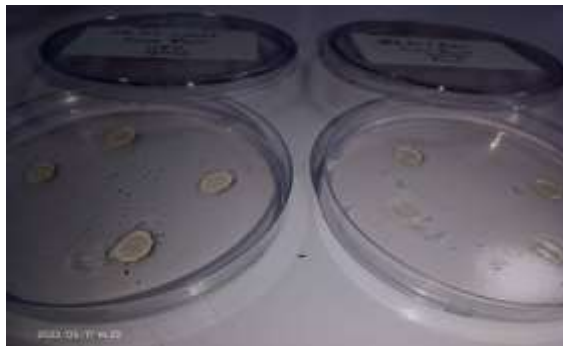


Figure III.5 : Solution de sucre sur la gélose dans des boîtes pétries.

III.4. Protocoles expérimentaux à suivre pour déterminer les différents paramètres physico-chimiques [72]

Il s'agit de déterminer les analyses applicables sur les produits légers (jus épurés) et lourds (sirops , refontes , égouts , masses cuites , eaux mères , mélasses , et sucres roux) après épuration .

Le tableau suivant regroupe la liste des analyses effectués sur les différents sirops prélevés au niveau des sections.

Tableau III.4:Type d'analyses effectuées sur les différents produits du processus.

Type d'analyse		Brix	Polarisation	Pureté	Couleur	Taux D' humidité	Taux de cendre	Granulométrie	pH
Type de	Produit								
Les Sections	Sucre roux	-	+	-	+	+	-	+	-
Produit intermédiaires	Magma	+	+	+	+	-	-	-	-
	SR	+	+	+	+	-	-	-	+
	JC	-	-	-	-	-	-	-	+
	S ₁ Ca	-	-	-	-	-	-	-	+
	S ₂ Ca	-	-	-	-	-	-	-	+
	SF	+	+	+	+	-	-	-	+
	SD ₁	+	+	+	+	-	-	-	+
	SD ₂	+	+	+	+	-	-	-	+
	SCo	+	+	+	+	-	-	-	+
	LS ₁	+	+	+	+	-	-	-	+
	LS ₂	+	+	+	+	-	-	-	+
	LS ₃	+	+	+	+	-	-	-	+
	LSA	+	+	+	+	-	-	-	+
	LSB	+	+	+	+	-	-	-	+
	LSC	+	+	+	+	-	-	-	+
Mélasse	+	+	+	-	-	-	-	-	
Produit fini	Sucre blanc	-	+	-	+	+	+	+	-

+ : Analyse effectuée

- : Analyse non-effectuée

III.4.1. Détermination de Brix

La mesure de Brix est réalisée par mesure de l'indice de réfraction au moyen d'un réfractomètre thermostat à 20°C (figure III.4).

❖ Mode opératoire

- On pèse 35g à 45g de chaque sirop prélevé dans un pot à l'aide d'une balance de précision ;
- On effectue une dilution de 1/5 pour les sirops avec de l'eau et laisser agiter jusqu'à homogénéisation ;

- On analyse la solution préparée par le réfractomètre. Les résultats obtenus sont exprimés soit en gramme par millilitre (g/ml) ou par pourcentage de matières sèches (%) présent dans la solution.

❖ Expression des résultats

Le Brix est généralement exprimé en pourcentage selon la formule suivante :



Figure III.6 : Réfractomètre (RFM340).

III.4.2. Détermination de la couleur en solution (méthode ICUMSA GS 2/3-10 (2007))

Les mesures de la coloration des sirops étudiés sont réalisées à l'aide d'un spectrophotomètre UV/Visible (ELIOS) (figure III.3). L'absorbance est mesurée à la longueur d'onde de 420 nm.

❖ Mode opératoire

On pèse 35 g à 45 g de chaque sirop prélevé dans un pot à l'aide d'une balance de précision

- On effectue une dilution de 1/5 pour les sirops avec de l'eau;
- On laisse la solution en agitation jusqu'à dissolution et homogénéisation totale du produit sur un agitateur ;
- On filtre la solution sur le filtre de 0,45 μ m (pour le sirop de fonte) ;
- On ajuste le pH du filtrat à $7 \pm 0,1$, par l'ajout de fines gouttelettes de solution de NaOH à 0,1N ou d' HCl à 0,1N ;
- On mesure l'absorbance des solutions à l'aide d'un spectrophotomètre UV/VIS (ELIOS) (figure III.4), à 420 nm dans une cuve de quartz de 1cm ;
- Lire le Brix de la solution à l'aide de réfractomètre puis, on calcule la couleur à partir de la formule inclut dans le logiciel Cléopâtre.

❖ Expression des résultats

Abs : absorbance de la solution à 420nm ;

B:épaisseur (5cm) de la cellule.

C : Concentration (g/ml) de la solution de sucre.

Le taux de décoloration (TD) est calculé à partir de la formule suivante :

III.4.3. Détermination de la polarisation des sirops

La teneur en saccharose a été déterminée par polarimétrie, à l'aide de Saccharimètre (Polaser-S). (Figure III.5).

❖ Mode opératoire

- On pèse 35 g à 45 g de chaque sirop prélevé dans un pot à l'aide d'une balance de précision ;
- On effectue une dilution de 1/5 pour les produits à analyser avec de l'eau;
- On laisse agiter la solution jusqu'à dissolution et homogénéisation totale du produit sur agitateur. ;
- On verse l'échantillon dans le saccharimètre et lire le résultat.

❖ Expression de résultat



Figure III.7: Polarimètre (Polaser-S).

III.4.4. Détermination de la pureté

La pureté ne se mesure pas, elle se calcule selon cette formule donnée ci-dessous

La pureté du sirop de sucre est reliée directement à la polarisation et au Brix.

Remarque : L'analyse des différentes mesures (mesure de polarisation, mesure de réfraction, mesure spectrophotométrique) est réalisée à l'aide du logiciel Cléopâtre. Ce logiciel effectue des calculs et fournit des résultats.

III.4.5. Mesure de pH [73]

Détermination de pH à l'aide de pH-mètre (HANNA instruments)(figure III.8).

❖ Mode opératoire

Emerger la sonde de pH-mètre dans la solution à analyser et lire la valeur directement sur pH-mètre.



Figure III.8: pH-mètre (HANNA instruments).

Chapitre IV

Résultats et discussions

Chapitre IV

Résultats et discussions

Dans ce chapitre, nous allons discuter d'abord les résultats obtenus lors de l'étude de dégradation de l'amidon par injection de l'enzyme alpha-amylase dans le sucre, et de suivre les traces de ce dernier dans le produit fini. Ensuite, nous présentons les résultats des analyses physico-chimiques effectués au niveau de la raffinerie de la sucrerie "Unité 3500 t/j" de CEVITAL et leurs interprétations.

IV.1. Etude de la dégradation de l'amidon par injection de l'enzyme alpha-amylase

IV.1.1. Détermination de la quantité d'amidon dans le sucre roux (matière première)

D'après les analyses effectuées sur le sucre roux, on a trouvé que le taux de l'amidon est de l'ordre de 130 ppm. Cette valeur est toujours dans les normes (200 ppm).

IV.1.2. Effet de la dilution sur la dégradation de l'amidon

Le taux d'amidon dans les sirops par injection d'enzyme alpha-amylase avec différentes dilutions (de 2 jusqu'à 450 fois) sont représentés dans la figure IV.1. Les valeurs obtenues sont regroupées dans l'annexe IV.

