

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université A. MIRA – BEJAIA

Faculté de Technologie

Département de Génie des Procédés

MEMOIRE DE FIN DE CYCLE

En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER

En Génie des Procédés

Option : Génie alimentaire

Thème

**Optimisation d'un procédés d'une formulation
alimentaire : sucre glace**

Réalisé par :

Mr. HADDAD Idir

Mr. TALBI Akram

Membre du jury :

Président du jury : Mr. FATMI

Examineur : Mr. SELLAMI

Promotrice : M^{me}. Sanhadji

Année 2020/2021



REMERCIEMENTS

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciements

On tient en premier lieu à remercier DIEU le tout puissant de nous avoir donné la force et la patience pour mener ce travail à terme.

Un grand merci à toutes nos familles surtout nos parents pour leurs encouragements et leurs suivis avec patience durant le déroulement de notre projet.

On a l'honneur d'exprimer notre gratitude, notre profonde reconnaissance et nos sincères remerciements à :

Notre promotrice Mme SENHADJI pour avoir bien voulu guider ce travail, pour son orientation et ses conseils.

Aux membres de jury pour avoir accepté de juger notre travail

A l'équipe de l'entreprise CEVITAL de nous avoir bien accueilli.

A tous le personnel de la raffinerie de sucre de CEVITAL (La 3000 T) pour leurs accueils, leurs conseils, leurs efforts et d'avoir consacré tous leurs moyens à notre disposition.

A Mesdames Fouzia Mokhtari et Kahina Benamor, Ingénieurs du laboratoire des Procédés Membranaires et des Techniques de Séparation et de Récupération où toutes les analyses granulométriques ont été effectuées.



*D*édicaces

*Avec l'aide de DIEU le tout puissant est enfin
achevé ce travail, lequel Je dédie à
toutes les personnes qui me sont chères :*

*A ceux qui n'ont jamais cessé de me soutenir et de
m'encourager, à ceux qui leur amour m'a donné la
volonté d'aller de l'avant,*

*A Mes très chers parents, que DIEU les
protège*

A Mes frères Slimane et Anis

*A mes deux sœurs Souhila et
Nawel*

A toute ma famille.

A ma promotion.

A Kouceila, Azzedine et tous mes amis

A ma chère Zahra.

*A mon collègue, ami et frère
Akram.*

IDIR



DIEU tout puissant merci de nous avoir donné la force
et la bonne santé tout au long de ma vie, et merci d'être
avec nous et de nous donné de l'aide pour finir ce
travail.

Je dédie ce travail à toutes les personnes qui me
sont chères : Mon **Père** ALI et ma **Mère** RBIHA, que

DIEU les protège

Mon **Frère** AZZEDDINE, mes **Sœurs** NAWEL, AMEL et
ISMAHEN

Toute Ma Famille.

A mon ami Younes SAHRI.

Et à **Tous Mes Amis** et à *ma promotion.*

A mon collègue et ami **IDIR**

AKRAM

ABREVIATION

m : unité de mesure de distance (mètre)

cm : unité de mesure de distance (centimètre)

mm : unité de mesure de distance (millimètre)

°C : unité de la température en degré Celsius.

kg : unité de mesure de poids (kilogramme)

% : pourcentage

K : potassium

µm : unité de mesure de distance (micro mètre)

g : unité de mesure de poids (gramme)

m.s⁻¹ : unité de mesure de vitesse (mètre par seconde)

t.h⁻¹ : unité de mesure de débit (tonne par heure)

t/j : unité de mesure de débit (tonne par jour)

Ca(OH)₂ : molécule de chaux éteinte.

CO₂ : molécule de dioxyde de Carbone.

SO₂ : molécule de dioxyde de soufre.

nm : unité de mesure de distance (nanomètre).

tr/min : unité de mesure de vitesse (tours par minute).

kg/h : unité de mesure de débit (kilogramme par heure).

ml : unité de mesure de volume (millilitre).

mg : unité de mesure de poids (milligramme).

min : unité de mesure de temps (minute).

± : plus ou moins.

m₀, m₁, m₂ : la masse.

bars : Unité de mesure de pression.

LISTE DES FIGURES

Chapitre I :

Figure.I.1. Représentation schématique de la canne à sucre adulte [5]	4
Figure.I.2. La canne à sucre à travers les âges	6
Figure.I.3. Schéma des différentes parties de la betterave sucrière.....	8
Figure.I.4. Aires de production de la betterave et de la canne à sucre dans le monde	10
Figure.I.5. Schéma des différentes opérations du procédé d'extraction du jus de canne	11
Figure.I.6. Etapes de fabrication de sucre.....	14

Chapitre II :

Figure.II.7. Schéma d'un broyeur à couteaux	23
Figure.II.8. Schéma d'un broyeur à marteaux	24
Figure.II.9. Couple rotor-stator d'un broyeur universel équipé de broches	25
Figure.II.10. Schéma d'un broyeur à jets d'air opposés avec classificateur intégré	26
Figure.II.11. Schéma d'un broyeur à cylindres.....	27
Figure.II.12. Les différents types de broyeur en fonction de la dureté du matériau et de la taille du produit à obtenir	28
Figure.II.13. Broyeur à sucre glace UM 630.....	30

Chapitre III :

Figure.III.14. une station de vidange de sacs « SacktipS80.....	37
Figure.III.15. l'emplacement de l'intersection amidon-sucre	38
Figure.III.16. photographie de l'unité de broyage.....	39
Figure.III.17. Machine de conditionnement de sucre glace Acepack SG-180Z	39

Figure.III.18. Granulomètre FRITSH ANALYSETTE 22 Nano Tec.....	43
Figure.III.19. Principe de fonction du granulometre.....	44
Chapitre IV :	
Figure.IV.20. Représentation graphique de la distribution de la taille des grains de l'amidon seul et de la répartition des particules selon trois niveaux de diametre.....	47
Figure.IV.21. Diagramme de la distribution granulométrique des particules du sucre glace pour les différentes vitesses et taux d'amidon (a) V=1486tr/min amidon 0,882%, (b) V=1486 tr/min amidon 3,442, (c) V=2080 tr/min amidon 0,903%, (d) V=2080 tr/min amidon 3,395%.....	48
Figure.IV.22. Représentation de l'évolution de la distribution granulométrique des particules de sucre glace en fonction de la vitesse de broyage et du taux d'amidon	49
Figure.IV.23. Diagramme de la distribution granulométrique des particules du sucre glace pour les différentes vitesses étudiées. (a) V=1486 tr/min, (b) V=1643 tr/min, (c) V=2080 tr/min, (d) V=2229 tr/min.....	51
Figure.IV.24. Evolution de la granulometrie du sucre glace en fonction de la vitesse de broyage.....	52
Figure.IV.25. Diagramme de distribution granulométrique des particules du sucre glace pour une vitesse constante de broyage avec des différentes ouvertures de la vanne d'injection (a) 15°, (b) 22,5, (c) 30°, (d) 45°.....	54
Figure.IV.26. Evolution de la granulométrie des grains en fonction de l'ouverture de la vanne d'injection d'air.....	55
Figure.IV.27. Photographie du filtre à air.....	57
Figure.IV.28. Photographie de la vanne d'injection d'air.....	58
Figure.IV.29. Diagramme de la distribution granulométrique des particules du sucre glace obtenu avec $V_{\text{broyage}} = 1486 \text{ tr/min}$ et ouverture de la vanne d'injection d'air = 15°.	59
Figure.IV.30. Représentation de la variation du pourcentage d'amidon dans la formulation optimisée	60

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre I :

Tableau.I.1. Composition de la canne à sucre..... 7

Chapitre II :

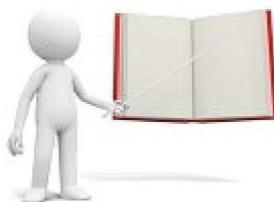
Tableau.II.2. Composition du sucre cristallisé 17