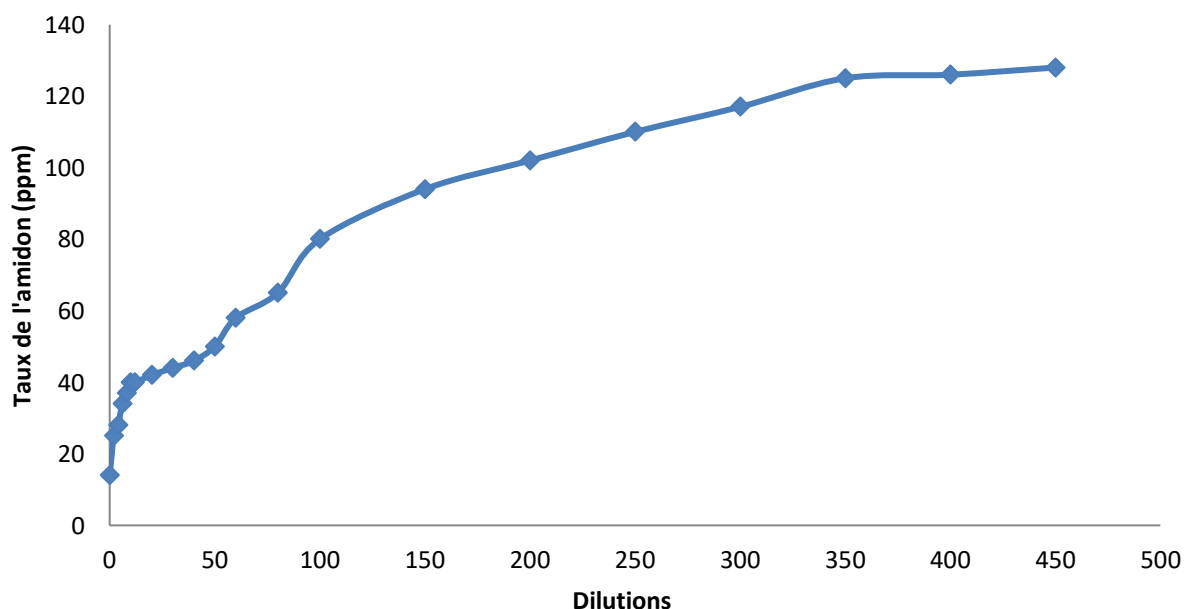


Figure IV.1 : Effet de la dilution de l'enzyme alpha-amylase sur la dégradation de l'amidon.

Les résultats illustrés sur la figure IV.1, montrent que le taux de l'amidon, dans le sucre roux, augmente avec l'augmentation du facteur de dilution de l'enzyme alpha-amylase.

On constate, à l'injection d'une goutte de l'enzyme alpha-amylase, une diminution importante du taux de l'amidon qui passe de 130 à 14 ppm et cela peut être expliqué par la transformation immédiate de l'amidon en glucose en contact de l'enzyme alpha-amylase d'où l'efficacité de l'activation enzymatique.

On constate, également, une légère variation de la concentration de l'amidon pour des dilutions de l'enzyme de 2 à 50 fois, au-delà de cette valeur on observe une augmentation du taux de l'amidon jusqu'à atteindre 128 ppm pour une dilution de 450. Ces valeurs sont proches de celle obtenue lors de l'analyse de la matière première (130 ppm).

On peut conclure qu'au-delà d'une dilution de l'enzyme de 50 fois, l'enzyme alpha-amylase perd son efficacité mais pas au point de perdre sa fonctionnalité.

IV.1.3. Influence de temps sur la dégradation de l'amidon

La figure IV.2 représente l'influence de temps sur la dégradation de taux d'amidon. Les valeurs obtenues sont regroupées dans l'annexe IV.

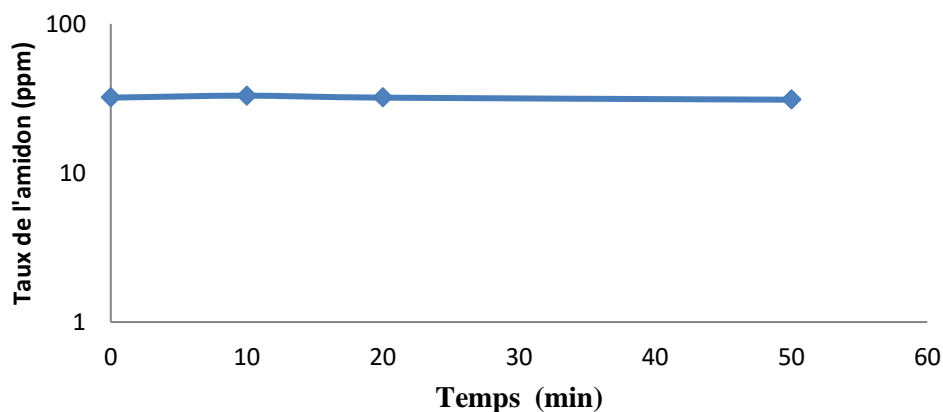


Figure IV.2:Influence de temps sur la dégradation de l'amidon.

pH =3, Brix = 65, facteur de dilution = 10.

D'après la figure IV.2, nous remarquons une stabilité de taux de l'amidon en fonction du temps de contact, ce qui implique que l'activité enzymatique de l'alpha-amylase est instantanée et ne dépend pas du temps.

IV.1.4. Détermination la présence d'alpha-amylase dans la matière première (sucre roux) et produit fini (sucre blanc)

La figure IV.3représente la détection de la présence d'alpha-amylase dans la matière première (sucre roux).



(a)



(b)

Figure IV.3 :Détection d' α -amylase dans le sucre roux.

(a) : Boîtes de pétri après 24h ; (b) :Boîtes de pétri après 48h.

Après un temps d'étuvage de 24h et 48h, on met l'iode à la surface des boîtes de pétri. Nous remarquons la formation d'un halo transparent autour des puits qui montre une activité enzymatique alpha amylase dans la matière première. Cette activité est présente à cause de l'injection de l'enzyme au niveau de la production du sucre au Brésil cela a pour but d'atteindre la norme fixée par le complexe CEVITAL (200 ppm).

La figure(IV.4) représente la détection de la présence d' α -amylase dans le produit fini (sucre blanc).



(a)



(b)

Figure IV.4 : Détection de l' α -amylase dans le sucre blanc.

(a) : Boîtes de pétri après 24h ; (b) :Boîtes de pétri après 48h.

Après 24h et 48h dans l'étuve, on met l'iode à la surface des boîtes de pétri. Nous constatons la formation d'un halo transparent autour des puits résultant de l'activité enzymatique alpha amylase cela indique la présence de l'enzyme dans le produit fini.

IV.2. Suivi des différents paramètres physico-chimiques de sucre roux au niveau de processus de raffinage

IV.2.1. Détermination de Brix

La variation du Brix des sirops dans les sections du raffinage du sucre est présentée dans la figure(IV.5). Les valeurs obtenues sont regroupés dans l'annexe IV.