Tableau.II.3. Les différents types de broyeur en fonction de la taille du produit à obtenir..... 28

Chapitre IV :

Tableau.IV.4. résultats des tests effectués sur l'amidon..... 46

TABLE DES MATIERES



Introduction générale	1
-----------------------------	---

Chapitre I :

I.1.	Introduction	3
I.2.	Histoire du sucre	3
I.3.	Les sources du sucre.....	3
I.3.1.	La canne à sucre.....	4
I.3.1.1.	Condition de culture :.....	6
I.3.1.2.	Composition chimique de la canne à sucre :.....	7
I.3.2.	La betterave sucrière :	7
I.3.2.1.	Histoire de la betterave :.....	8
I.3.2.2.	Composition chimique de la betterave sucrière	8
I.3.2.3.	Culture de la betterave sucrière.....	9
I.3.3.	Betterave sucrière et la canne à sucre dans le monde :.....	9
I.4.	Technologie de la sucrerie	10
I.4.1.	Introduction	10
I.4.2.	Réception et préparation des plantes.....	11
I.4.3.	Extraction	11
I.4.3.1.	Découpage et broyage.....	11
I.4.3.2.	Extraction.....	12
I.4.3.3.	Epuration	12
I.4.3.4.	Evaporation et cristallisation : obtention du sucre.....	12

I.4.3.5.	Malaxage et turbinage	13
I.4.3.6.	Séchage	13
I.4.3.7.	Emballage et entreposage :.....	13
I.5.	Les différentes variétés de sucre :.....	14

Chapitre II :

II.1.	Définition.....	16
II.2.	Matières utilisées	16
II.2.1.	Sucre cristallisé	16
II.2.1.1.	Composition	16
II.2.1.2.	Propriété du sucre	17
II.2.2.	Amidon	19
II.2.2.1.	Composition de l'amidon	19
II.2.2.2.	Caractéristique de l'amidon.....	21
II.3.	Opération de broyage.....	21
II.3.1.	Définition.....	21
II.3.2.	Définition du broyeur	21
II.3.3.	Classification des broyeurs.....	21
II.3.3.1.	Broyeur à fragmentation grossière	21
II.3.3.2.	Broyeur à fragmentation fine.....	22
II.3.3.3.	Broyeur à fragmentation ultrafine.....	22
II.3.4.	Types de broyeurs.....	22
II.3.4.1.	Broyeurs à couteaux.....	22
II.3.4.2.	Les broyeurs à marteaux.....	23
II.3.4.3.	Broyeurs universels.....	24
II.3.4.4.	Broyeurs à jets de fluide.....	25
II.3.4.5.	Broyeurs à cylindres :.....	26

II.3.5.	Quelques éléments pour le choix d'une technologie de broyage.....	27
II.4.	Méthode de fabrication du sucre glace.....	29
II.4.1.	Première étape	29
II.4.2.	Deuxième étape	29
II.4.3.	Troisième étapes	29
II.5.	Les paramètres qui peuvent influencer le broyage des grains	30
II.6.	Utilisation du sucre glace dans le domaine alimentaire.....	31

Chapitre III :

III.1.	Présentation de l'entreprise	32
III.2.	La raffinerie de Cevital.....	33
III.2.1.	Matière première.....	33
III.2.2.	Raffinage du sucre	33
III.3.	Laboratoires de la raffinerie de Cevital.....	36
III.4.	Fabrication du sucre glace.....	36
III.5.	Échantillonnages et prélèvements	40
III.6.	Matériels et méthodes	40
III.6.1.	Teste d'antiagglomérant (test d'amidon)	40
III.6.2.	Analyse granulométrique	42

Chapitre IV :

IV.1	Paramètres de compositions.....	45
IV.1.1.	Sucre cristallisé.....	45
IV.1.2	Amidon	45
IV.1.2.1	Teste d'antiagglomérants	45

IV.1.2.2	Effet de la quantité d'amidon sur la granulométrie du sucre glace formulé	46
IV.2	Paramètres de procédés	50
IV.2.1	Nombre et forme des broches	50
IV.2.2	Vitesse de broyage	50
IV.2.3	Quantité d'air injecté	53
IV.3	Paramètres optimaux.....	58
IV.3.1	Test d'antiagglomérant pour la formulation optimisée	59
	Conclusion	61
	Références bibliographiques	62

INTRODUCTION GÉNÉRALE



Introduction générale

L'industrie sucrière compte parmi les industries agroalimentaires les plus connues et les plus répandues dans le monde. Elle est entrain de vivre une profonde mutation par le passage du stade artisanal à celui de la production totalement rationalisée et automatisée. Une telle évolution entraîne une adaptation profonde des matières premières. La fabrication du sucre glace en est un parfait exemple. [1]

Autrefois, l'utilisateur fabrique son propre sucre glace de façon artisanal et discontinue : prendre une quantité de sucre mélangé avec de l'amidon et les broyer à l'aide d'un broyeur maison. Actuellement il est préparé dans des industrie et délivré prêt à l'utilisation.

Dans l'industrie agroalimentaire, on se préoccupe de la qualité des produits fabriqués, CEVITAL étant certifiée ISO 22000 pour ses produits tel que le sucre solide et le sucre liquide, la qualité est ainsi l'un de ses principaux objectifs.

L'objectif de ce travail est d'une part, suivre le processus de fabrication de sucre glace et constaté l'effet de changement des paramètres de fabrication de ce produit. D'autre part faire des analyses sur le produit au sein du laboratoire de l'université de Bejaïa et au laboratoire de la 3000t qui se situe à CEVITAL. Ces analyses ont pour but d'optimiser le produit et faire un contrôle de qualité pour assurer la conformité de ce dernier.

La fabrication du sucre glace est une nouvelle branche au niveau du groupe CEVITAL, cette extension a été ajoutée en mars 2021 pour des raisons économiques liées à la diversification de ses produits. Le nom de CEVITAL qui est bel et bien connu sur le marché pour ses divers produits commercialisés, en particulier les sucres pour l'un des raisons les plus importantes qui est le manque de grands concurrents sur le marché.

Plan du manuscrit :

Chapitre 1 : présente l'histoire du sucre, ses différentes sources, ainsi que la composition chimique de ses dernières. Ce chapitre aborde également la technologie sucrière et les différentes variétés de sucre.

Chapitre 2 : est consacré pour la partie de fabrication de sucre glace. Sont présentés les différentes matières utilisées avec leur propriété et composition chimique. Sont aussi incluses des notions sur le broyage, les broyeurs et leur classification, ainsi que les étapes de fabrication du sucre glace et son utilisation dans le domaine alimentaire.

Chapitre 3 : représente la raffinerie de CEVITAL et ses différentes sections de fabrication du sucre ainsi que les analyses sur le produit fini. Il aborde également la méthode de fabrication du sucre glace ainsi que le matériel et les différentes méthodes employés dans ce travail.

Chapitre 4 : est réservé à la présentation des différents résultats obtenus ainsi que leurs discussions.

Conclusion générale qui relate les principaux résultats de cette étude.

Chapitre I

Généralités sur le sucre

Chapitre I

Généralités sur le sucre

I.1. Introduction

Le sucre est un carburant énergétique, nécessaire au bon fonctionnement des cellules, en particulier les muscles et le cerveau. Dans les aliments, le sucre est classé parmi les glucides et est considéré comme agent de conservation dans la majorité des formulations alimentaires sucrées.

I.2. Histoire du sucre

Le sucre est une substance médicinale et nutritionnelle qui remonte au Moyen Âge. La canne à sucre est une plante de provenance tropicale, qui a été introduite en Méditerranée, dans les îles de l'Atlantique et aux États-Unis à partir de l'Extrême-Orient, via l'Inde, la Perse et la Mésopotamie. [1]

La production du sucre est une activité complexe qui a connu son épanouissement en orient, en Syrie et en Egypte. La canne à sucre a donné lieu à une industrie florissante, à des échanges intenses et une consommation sans cesse en augmentation. Le rôle des cours royales et princières et les médecins a sans doute été décisif dans la croissance de la production et la consommation de ce produit. [1]

I.3. Les sources du sucre

Le sucre existe dans toutes les plantes contenant de la chlorophylle. On le trouve dans presque tous les fruits, dans de nombreux arbres (dattier, érable, palmier, saule, mélèze, frêne etc.), dans les racines, les feuilles et les tiges des plantes (canne, betterave, carotte, petits pois, patate douce, etc.), dans les fleurs (dahlia, lupin, etc.), dans les sécrétions d'animaux (miel, lait, etc.). Si quelques-unes de ces sources sont exploitées (sucre d'érable au Canada, sucre de coco et de palme en Thaïlande, sirop de maïs aux USA, etc.), c'est bien la betterave et la canne qui constituent les deux principales sources mondiales de sucre. [2]

Il se trouve aussi d'autres sources artificiels comme l'aspartame (c'est un dipeptide composé de deux acides aminés naturels) et Acésulfame-K (ou potassium qui un édulcorant qui a un pouvoir sucrant de 100 à 200 fois plus que le saccharose). [3]

I.3.1. La canne à sucre

La canne à sucre (« *Saccharum officinarum* ») est une plante de la famille des Poacées (graminées). Toutes les espèces du genre « *Saccharum* » sont des graminées vivaces de grande longévité dont l'aspect rappelle celui du roseau (**Figure.I.1**). Il existe plusieurs variétés qui possèdent des caractéristiques diverses s'adaptant ainsi aux différentes régions de culture : robustesse, résistance aux maladies, teneur en sucre, etc. La plante se reproduit par bouturage, à partir d'un morceau de tige comportant au moins un nœud. La plantation se fait au début de la saison des pluies. La canne à sucre demande un sol aéré, assez riche et bien irrigué. [4]

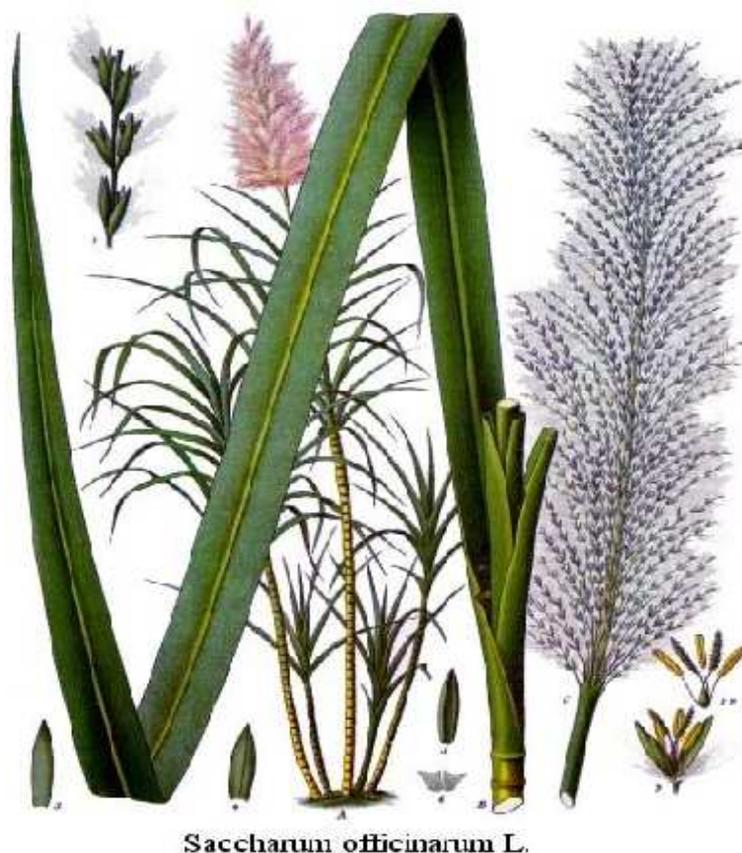


Figure.I.1. Représentation schématique de la canne à sucre adulte. [5]

Cette plante se compose de plusieurs parties dont la tige qui est un des éléments qui la caractérise le mieux, et constitue le réservoir en sucre de la plante. [6]

Les tiges peuvent atteindre 2,5 à 4 m de hauteur et 1,5 à 6 cm de diamètre, selon les variétés. Leur écorce épaisse et lisse va du jaune au violet. Les tiges sont structurées en tronçons de 10 à 20 cm (les entre-nœuds), séparées par des nœuds où les feuilles prennent naissance. [4]

Bien avant l'ère industrielle, la canne a fourni, au cours des millénaires qui l'ont précédée, le sucre à l'humanité. De la canne, on pouvait assez facilement extraire le saccharose. Dès la plus haute Antiquité, on savait cultiver le roseau sucre, dont l'origine botanique remonterait au « **saccharum robustum** » de la Nouvelle-Guinée et des îles voisines, avant d'émigrer vers l'est (Iles Fidji, Nouvelle-Calédonie, Nouvelles-Hébrides) et plus tard vers l'ouest et le nord-ouest (Philippines, Indochine, Indonésie, Malaisie, Inde et Chine). Vers le III^{ème} siècle avant J.C., Indiens et Perses commencent à importer du sucre sur les rivages de la Méditerranée orientale, en Arabie et en Egypte. Mais, il faut attendre le retour des Arabes d'Asie au VII^{ème} siècle, pour voir se développer la canne à sucre dans les pays méditerranéens. Jusqu'à la fin du Moyen-âge, les Arabes sont les principaux producteurs de sucre. [7]

En Europe, ce produit exotique est resté longtemps inconnu. Ce sont les croisés qui rapportent les précieux roseaux, à partir du XII^{ème} siècle. On les plante dans l'archipel Grec, en Sicile, dans le sud de l'Italie et le midi de la France. Nos apothicaires vendent le sucre sous des formes variées, à des prix élevés. Le commerce sucrier va se développer en Europe et Venise en devient la grande capitale. Les marchands Vénitiens vont chercher d'Alexandrie le sucre qui arrive à l'Italie au XIV^{ème} et au XV^{ème} siècle. Puis Lisbonne devient à son tour capitale du raffinage. [7]

La découverte de l'Amérique marque un tournant dans l'histoire du sucre. Dès son second voyage en 1493, Christophe Colomb introduit à Saint Domingue des plants de canne à sucre en provenance des Canaries. Puis la canne est introduite au Mexique, au Pérou, au Brésil. Au cours du XVI^{ème} siècle, début du XVII^{ème}, tous les pays découverts vont se couvrir de plantations. [7]

Au XVII^{ème} siècle, les Français installés à la Martinique et à la Guadeloupe commencent à cultiver la canne. A l'aube du XIX^{ème} siècle, la canne à sucre a bouclé

son tour du monde. Le voyage a duré 2000 ans. Parti des îles du Pacifique sud, le roseau sucré a gagné tous les continents. [7]

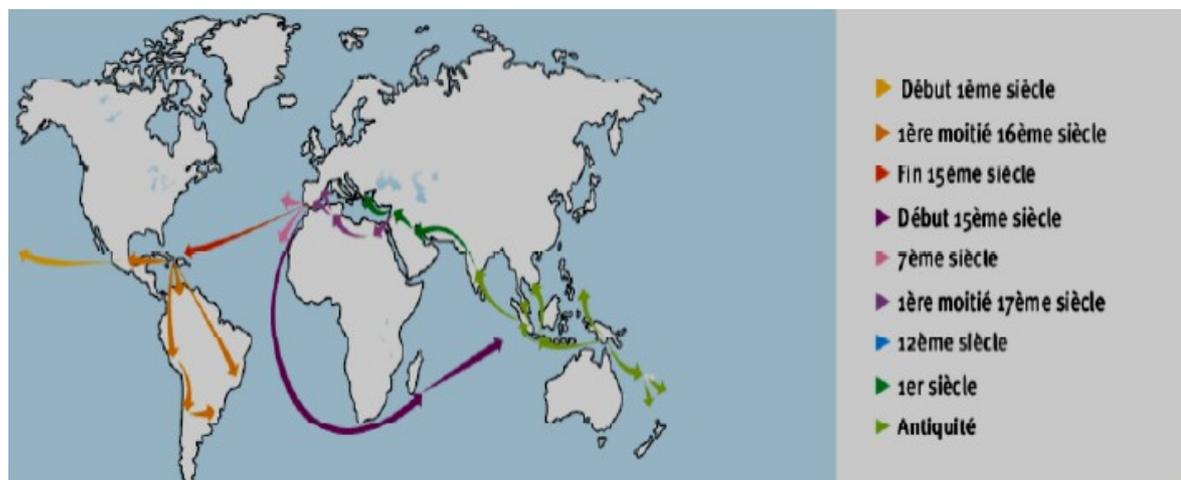


Figure.I.2. La canne à sucre à travers les âges. [2]