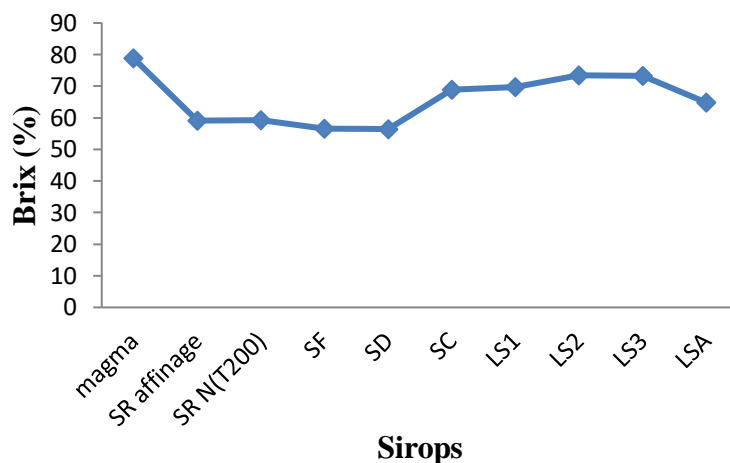


Figure IV.5: Evolution du Brix au cours de processus de raffinage de sucre.

Le magma qui est un mélange de sucre roux et de la liqueur standard de raffinage a un Brix de moyenne 78.83 % , ce dernier diminue jusqu'à 59.08 % dans le fondoir par l'ajout d'une certaine quantité d'eau chaude permettant la dissolution des cristaux de sucre raffiné. Selon la courbe nous constatons une stabilité du Brix du sirop de refonte jusqu'à LS1. Cependant une diminution de la valeur du Brix jusqu'à 56.54 % est notée pour le sirop filtré, due à l'étape de carbonatation.

Après décoloration, suite à la rétention des impuretés et colorants organique par la résine, le Brix atteint une moyenne de 56.44 % pour le sirop décoloré et augmente jusqu'à une valeur de 68.95 % au niveau de concentrateur. Dans les liqueurs standard 1, 2,3 et A la moyenne du Brix est de 69.68 %, 73.35 %, 73.23 % et 64.76 % respectivement. Cette augmentation est due l'effet de l'accumulation des égouts récupérés.

IV.2.2. Détermination de la couleur en solution

La figure (IV.6) représente l'évolution de la moyenne de la couleur durant le processus de raffinage du sucre. Les valeurs obtenues sont regroupées dans l'annexe IV.

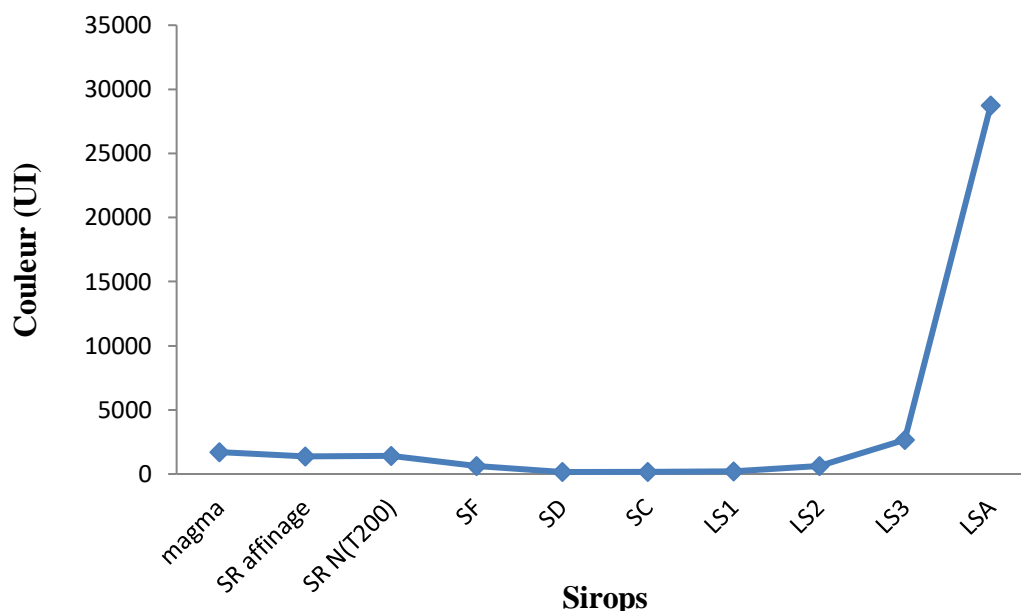


Figure IV.6: Evolution de la couleur au cours de processus de raffinage de sucre.

La valeur de la couleur augmente un peu au niveau de premier produit de raffinage, qui est le magma, elle est de 1698UI. Au niveau de la section refonte, la couleur diminue jusqu'à elle atteint une valeur de 1395UI.

A partir de la filtration et de la décoloration la couleur diminue. Ceci est dû à l'élimination des colorants et des impuretés piégés après l'épuration carbonique, au niveau des filtres, et au niveau de la résine échangeuse d'ion, qui retient des colorants présents en faible quantité couleur de sirop filtré est de 614UI, tandis qu'au niveau de la décoloration elle est de 156UI.

La couleur augmente pour atteindre 183 UI, au niveau des concentrateurs. Cette augmentation s'explique par l'obtention d'une légère caramélisation, sous l'effet de la température, et par le mélange de sirop décoloré envoyé avec le sirop concentré présent déjà dans le concentrateur qui est plus coloré.

Au niveau des liqueurs standards 2, 3 et A, la couleur augmente. Cette augmentation revient à la formation de liqueur standard obtenue à partir des égouts pauvres de la liqueur standard précédente qui est riche en colorants. Les valeurs de la couleur de ces produits sont : 211 UI pour LS₁, 617 UI pour LS₂, 2646 UI pour LS₃ et 28726 UI pour LSA.

IV.2.3. Détermination de la polarisation des sirops

La figure (IV.7) représente l'évolution de la polarisation durant le processus de raffinage du sucre. Les valeurs obtenues sont regroupées dans l'annexe IV.

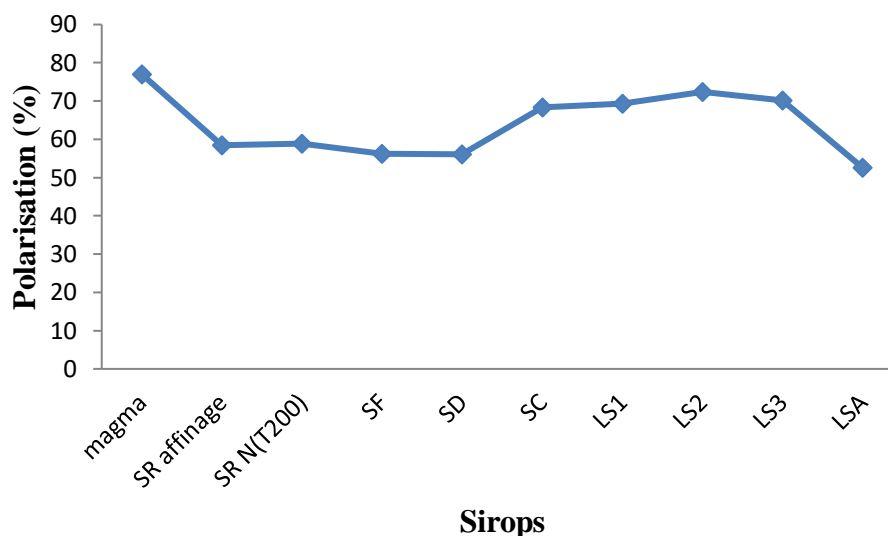


Figure IV.7: Evolution de la polarisation au cours de processus de raffinage de sucre.

A partir de graphique, la polarisation atteint, au niveau du magma, une valeur de 77.01%, puis diminue jusqu'à une valeur de 58.52 % au niveau de la refonte. L'ajout du lait de chaux au niveau de l'épuration (carbonatation), fait diminuer la polarisation après filtration et décoloration pour atteindre une valeur 56.24 % (SD).

L'évaporation d'eau au niveau des concentrateurs provoque l'augmentation de la polarisation jusqu'à une valeur de 68.40%.

Au niveau des liqueurs standards 1, 2 et 3, la polarisation augmente avec l'augmentation du Brix qui est respectivement 69.28% et 72.44% et 70.18%. Lors de l'avancement dans le processus du raffinage, le taux de la polarisation diminue au niveau de LSA 52.59% d'avantage suite à l'épuisement de sucre.

IV.2.4. Détermination de la pureté

La figure (IV.8) représente l'évolution de la pureté durant le processus de raffinage du sucre. Les valeurs obtenues sont regroupées dans l'annexe IV.

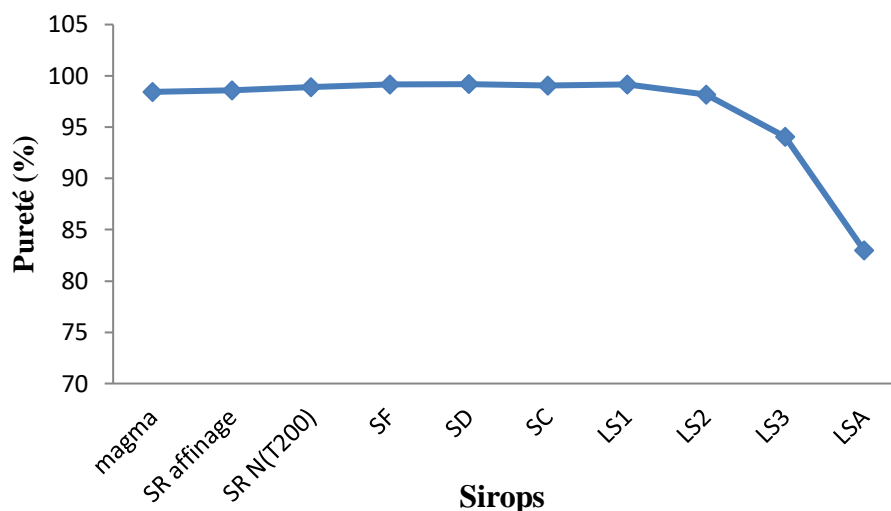


Figure IV.8: Evolution de la pureté au cours de processus de raffinage de sucre.

A partir du graphique, nous remarquons une stabilité de la pureté du magma avec une valeur de 98,44% jusqu'à LS1 où elle atteint une valeur de 99,15 %.

Ce qui 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 la cristallisation (LS1). La courbe s'incline vers des valeurs plus basses à partir de LS2 jusqu'à LSA qui sont de 98,19 % et 82,98% respectivement, cela est dû à la diminution de taux de saccharose dans les liqueurs après séparation du sucre (cristallisation).

IV.2.5. Mesure de pH

Les résultats de l'évolution du pH au cours de processus de raffinage sont représentés dans la figure(IV.9). Les valeurs sont représentées dans l'annexe IV.

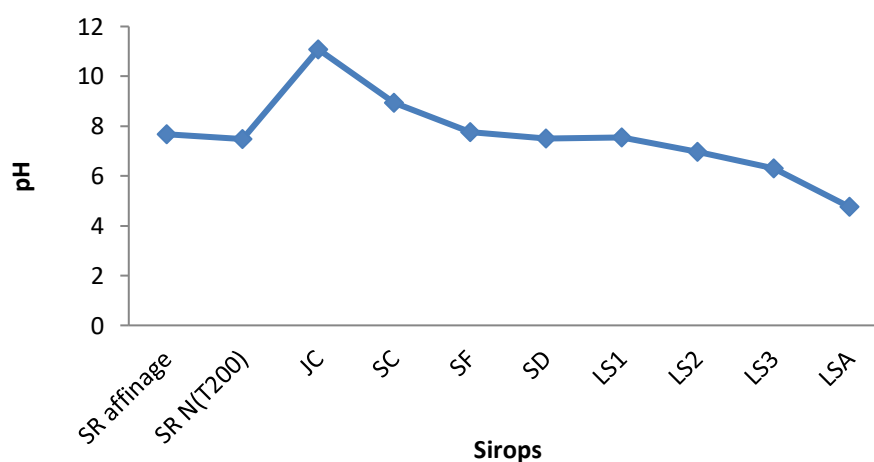


Figure IV.9: Evolution du pH au cours de processus de raffinage de sucre

D'après le graphe une légère diminution du pH est enregistrée allant des échantillons sirop d'affinage (7,68) au sirop de refonte (7,47), cette diminution peut s'expliquer par la libération des impuretés chargées inclus dans les cristaux de sucre lors de sa dissolution dans

le fondoir. Une forte augmentation du pH est enregistrée pour atteindre son maximum (11,08) pour les échantillons de jus chaulé (JC). Cette hausse est due à l'ajout de lait de chaux lors du chaulage.

La diminution progressive du pH lors de la première, deuxième et troisième carbonatation (9,48 et 8,84 et 8,08; respectivement) peut être expliquée par la transformation de la chaux en carbonate de calcium qui piège et précipite certaines impuretés d'où la diminution du calcium et des impuretés chargées négativement.

Le pH continue de baisser légèrement au cours de la filtration et de la décoloration, ceci est due à la rétention des impuretés et 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 la décoloration, le pH reste stable et neutre environ 7,51 en allant du sirop décoloré à la liqueur standard 1 LS1 (7,55), ceci est pour favoriser la cristallisation.

Le pH des échantillons analysés diminue jusqu'à pour LS2 (6,96) et 6,31 pour LS3 et 4,75 pour LSA où ils atteignent des valeurs au-dessous de la norme minimale.

Conclusion

Conclusion

Au terme de ce travail, qui a porté sur l'étude de l'effet de dilution de l'enzyme alpha-amylase sur la dégradation du taux de l'amidon dans le sucre et sur le suivi des paramètres physico-chimiques de sucre roux au cours du raffinage, nous pouvons tirer les conclusions suivantes :

Dans la première partie de l'étude, différentes dilutions (0 à 450 fois) de l'enzyme alpha-amylase ont été réalisées afin de réduire le taux de l'amidon dans le sucre. Les résultats obtenus montrent qu'avec un facteur de dilution de 50 fois, l'activité enzymatique reste efficace au-delà de ce facteur, l'enzyme reste inactif avec des taux de sucre avoisinant les 130 ppm (taux de l'amidon dans le sucre brut). La dilution de l'enzyme permet d'économiser l'enzyme et de réduire ainsi les coûts. Elle permet aussi de régler le problème de colmatage des filtres et enfin de satisfaire le client.

Dans la deuxième étude consacrée au suivi des paramètres physico-chimiques (Brix, couleur, pureté et pH) obtenus au cours du procès du raffinage de sucre, les résultats ont révélé que ces paramètres répondent aux normes exigées par les normes internationales et les normes du complexe CEVITAL. On peut conclure que le sucre produit au niveau du complexe CEVITAL est de bonne qualité.