I.3.1.1. Conditions de culture

La canne à sucre est une plante qui se développe entre 10° et 30°C et les températures ne doivent pas descendre sous 0°C car cette dernière gèle. Lorsque la plante fabrique le plus de saccharose ; en période de maturation, les températures doivent être entre 10° et 20° C. [8]

La canne à sucre est une plante qui s'accommode partout où il fait humide, les besoins d'eau de cette dernière se situent aux voisinage de 1500 ml par an. Par fois la culture de cette plante se fait dans des zones moins propices si un bon système d'irrigation est mis en place. [9]

Le sol doit être riche, lourd et assez poreux pour permettre une bonne pénétration et conservation d'eau, mais il doit être aussi bien drainé, afin d'avoir un bon système racinaire car ce dernier est très important pour une bonne condition de développement de la plante. [10]

Si ces conditions sont réunies, la canne à sucre arrive à la maturité au bout de 10 à 24 mois selon la région. Cette étape est facile à déterminer, elle arrive après un mois de l'apparition des petites fleurs sur la tige de la canne. [8]

Elle peut s'épanouir dans des sols légèrement acides, l'acidité optimale se situe aux alentours d'un pH de 6,5. La plante peut aussi supporter des terres plus acides (jusqu'à pH 5) ou des terres plus basique (un pH de 8,5). [11]

La récolte est une étape très importante qui demande une bonne organisation, elle se fait au mois où la plante forme une bonne richesse en saccharose. Lors de cette étape, qui se fait beaucoup plus à la main, une petite partie de la tige est laissée en place pour une nouvelle poussée. [12]

I.3.1.2. Composition chimique de la canne à sucre

Les principaux constituants de la canne à sucre sont : l'eau, les fibres et le saccharose. Le tableau I.1 qui résume la composition moyenne. Après extraction, une tonne de canne produit environ 250 à 300 kg de débris, soit 25 à 30% de la matière première. [4]

Tableau.I.1. Composition de la canne à sucre. [4]

Composants	Teneur (%)
Eau	70
Fibres	14
Saccharose	14
Impureté	2
Total	100

I.3.2. La betterave sucrière

La betterave sucrière « *Beta vulgaris* » appartient, comme les épinards et la blette, à la famille des « *chénopodiacées* ». Les variétés de betterave qui sont cultivées sont issues de la betterave de Silésie sectionnée à la fin du 18^{eme} siècle par le chimiste allemand Achard. Les variétés contiennent entre 15 et 20% de sucre, tandis que la « Blanche de Silésie » dont elles sont issues ne contenaient que 7%. Cette amélioration est le fruit d'une sélection rageuse des plantes. [13]

I.3.2.1. Histoire de la betterave

A la fin du 18^{ème} siècle, les échanges commerciaux sont paralysés entre le continent européen et les pays producteurs qui se situent dans les régions tropicales à cause de la situation politique entre les deux côtés, cette situation a créé une pénurie qui a par la suite poussée les pays endommagés à trouver d'autres sources de saccharose. La betterave sucrière, utilisée jusque là comme aliment pour bétail, fait l'objet de recherches et de sélections pour augmenter sa teneur en sucre. Au début du 19^{ème} siècle, la première fabrique de sucre à base de betterave a été construite en Silésie et c'est en 1812 que les Belges sont arrivés à fabriquer le sucre à partir de cette plante. L'industrie de la betterave sucrière va perpétuer jusqu'à nos jours en Europe en renforçant sa position malgré les perturbations que son marché a connu et la concurrence des producteurs de la canne à sucre. [14]

I.3.2.2. Composition chimique de la betterave sucrière

La betterave sucrière du genre « **Béta vulgaris** » est constituée d'environ 23,5% de matière sèche et de 76,5% d'eau. Le saccharose représente environ 17% de la matière sèche.

Le reste est constitué de composés solubles et insolubles. La partie insoluble, appelée marc, est formée essentiellement de cellulose, d'hémicelluloses et de substances pectiques. La cellulose et les hémicelluloses constituent le squelette de la cellule, et les substances pectiques jouent le rôle de ciment. La partie soluble est constituée principalement de composés organiques azotés ou non, de sels et de cendres. [15]

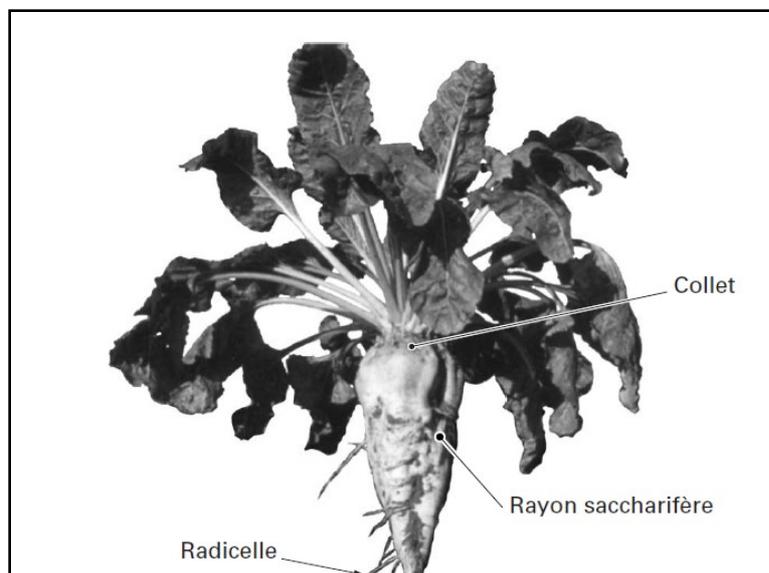


Figure.I.3. Schéma des différentes parties de la betterave sucrière. [16]

I.3.2.3. Culture de la betterave sucrière

En mars ou en avril, dès que le sol est sec, les agricultures entreprennent les semailles. Avec des appareilles qui permetts l'ensemencement individuel, les grains, qui se présentent sous forme de pastille rondes, sont enfouies dans le sol à un intervalle de 16 à 20 cm.

Les premières poussées apparaissent déjà en espace de deux semaines. Apres environs 6 mois, elles se développent pour devenir des belles betteraves de 0,7 à 2 kg.

Sur un hectare, environ de 90 000 plantes sont poussées et leurs teneurs en sucre varie entre 16 et 20 % ce qui permettra d'extraire entre 8 000 et 12 000 kg de sucre. Cette quantité suffit pour couvrir les besoins annuels de 250 consommateurs. Les mauvaises herbes sont combattues le plus tôt possible et de manière sélective, ce qui permet de limiter les coûts et de ménager les betteraves. [17]

I.3.3. Betterave sucrière et la canne à sucre dans le monde

La filière sucre mondiale s'est constituée autour de deux principales matières premières : la canne et la betterave. Sa compétitivité est aujourd'hui sérieusement remise en cause par la croissance des édulcorants de substitution et le développement à partir du sucre d'une filière parallèle non alimentaire « les biocarburants ». La production de la canne à sucre présente un double avantage par rapport à celle de la betterave sucrière : une meilleure capacité à absorber le gaz carbonique (la canne est un meilleur transformateur de l'énergie solaire par rapport à la betterave) et un faible coût de main d'œuvre. En revanche, elle est plus riche en sucre que la canne. [18]

Sur la **(figure.I.4)** sont indiqués les différentes aires de production de la betterave et de la canne à sucre dans le monde.