Références Bibliographique

Références bibliographiques

- [1] Cartier S. « Application des procédés membranaires en sucrerie et raffinerie de canne », thèse doctorat école nationale supérieure des industries agricoles et alimentaires ENSIA, (1997).
- [2] Arzate A. « Extraction et raffinage du sucre de canne ». Revue de l'ACER (Centre de recherche, de développement et de transfert technologique en acériculture), (2005).
- [3] Bertrand G. « fabrication de sucre. In bibliothèque des industries biologiques » .Edition. Octave Doin et fils, Paris, (1913).
- [4] Vercambre B et Langellier P. « La culture de la canne à sucre ». Cours ENSIA-IAARC, Institut des régions Chaudes –Montpellier Sup Agro. Edition CIRAD-PERSYST, (2008).
- [5] Codex Stan 212. « NORME CODEX POUR LES SUCRES », (1999).
- [6] Decloux M., Tatoud L. et Messad A. « Rétention des impuretés de refonte de sucre roux de canne par filtration tangentielle ». Association AVH, 6^{ème} symposium, Université de Reims .(1999).
- [7] Mathlouthi M., Barbara R., « L'extraction du sucre », CEDUS : Centre d'étude et de documentation du sucre , (2001).
- [8] Alais C, Linde Get Miclo L. « Glucides simples et produit dérivés ». Biochimie alimentaire, (2003).
- [9] Doucet J. « Le sucre (saccharose) et ses dérivés traditionnels et nouveaux » .Edition. Tec et Doc Lavoisier, (1992).
- [10] Anonyme II, « Rapport de formation CEVITAL », (2005).
- [11] AFISUC, « Association pour la formation et le perfectionnement dans les industries sucrières », (2002).
- [12] MCG « Manuel opératoire des connaissances générales » .CEVITAL, (2008).
- [13] Rachedi N. « Procédés de transformation dans la raffinerie de CEVITAL SPA » rapport de formation, (2002).
- [14] De Whaley. « Méthodes ICUMSA d'analyse des sucres ». 12^{ème} symposium session ICUMSA, (1958).
- [15] Lescure J.P. « L'analyse des solutions de sucre. In le saccharose : propriétés et application » .Edition. Polytechnican, (1995).

- [16] Theoleyre M.A., Cartier S. et Decloux M. «Couplage de la décoloration et de la nanofiltration des éluant de régénération en sucrerie de canne». Association AVH, 6ème Symposium Université de Reims, (1999).
- [17] Decloux M, «Procédés de transformation en sucrerie (partie1)». Techniques de l'ingénieur, (2002).
- [18] Belhamri R. «Extraction des macromolécules pariétales des eaux de presse de betteraves sucrières étude de leur composition, de leurs propriétés physico-chimiques et de leur effet sur le procès sucrière» thèse de doctorat en chimie industrielle Université de Reims, (2005).
- [19] Burzawa E. «Rappel des bases de l'épuration calco-carbonique». Association AVH, 6ème symposium, Université de Reims, (1999).
- [20] Chen J.C.P. et Chou C. Cane sugar Handlbook : «A manual for cane sugar manufacturers and their chemists».Edition,John Wiley & Sons Inc, NY, (1993).
- [21] Bounie D. «Cours de technologies industrielles». Ecole polytechnique universitaire de Lille, (2003).
- [22] Hamachi M, Gupta B.B. ET Ben-Aim R. «Ultra filtration: a means for decolorization of cane sugar Solution. Séparation and Purification Technology», journal , technologie de séparation et de purification, (2003).
- [23] Theoleyre M.A , CartierS, DeclouxM.«Couplage de la décoloration et de la nano filtration des éluant de régénération en sucrerie de canne». Association AVH, 6ème Symposium Université de Reims, (1999).
- [24] Lameloise, Deloux, «Les membranes en sucrerie et distillerie: Applications récentes et en développement» UMR .AgroParisTech, (2007).
- [25] Anonyme III, «Manuel opératoire des connaissances générales »utilisé à CEVITAL, (2009).
- [26] Hugot E., « La sucrerie de canne : carbonatation »Edition. Tec & Doc, Lavoisier, France, (1987).
- [27] Mathlouthi M., Barbara R., « Chapitre 9 sucreries de canne», dossier CEDUS avec la collaboration de l'université de Reims, (2004).
- [28] Grondin-Perez B; Benne M. et Chabriat J. P. «Supervision of crystallization in Bois Rouge sugar millusing on –line crystal content. Estimation using synchronous microwave and refractometric brix measurements». Journal of Food Engineering,(2005).

- [29] AnonymeIII, «Manuel opératoire des connaissances générales utilisé à CEVITAL», (2009).
- [30] Schrevel G. « Interaction eau - saccharose et conséquences sur le séchage, la maturation et le stockage du sucre cristallise ».Association AVH 8ème symposium, Université de Reims, (2001).
- [31] Frédéric P. « Descriptif et analyse des différents sécheurs et refroidisseurs de sucre ». Association AVH, 11ème symposium Université de Reims, (2004).
- [32] Romain et al, « Science des aliments : biochimie, microbiologie, procédés, produits ».Edition Lavoisier, (2007).
- [33] Anonyme IV, « Manuel Opératoire »CEVITAL, (2010).
- [34] Mathlouthi. M Et Reiser P. «Le saccharose propriétés et application». Edition polytechnique, (1995).
- [35] Tianen T. « Raffinerie Tirlemontoise ». Edition Lavoisier, (2007).
- [36] ICUMSA Method GS1/3/4/7/8-13.«The Determination of Conductivity Ash in Raw Sugar, Brown Sugar, Juice, Syrup and Molasses – Official», (1994).
- [37] Margaret A. Clarke H., Leslie A. Edye P. Bjarne C. «In line measurement of color. In raw and refined sugars». The Sugar Industry Technologists Conference, Montreal, (1997).
- [38] Ait amar A. « Cours de technologie du sucre », Institut national des industries légères Boumerdes - Alger, (1989).
- [39] ST- Pierre N, Favis B.D., Ramsay B.A., « Traitement et caractérisation des mélanges amidon thermoplastique/polyéthylène» Journal Polymère 38, (1997).
- [40] Torino, « Influence des techniques de séchage sur l'interaction Protéines-Amidon », Mémoire d'Ingénieur en agronomie, spécialité : Technologie des Industries Agroalimentaires, Institue Nationale Agronomie El-Harrach-Alger, (1987).
- [41] Jamshidi. K., B. Hyon H., Ikada. Y « Dégradation in vitro de nanosphères à partir de poly (D,L-lactides) de différents poids moléculaires et polydispersités» Journal Polymère, 29, (1988).
- [42] Leclerc A. «Impact de la cation cité d'un amidon de maïs sur les propriétés physiques d'un papier», Sciences des pâtes et papier, Thèse de doctorat université du Québec à Trois-Rivières, (2001).
- [43] Arvisenet. G. « Influence des interactions physico-chimiques entre amidons et composés d'arôme sur la libération des arômes et les propriétés rhéologiques dans des

matrices aqueuses complexes ». Thèse de doctorat de l'université de Bourgogne, Enesad, (2001).

[44] Tara.A. « Modification chimique de l'amidon par extrusion réactive ». Thèse de doctorat de l'université de Reims , (2005).