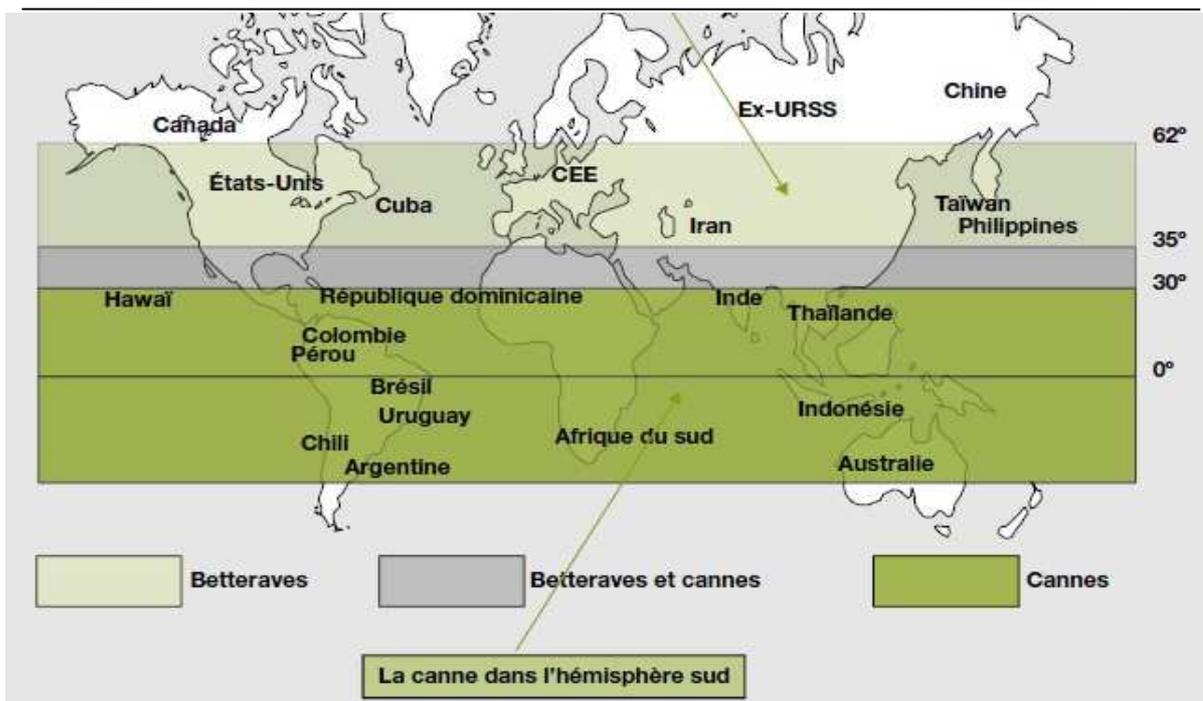


Figure.I.4. Aires de production de la betterave et de la canne à sucre dans le monde.

[18]

I.4. Technologie de la sucrerie

I.4.1. Introduction

Le but de toute sucrerie est de transformer une matière première la plus pure possible et de produire un sucre de qualité tout en assurant un rendement de qualité. Donc la sucrerie est une industrie de séparation et de purification. Un grand nombre d'opérations unitaires de séparation est ainsi mis en œuvre. [19]

Un schéma résumant les étapes d'obtention du jus de cannes est représenté sur la (figure I.5)

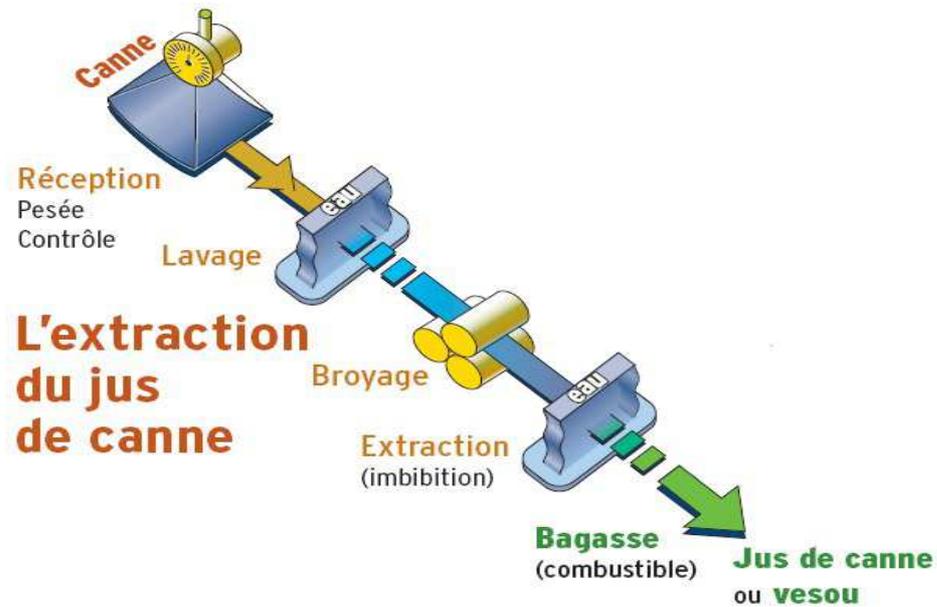


Figure.I.5. Schéma des différentes opérations du procédé d'extraction du jus de canne.

[20]

I.4.2. Réception et préparation des plantes

La réception des plants de canne se fait directement à la balance de la sucrerie pour les faire pesés. Les plantes sont acheminées par un tapis roulant vers un lavoir, pour éliminer la terre, les poussières, les pierres et les herbes, puis vigoureusement lavées dans un fort courant d'eau. [20]

I.5.3. Extraction

I.4.3.1. Découpage et broyage

Suit à sa composition, la canne à sucre doit être déchetée pour pouvoir extraire le sucre. Cette opération est réalisée dans des hacheurs. Les morceaux de cannes ont une taille de 100 mm et 4 mm de diamètre, cette étape est importante, elle a pour objectif de faciliter le processus d'extraction. [21]

Les matières fibreuses obtenues suite au broyage sont imbibées pour faciliter la dissolution du saccharose qui sont après utiliser comme combustible pour les chaudières des sucreries ou des raffineries. [22]

I.4.3.2. Extraction

Les morceaux de canne à sucre passent ensuite dans une série de trois cylindriques montés en triangle, du premier moulin sort ce que l'on appelle le « vesou ». La canne subi deux broyages dans chaque moulin. Le sirop est récupéré au-dessous du groupe de moulin où il est envoyé aux divers stades du traitement ou recirculé dans les moulins « sirop mélangé ». Les moulins permettent d'extraire 92 à 96% du saccharose contenu dans les cannes. Le sirop est de couleur jaune verdâtre ; la composition et la qualité du sirop varient selon la variété et la qualité de la canne. [23]

Le vesou est de couleur brune assez trouble avec une composition et une qualité qui varient selon la variété et la qualité de la canne. [4]

I.4.4. Epuration

Le vesou contient beaucoup d'impuretés. Il est d'abord purifié pour éliminer les particules de bois, puis chauffé et additionné de chaux (chaulage). [3]

Le vesou est bouilli afin de favoriser la floculation des impuretés résiduelles (boues). [24]

I.4.5. Evaporation et cristallisation : obtention du sucre

Le jus épuré contient encore une grande quantité d'eau. L'évaporation permet de concentrer ce jus épuré jusqu'à obtenir un sirop à une concentration proche de la saturation. L'évaporation a lieu dans un évaporateur à multiple "effets" dans lesquels la pression est abaissée d'effet en effet afin de réduire le point d'ébullition du jus concentré. Une température plus basse permet d'éviter la cuisson du sucre à un stade consacré à évaporer le jus. [25]