[45] Gallant D.J., Guilbot A. «Étude de l'ultrastructure du grain d'amidon à l'aide de nouvelles méthodes de préparations en microscopie électronique ». journal Amidon Starke, (1969).

[46] Gallant D.J., Guilbot A. « Développement des connaissances sur l'ultrastructure du grain d'amidon ». /Tome 25, numéro 10, (1973).

[47] Whistler. R.L, Bemiller. J. N, Paschall. E. F. «Starch Chemistry and Technology», Academic Press Inc, (1984).

[48] Leveque.E., Haye.B, Belaribi.A.« L'amidon et ses dérivés, applications, Industrielles», Collection Bio Campus, Edition Scientifiques et médicales Elsevier SAS, (2000).

[49] Yitwhak Marcus, «The Properties of solvents». Edition Wiley, (1999).

[50] Boursier.B. « Amidons natifs et amidons modifiés alimentaires », Techniques de l'Ingénieur, F4690, (2005).

[51] DETIC, « Le Petit Manuel des Colles et Mastics », Association Belgo-Luxembourgeoise des producteurs et des distributeurs de savons, cosmétiques, détergents, produits d'entretien, d'hygiène et de toilette, colles, produits et matériel connexes, (2004).

[52] Whistler. R. L, Bemiller. J. N, Paschall E.F, «Starch Chemistry and Technology», Academic Press Inc, (1984).

[53] Fiche de sécurité du programme international sur la sécurité des substances chimique, (1991).

[54] Ait Kaki- El-Hadef El-Okki H, Leghlimi S, Dakhmouche L, Bennamoun., Z Meraihi. «Utilisation de la planification expérimentale pour l'optimisation de la production de l' α -amylase par rhizopus oryzae», Vol. 6 Rev. Microbiol. Ind. San. et Environn, (2012).

[55] Schomburg D. Salzmann M. « Enzyme Hand book 4 ». Edition. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg, (1991).

[56] Dauter Z, Dauter M, Brzozowski A. M, Christensen S, Borchert T. V, Beier L., Wilson K. S. and Davies G.J. X-ray. « Structure of Novamyl, the five-domain

“maltogenic” α -amylase from *Bacillus stearothermophilus*: maltose and acarbose complexes at 1.7 Å resolution » *Biochemistry*, (1999).

[57] Farber.G. K. and Petsko.G. A. «The evolution of barrel enzyme». *Trends. Biochem.SCI.* 15, (1990).

[58] Heslot H, Menez A. «L'ingénierie des protéines et ses applications». Edition Lavoisier, (1996).

[59] Panchal C. «Yeast strain selection». Edition Marcel Dekker, (1990).

[60] Park C.S, Chang C.C, Kim J.Y, Ogrydziak D.M. et Ryui D.D.Y. «Expression, secretion, and processing of rice Alpha-amylase in the yeast *Yarrowia lipolytica*». *J. Biol. Chem.* 272(11), (1997).

[61] Nouadri T. «L' α -amylase de *Penicillium camemberti* PL21: Production, Purification, Caractérisation et Immobilisation». Thèse de Doctorat, Université Mentouri, Constantine, (2011).

[62] Chatterton Jr, R. T., Vogelsong K. M., Lu Y. C., Ellman A. B. and Hudgens G. A. «Salivary α -amylase as a measure of endogenous adrenergic activity». *Clinical physiology* 16(4), (1996).

[63] Srinivasa R M., Reddy G. Venkateswara Rao G. and Sambasiva R. R.S. «Studies on the extraction and characterization of thermostable α -amylase from pericarp of *Borassus indica*». *African Journal of Biotechnology* 4, (2004).

[64] COSTES C. « Les enzymes, Production et utilisations industrielles », Extrait de la revue des cenologues N° 116, (2005).

[65] McTigue, Kelly C. T., Doyle E. M. et Fogarty W. M. «The alkaline amylase of the alkalophilic *Bacillus* sp. IMD 370». *Enzyme and Microbial Technology* 17, (1995).

[66] Behal A., Singh, J., Sharma M. K., Puri P. and Batra N. «Characterization of alkaline α -amylase from *Bacillus* sp. AB 04». *International Journal of Agriculture and Biology*, (2006).

[67] Merabti R. «Isolement et caractérisation de souches levuriennes amylolytiques à partir de sol saharien algérien». Mémoire de magistère, Université Mentouri, Constantine, (2006).

[68] O.B. WURZBURG, « Modified starches: Properties and Uses », *journal britannique des polymers*, Tome 21, (1986).

Références bibliographique

- [69] Robin J.P., Mercier, C. « Lintnerized Starches. Gel Filtration and Enzymatic Studies of Insoluble Residues from Prolonged Acid Treatment of Potato Starch ». *Journal Cereal Chem*, (1974).
- [70] Cahier de charge (exigences interne) norme iso 22 000, « Manuel », (2005).
- [71] ICUMSA method. International Commission for Uniform Method of Analysis (BESE) GS 1-16, (2013).
- [72] Syndicat National Des Fabricants De Sucre -Chapitre 1 Méthode n°41, (2001).
- [73] Syndicat National Des Fabricants De -Chapitre 1 : Méthode n°17, (1999).