La cristallisation consiste en la séparation du saccharose (sous forme de cristaux) des impuretés qui demeurent dans le jus concentré. La cristallisation est réalisée en deux ou trois étapes appelés « jets ». Le jus concentré est chauffé et agité dans de grandes chaudières dites "cuites" fonctionnant sous vide partiel. Sa concentration se poursuit et de très fins cristaux de sucre y sont introduits pour déclencher la cristallisation. [49]

I.4.6. Malaxage et turbinage

Dans la phase de malaxage-turbinage, la masse cuite est réfrigérée et déversée dans une cuve de mélange de 45 à 50°C. les cristaux de l'eau mère sont alors rafraîchis. Le premier jet seulement permet de produire du sucre blanc, tant dis que le deuxième et le troisième jet ne permettent de produire que du sucre roux. [26]

I.4.7. Séchage

L'ultime opération de séchage des cristaux permet de descendre jusqu'à 0.1 à 0.2 % en teneur d'eau, ce qui assure une meilleure conservation du produit et un gain financier très supérieur à la perte de poids provenant de l'eau évaporée. [50]

I.5.8. Emballage et entreposage

Le sucre brut est souvent vendu et consommé tel quel pour la consommation locale dans les pays producteurs. Par conséquent, les cristaux de sucre se trouvent dans des sacs. Le sucre roux est mis en tas pour être chargé sur des bateaux pour l'exportation. [4]

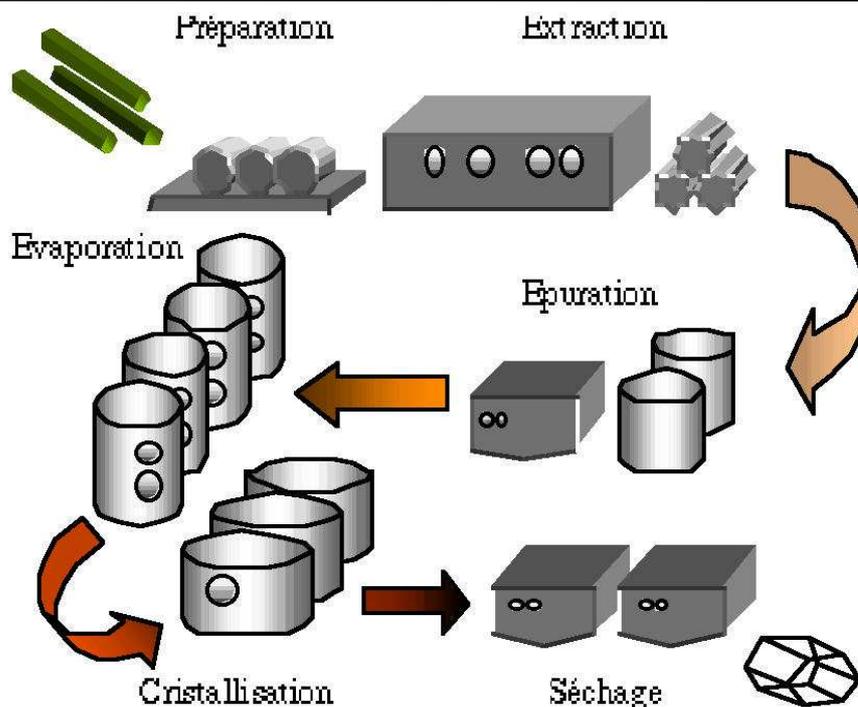


Figure.I.6. Etapes de fabrication de sucre. [27]

Il existe aussi d'autres sources artificiels comme l'aspartame (c'est un dipeptide composé de deux acides aminés naturels) et Acésulfame-K (ou potassium qui est un édulcorant qui a un pouvoir sucrant de 100 à 200 fois plus que le saccharose). [3]

I.5. Les différentes variétés de sucre

Le sucre se présente sous une grande variété de formes et de couleurs. Le monde du sucre de canne se compose de huit variantes aux goûts, arômes et applications spécifiques, qui vont des représentations classiques aux spécialités modernes. [4]

- ❖ Sucre blanc cristallisé: C'est le sucre le plus pur car il contient 99,9 % de saccharose. Il est recueilli au dernier stade d'extraction de la sucrerie dans les turbines après concentration sous vide et cristallisation du sirop. Il se présente sous forme de cristaux de différentes tailles.
- ❖ Sucre en poudre: Après tamisage et broyage du sucre cristallisé, on obtient du sucre en poudre ou de la semoule. Il est disponible en cristaux de 400 μm .
- ❖ Sucre glace: C'est une poudre blanche, impalpable en raison du broyage extrêmement fin du sucre blanc en grains. Pour éviter son agglomération, de

l'amidon est ajouté. Le grain est si fin que le sucre se dissout rapidement. Les grains sont sous forme de cristaux de moins de 150 µm.

- ❖ Le sucre en morceaux : le sucre constitué de cristaux blancs ou bruns, encore chauds et humides, est comprimé et moulé. Il est disponible sous forme de dominos de différentes tailles. Les tailles les plus courantes sont le n° 3 (7g) et le n° 4 (4,5 g).
- ❖ Le sucre en cubes : de type blanc ou brun, le sucre en cubes est issu du concassage des lingots de sucre de canne, eux-mêmes obtenus par rehumidifications, moulage et séchage des cristaux de sucre.
- ❖ Le sucre pour confiture : le sucre pour confiture est une spécialité produite pour les confitures, marmelades et gelées de fruits. C'est un sucre cristallisé avec des ingrédients facilitant les préparations (pectine naturelle de fruits, acide citrique).
- ❖ La cassonade : c'est un sucre granulé brun directement à partir de la première cuisson du jus de canne. Ce sucre roux contient environ 95 % de saccharose et des impuretés résiduelles (matières, minérales, organiques) qui lui donnent ses couleurs, ses notes aromatiques et une pureté moindre que le sucre blanc cristallisé.
- ❖ Le sucre candi : c'est le résultat de la cristallisation, pendant 10 à 12 jours, d'un sirop très pur, concentré et chauffé. Le sirop est par la suite, lentement refroidi à une température ambiante. La couleur brune caractéristique de ce sucre provient de la caramélisation.

Chapitre II

Généralités sur le sucre glace

Chapitre II

Généralités sur le sucre glace

II.1. Définition

Le sucre en poudre, également appelé sucre de confiseur, ou sucre glace, est un sucre finement moulu produit par le broyage de sucre blanc cristallisé dans un état pulvérulent. Il contient généralement entre 2 et 5 pour cent d'un agent antiagglomérant tel que l'amidon de maïs, la fécule de pomme de terre ou le phosphate-tricalcique, pour absorber l'humidité, empêcher l'agglutination et améliorer l'écoulement. Bien que l'imitation soit le plus souvent fabriquée dans une usine, le sucre en poudre peut être fabriqué à l'aide d'un moulin à café ou écrasé manuellement dans un mortier et un pilon via le traitement du sucre en grains ordinaire. [29]

II.2. Matières utilisées

II.2.1. Sucre cristallisé

Le sucre (glucose + fructose) est une molécule de saccharose, c'est un aliment délicieux qui provient principalement de la canne à sucre et de la betterave sucrière. On peut également obtenir du sucre à partir d'autres plantes. [30]

II.2.1.1. Composition

Plus le sucre est blanc, plus il est pur ; plus il est d'un brun foncé, plus il contient des résidus de la canne. Son aspect et sa composition varient, suivant la composition des masses cuites et le mode de turbinage, de clairçage, de séchage, etc...

La composition de ces sucres varie dans les limites suivantes :

Tableau.II.2. Composition du sucre cristallisé. [31]

Composition	Intervalle (%)
Saccharose	98,00 à 99,80
Cendre	0,50 à 0,05
Eau	0,6 à 0,1

II.2.1.2. Propriété du sucre

Le sucre, terme du langage courant, englobant divers produits naturels utilisés pour leur pouvoir sucrant, sans qualificatif il désigne le saccharose : sucre de betterave et de canne. [32]

II.2.1.2.1. Aspect

Le sucre commercial est une substance hygroscopique, blanche et cristalline (rhomboïdale). Il est inodore et de saveur caractéristique. [33]

II.2.1.2.2. Granulométrie

Le sucre est disponible sous de nombreuses formes granulométriques, chacune d'entre elles étant adaptée aux diverses demandes des industries utilisatrices. Deux chiffres représentent la granulométrie : l'ouverture moyenne du tamis caractérisant la taille moyenne des cristaux (OM) ainsi que le coefficient de variation (CV), qui distingue la dispersion des cristaux autour de cette valeur moyenne. [33]

II.2.1.2.3. Solubilité

Le sucre est très soluble dans l'eau et d'autant plus que la température de celle-ci est plus élevée, à température ambiante (20°C) la solubilité est de 67g pour 33g d'eau ou pour 100g de solution. [34]

Le saccharose est souvent beaucoup moins soluble dans les solvants non aqueux que dans les solutions aqueuses. En outre, il n'est pas soluble dans les solvants apolaires. Dans l'alcool pur, il est pratiquement insoluble. [35]

II.2.1.2.4. Température de fusion

Le point de fusion du sucre est généralement reconnu à 186°C. Selon la pureté de l'échantillon, ce chiffre peut varier entre 182° et 192°C. [36]

Chauffé lentement à sec, le sucre commence à se rétracter vers 160°C puis se transforme en caramel avant de brûler vers 190°C, en donnant un résidu de « charbon de sucre ». [33]

II.2.1.2.5 Pouvoir rotatoire

Le saccharose a la propriété de dévier le plan de la lumière polarisée vers la droite. Son pouvoir "dextrogyre" spécifique est : $[\alpha]_{20}^D = 66,55$.

Cette propriété fondamentale est à la base d'un instrument de mesure très précis, appelé polarimètre, qui est officiellement utilisé pour mesurer la pureté du sucre et la concentration en saccharose dans une solution aqueuse. [33]

II.2.1.2.6 Inversion

L'hydrolyse du saccharose, appelée «inversion», provoque la transformation du saccharose en un mélange équimolaire de glucose et de fructose. La solution obtenue prend le nom Inversion de sucre inversi en raison du changement de signe de la mesure polarimétrie du Positif vers le Négatif, ceci sous l'effet de l'hydrolyse.

Dans la plupart des séquences de réaction des sucres simples en chimie alimentaire, cette hydrolyse est la première étape. L'inversion peut se produire à un pH faible jusqu'à un pH basique de 8,5. [36]

Le sucre inverti est produit en milieu aqueux, avec une hydrolyse plus ou moins acide du saccharose et avec l'action combinée de la température. [34]

Industriellement le sucre inverti est obtenu par l'action de la chaleur sur une solution de saccharose en présence d'un catalyseur (acide tartrique ou citrique) ou encore par l'action d'une enzyme spécifique : l'invertase.

Grâce à la présence du fructose, le sucre inverti est un inhibiteur efficace de la cristallisation du saccharose et également un rétenteur d'eau. [37]

II.2.2. Amidon

L'amidon est après la cellulose, la substance de réserve la plus répandue chez les végétaux supérieurs, synthétisée à partir de l'énergie solaire. L'amidon est présent dans de nombreux produits agricoles, notamment les produits céréaliers (30 à 70 %), les tubercules (60 à 90 %), les légumineuses (25 à 50 %) et certains fruits. L'amidon est un polysaccharide naturel semi-cristallin qui présente un intérêt croissant pour les produits alimentaires et les utilisations non alimentaires. [38]

II.2.2.1. Composition de l'amidon

L'amidon est constitué majoritairement d'une fraction glucidique (98 à 99 %) et d'une petite fraction de non glucides (1 à 2 %). Cette dernière ne doit pas être négligée malgré son existence en quantités infimes car elle modifie les caractéristiques fonctionnelles des lipides en particulier. [39]

L'amidon est constitué de deux polymères structurels de base : l'amylose, un monomère essentiellement linéaire, et une molécule ramifiée d'amylopectine. [40]

Selon l'origine botanique, les teneurs en amylose et en amylopectine varient respectivement de 20 à 30% et de 70 à 80% pour les amidons standards. Cependant, quelques espèces d'amidon peuvent contenir moins de 1% d'amylose ou entre 45 à 80% d'amylose. [41]

II.2.2.2. Caractéristique de l'amidon

II.2.2.2.1. Propriétés physiques

L'amidon a, comme tout produit, des propriétés physiques qui lui sont propres. Plusieurs facteurs peuvent influencer ces propriétés :

- ❖ Influence de la température : L'amidon est insoluble dans l'eau. En revanche, il produit une solution colloïdale lorsqu'il est chauffé (70°C), et s'épaissit en un gel connu sous le nom d'empois. [42]
- ❖ Température de gélification : La gélification de l'amidon commence progressivement à 50°C, mais est effective ensuite, à une température qui dépendant de l'agitation moléculaire, de la grosseur des grains, de la nature de l'amidon, de l'eau employée et de la concentration en amidon. [42]
- ❖ Structure granulaire : Les granules d'amidon sont des particules blanches semi-cristallines, insolubles dans l'eau à température ambiante et dont la taille varie généralement, entre 2 et 100 µm. [43]

II.2.2.2.2. Réactivité de l'amidon

Les amidons sont influencés par trois types d'action : thermique, chimique et enzymatique. [42]

- ❖ Action thermique : Elle change la couleur et le goût de l'amidon par dextrinisation.
- ❖ Action chimique : Les acides entraînent une hydrolyse partielle de l'amidon qui conduit à la production de dextrine. Le gel formé est moins dense. L'élévation de température accélère cette hydrolyse.
- ❖ Action enzymatique : L'amidon peut subir aussi l'action d'enzymes comme des enzymes végétales, ou animales (amylase) ou microbiennes pour obtenir le D-glucose.

II.3. Opération de broyage

II.3.1. Définition

Le broyage est une opération unitaire visant à fragmenter un matériau pour en réduire la taille afin de lui donner une forme utilisable ou d'en séparer les constituants. [44]

II.3.2. Définition du broyeur

Un broyeur est une machine de broyage des matériaux qui est réalisé par un assemblage de deux parties. [45]

- **Partie mécanique** : Elle comporte une trémie, des axes, des utiles de broyage (couteaux, lames, marteaux...etc.), un réducteur de vitesse, et une carcasse qui assure l'assemblage de tous ces éléments...etc.
- **Partie électrique** : Elle contient un circuit de commande (tableau de commande), et un circuit de puissance (moteur électrique ou thermique).

II.3.3. Classification des broyeurs

Dans les industries quel que soit le broyeur utilisé pour une matière donnée, on peut toujours différencier les produits selon leurs diamètres, donc il est préférable de les classer en se basant sur ce critère et on distingue trois familles des broyeurs. [46]

II.3.3.1. Broyeur à fragmentation grossière (particules de l'ordre de millimètre (mm))

Dans ce type on rencontre habituellement :

- Broyeur à couteaux : ils sont utilisés généralement pour broyer du plastique ou du papier
- Broyeur à marteaux : sont utilisés pour broyer les matières dures tel que la pierre, la roche ou le verre.

II.3.3.2. Broyeur à fragmentation fine (de 10 à 1000 μm)

Les technologies ont été pratiquement restreintes à un seul mode d'action consistant à la mise en œuvre de forces d'impact (les particules sont comprimées entre les corps broyant, projetées violemment contre une paroi, qui peut être fixe ou mobile. Ou les unes contre les autres dans ce cas-là on parlera d'auto broyage).

Différentes technologies peuvent être utilisées pour effectuer ce type de fragmentation comme : broyeur à boulet, à broche et broyeur autogène qui consiste à utiliser le produit lui-même comme corps broyant.