Annexe

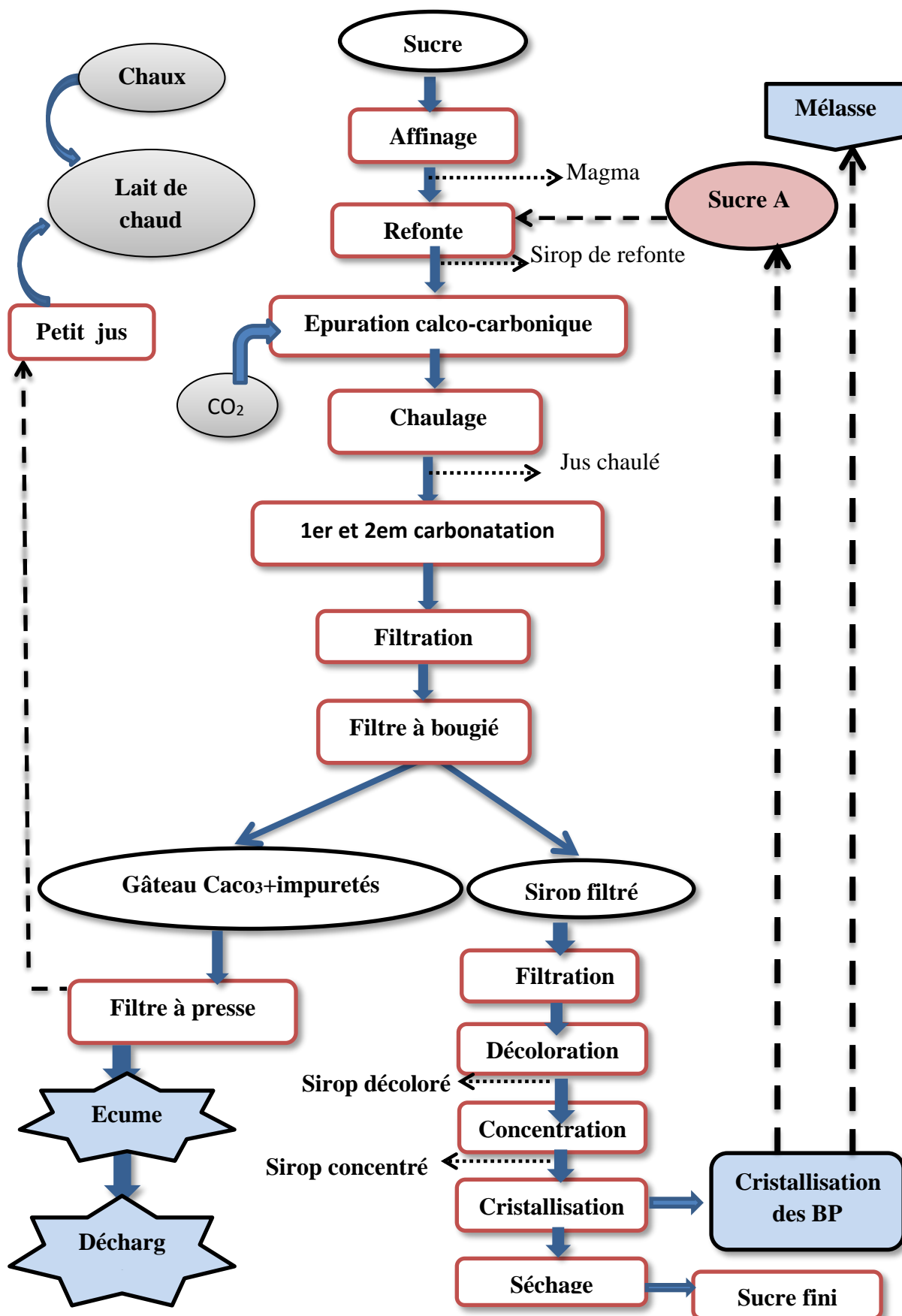


Figure I.1: Schéma du procédé de raffinage de sucre roux.

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

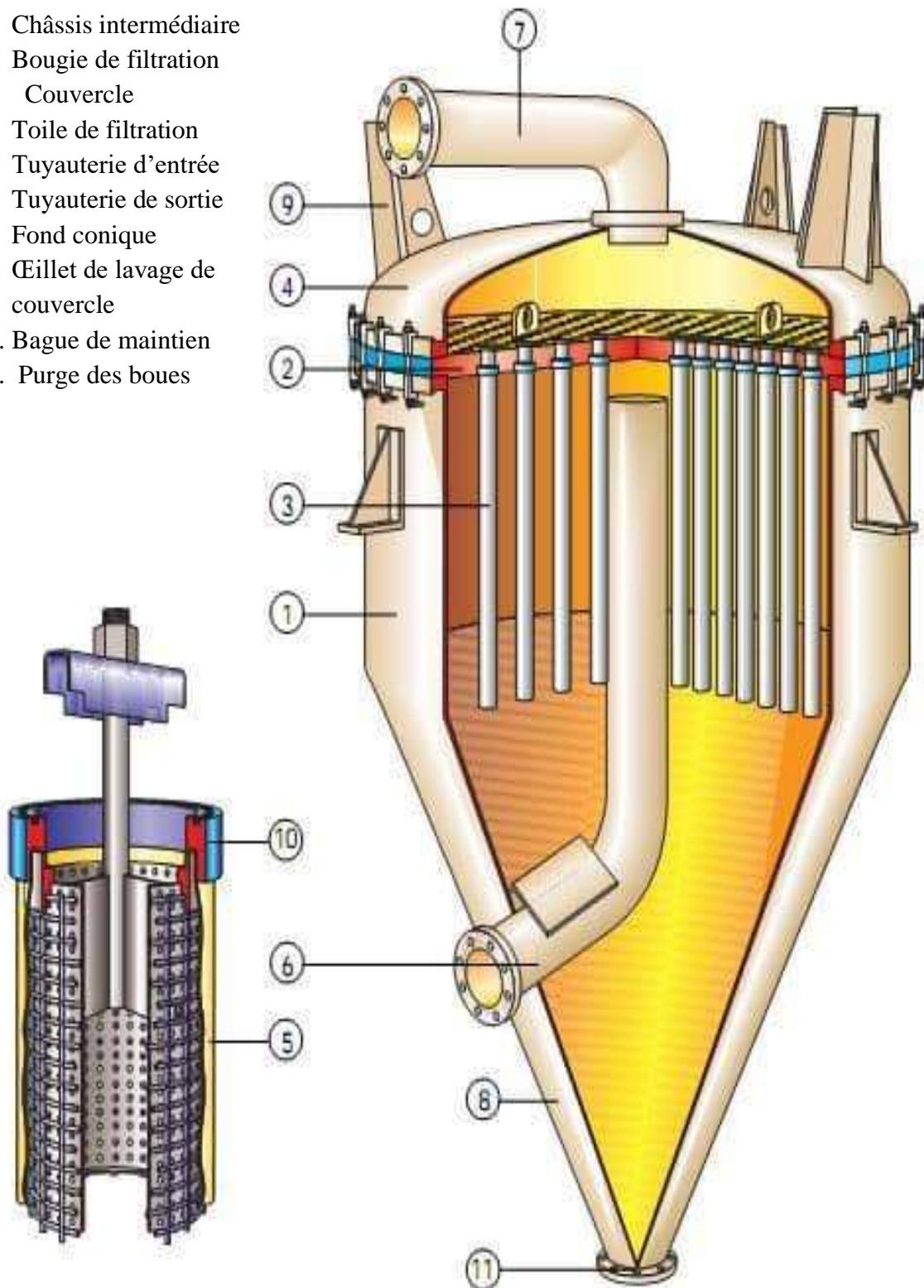


Figure I.2 : Fonctionnement d'un filtre à bougie (putsch, 2010).

Tableau III.2 : normes utilisé à CEVITAL pour les paramètres étudiés de chaque section

Paramètre étudié Sections	Brix(%)	Couleur(Icumsa)	Pureté(%)	pH
Magma	80-93	1500Max	98.5 Min	/
Sirop de refonte	60-67	1500Max	98.5 Min	6.5-7.5
Sirop filtré	60-63	600 Max	98.5 Min	8-8.5
Sirop décoloré	60-63	250 Max	98.8 Min	7-8.5
Sirop concentré	68 Min	300 Max	98.8 Min	/
Liqueur standard 1	63 Min	300 Max	98.8 Min	7-8.5
Liqueur standard 2	68-75	800 Max	98 Min	6.8 Min
Liqueur standard 3	68-77	3000 Max	95 Min	6 Min
Liqueur standard A	60min	15000 Max	91 Max	5.5 Min
Sucre blanc séchage A1001	/	45 Max	/	/

Tableau IV.1 : les résultats effectués pour l'analyse amidon avec injection de l'enzyme alpha-amylase.

Les résultats effectués	L'absorbance		L'amidon		
	Teste1	Teste2	Teste 1	Teste 2	La moyenne
injection d'enzyme sans dilution	0.022	0.031	11	18	
Dilution 2	0.04	0.04	25	25	
Dilution 4	0.048	0.04	31	25	
Dilution 6	0.05	0.055	32	36	
Dilution 8	0.054	0.059	36	39	
Dilution 10	0.055	0.064	36	43	
Dilution 12	0.057	0.063	38	42	
Dilution 20	0.059	0.067	39	45	
Dilution 30	0.065	0.065	44	44	
Dilution 40	0.064	0.072	43	49	
Dilution 50	0.071	0.075	49	52	
Dilution 60	0.082	0.086	57	60	
Dilution 80	0.09	0.096	63	68	
Dilution 100	0.108	0.117	77	84	
Dilution 150	0.130	0.132	94	95	
Dilution 200	0.140	0.141	101	102	
Dilution 250	0.149	0.155	108	113	
Dilution 300	0.159	0.161	116	117	
Dilution 350	0.169	0.174	123	127	
Dilution 400	0.170	0.175	124	128	
Dilution 450	0.175	0.176	128	129	

Tableau IV.2 : les résultats effectués d'analyse amidon en fonction du temps.

Les résultats effectués	L'absorbance		L'amidon		
	Teste1	Teste2	Teste1	Teste2	La moyenne
A l'instant	0.049	0.05	32	32	32
Après 10 min	0.050	0.051	32	33	33
Après 20 min	0.049	0.051	32	32	32
Après 50 min	0.047	0.049	30	32	31

Tableau IV.3 : Résultat effectué pour la mesure de brix

Les jours sirops	Jour 1	Jour 2	Jour 3	Jour4	Jour 5	Jour 6	Moyennes des jours
Magma	78.83	78.83	78.83	78.83	78.83	78.83	78.83
SR affinage	61.78	59.59	58.07	57.57	58.60	58.84	59.08
SR N(T200)	62.00	58.54	59.64	56.78	59.85	59.06	59.31
SF	58.10	56.27	55.53	55.78	57.15	56.42	56.54
SD	58.08	56.94	55.05	55.40	56.73	56.45	56.44
SC	70.75	62.92	68.23	70.38	72.48	68.15	68.95
LS₁	71.00	67.82	67.67	69.32	73.27	68.98	69.68
LS₂	74.95	70.85	72.37	73.60	74.30	74.05	73.35
LS₃	70.32	74.82	70.95	75.18	75.48	72.67	73.23
LSA	67.67	60.17	53.27	64.85	73.70	68.95	64.76

Tableau IV. 4 : Résultat effectué pour la mesure de la couleur

Les jours sirops	Jour1	Jour2	Jour3	Jour4	Jour5	Jour6	moyennes des jours
Magma	1698	1698	1698	1698	1698	1698	1698
SR affinage	1371	1187	1336	1579	1444	1458	1395
SR N(T200)	1399	1212	1360	1599	1479	1490	1423
SF	639	573	623	682	594	573	614
SD	181	159	158	149	133	177	156
SC	176	177	179	197	155	216	183
LS₁	194	184	178	338	160	211	211
LS₂	533	763	554	614	569	667	617
LS₃	3752	2963	2770	2146	2270	1975	2646
LSA	36585	18982	29900	29127	24315	33448	28726

Tableau IV.5 : Résultat effectué pour la mesure de la polarisation

Les jours sirops	Jour1	Jour2	Jour3	Jour4	Jour5	Jour6	moyennes des jours
Magma	77.01	77.01	77.01	77.01	77.01	77.01	77.01
SR affinage	61.06	57.73	57.44	57.21	59.74	57.92	58.52
SR N(T200)	61.30	57.87	59.01	56.33	59.77	59.17	58.90
SF	57.65	55.82	55.17	55.38	56.75	56.64	56.24
SD	57.62	56.45	54.62	54.89	56.36	56.25	56.03
SC	70.19	62.27	67.57	69.71	68.88	71.75	68.40
LS₁	70.49	67.26	66.99	68.66	69.66	72.62	69.28
LS₂	74.95	69.85	71.19	72.89	72.50	73.25	72.44
LS₃	65.61	70.96	68.01	72.36	71.82	72.32	70.18
LSA	52.12	53.90	42.05	50.56	51.92	64.99	52.59

Tableau IV.6 : Résultat effectué pour la mesure de la pureté.

Les jours sirops	Jour1	Jour2	Jour3	Jour4	Jour5	Jour6	moyennes des jours
Magma	98.5	98.43	98.43	98.43	98.43	98.43	98.44
SR affinage	98.84	97.43	98.91	98.97	98.88	98.45	98.58
SR N(T200)	98.87	98.87	98.94	98.97	98.86	98.87	98.90
SF	99.22	99.20	99.16	99.14	99.17	99.11	99.17
SD	99.21	99.16	99.22	99.18	99.19	99.17	99.19
SC	99.21	98.97	99.02	99.04	99.22	98.99	99.08
LS₁	99.29	99.18	99.01	99.06	99.26	99.11	99.15
LS₂	98.44	98.59	98.39	99.04	96.12	98.58	98.19
LS₃	93.47	94.84	95.85	96.25	88.11	95.81	94.06
LSA	77.16	89.50	79.13	79.05	84.83	88.25	82.98

Tableau IV. 7 : Résultat pour la mesure de PH

Les jours sirops	Jour1	Jour2	Jour3	Jour4	Jour5	Jour6	moyennes des jours
SR affinage	7.11	8.13	8.13	7.87	6.99	7.82	7.68
SR N(T200)	6.91	7.54	7.78	7.59	7.50	7.52	7.47
JC	11.02	11.05	11.18	11.08	11.05	11.12	11.08
SC	8.79	9.28	9.35	8.60	8.72	8.90	8.94
SF	7.80	7.53	7.97	7.70	7.70	7.86	7.76
SD	7.60	7.60	7.39	7.74	7.45	7.28	7.51
LS₁	7.55	7.50	7.59	7.55	7.47	7.65	7.55
LS₂	6.96	6.99	6.82	7.10	6.87	7.01	6.96
LS₃	6.17	6.43	6.20	6.43	6.29	6.31	6.31
LSA	4.80	4.71	4.51	4.82	4.81	4.87	4.75

Résumé

Ce travail a pour objectifs d'étudier l'effet de dilution de l'enzyme alpha-amylase sur la dégradation du taux de l'amidon dans le sucre et de suivre l'évolution des paramètres physico-chimiques de sucre roux au niveau du laboratoire de la raffinerie du complexe.

Les résultats obtenus dans la première partie de ce travail ont montré que l'activité enzymatique de l'alpha-amylase reste efficace jusqu'à 50 fois facteur de dilution, au delà de ce facteur, l'enzyme reste inactif avec des taux de l'amidon dans le sucre avoisinant les 130 ppm (taux de l'amidon dans le sucre brut). Les résultats obtenus dans la deuxième partie de ce travail ont montré que l'ensemble des paramètres physico-chimiques (Brix, couleur, pureté et pH) du sucre produit par CEVITAL répondent aux normes de l'entreprise.

Mots clés : Sucre, raffinage de sucre, enzyme alpha-amylase, amidon, dilution, propriétés physico-chimiques.

Abstract

This work aims to study the effect of dilution of the enzyme alpha-amylase on the degradation of the rate of starch in sugar and to follow the evolution of the physico-chemical parameters of brown sugar at the laboratory level. of the complex's refinery.

The results obtained in the first part of this work showed that the enzymatic activity of alpha-amylase remains effective up to 50 times dilution factor, beyond this factor, the enzyme remains inactive with rates of 1 starch in sugar around 130 ppm (starch content in raw sugar). The results obtained in the second part of this work showed that all the physico-chemical parameters (Brix, color, purity and pH) of the sugar produced by CEVITAL meet the company's standards.

Key words: Sugar, sugar refining, alpha-amylase enzyme, starch, dilution, physico-chemical properties.