II.3.3.3. Broyeur à fragmentation ultrafine (de 5 à 10 μm)

Dans le domaine de l'ultrafin (particules de tailles comprises entre 5 et 10 μm), les forces mises en œuvre sont du type compression, cisaillement, et impact.

II.3.4. Types de broyeurs

Nous citons ici les cinq types de broyeurs usuels. [51]

II.3.4.1. Broyeurs à couteaux

Parfois appelés granulateurs, le broyeur à couteaux (**figure.II.7**) met en œuvre un système rotor-stator qui cisaille le produit broyé. Leur capacité de production dépend de la puissance fournie. Ces appareils sont particulièrement recommandés pour le traitement des matériaux fibreux tels que les légumes, les plantes aromatiques et certaines épices mais aussi pour les matières plastiques et le papier. Les tailles obtenues sont généralement de l'ordre de 1 à 6 mm.

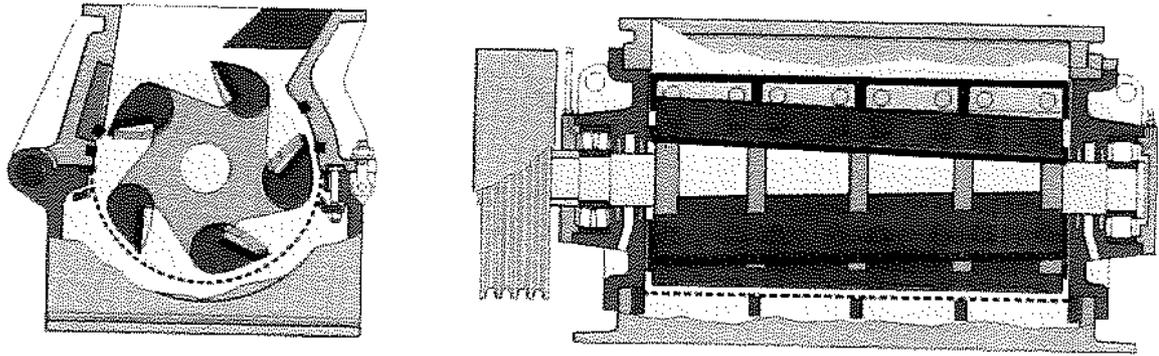


Figure.II.7. Schéma d'un broyeur à couteaux. [51]

II.3.4.2. Les broyeurs à marteaux

Le broyeur à marteaux (**figure.II.8**) produit une réduction de taille par impact entre les particules et une surface dure. Les principaux facteurs régissant le procédé sont :

- ❖ La taille et la forme du tamis associé ;
- ❖ Le type de marteaux ;
- ❖ La vitesse périphérique des marteaux (20 à 60m.s⁻¹).

Ces appareils couvrent un large domaine de distributions granulométriques dans la mesure où on peut changer les marteaux et les grilles. Ils permettent de traiter des matériaux tendres et de dureté moyenne avec des tailles de particules en sortie de 90 à 850 μm pour des débits allant jusqu'à 15 t.h⁻¹.

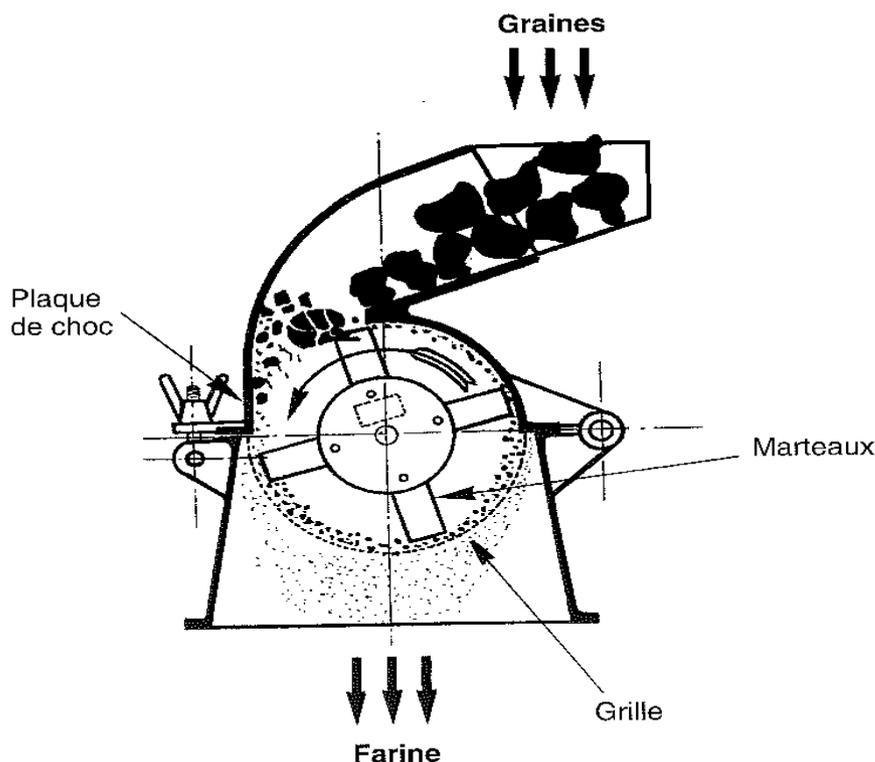


Figure.II.8. Schéma d'un broyeur à marteaux. [51]

II.3.4.3. Broyeurs universels

Les broyeurs universels (**figure.II.9**) se caractérisent par l'interchangeabilité de couples rotor-stator (couteaux, marteaux, broches, disques de cisaillement) qui leur donne une grande diversité d'applications. Ils sont souvent présents dans les laboratoires et au niveau de petites productions industrielles.

Souvent classés dans la catégorie des broyeurs à impacts pour broyage fin, ils génèrent la fragmentation par deux phénomènes :

- ✓ Les impacts entre particules et corps broyant ;
- ✓ Les chocs inter-particulaires.

La possibilité de modifier le couple « rotor-stator » permet une grande flexibilité quant à la distribution granulométrique obtenue. Un jeu d'outils de type « marteaux-tamis » permet ainsi d'effectuer des opérations de broyage moyen fin (500 à 1000 μm) à très fin (50 à 150 μm).

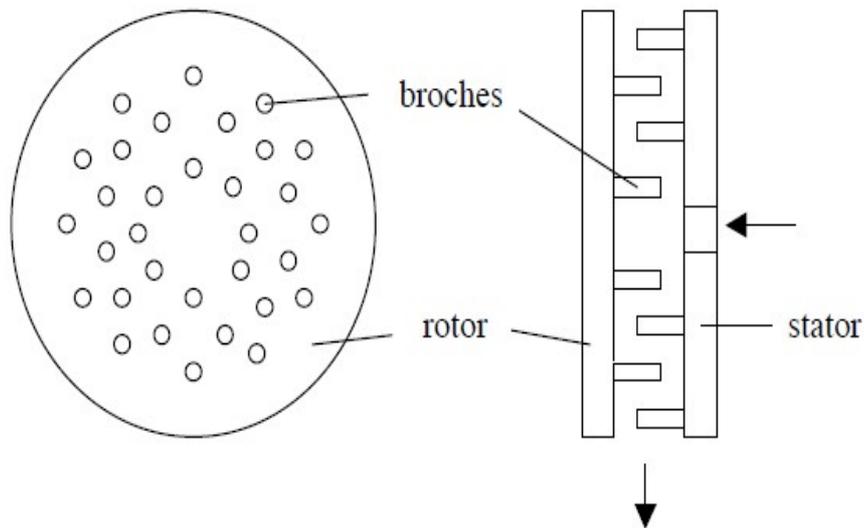


Figure.II.9. Couple rotor-stator d'un broyeur universel équipé de broches. [51]

II.3.4.4. Broyeurs à jets de fluide

Ce type de broyeurs (**figure.II.10**) opère la réduction de taille en générant des collisions : les particules, accélérées par des jets de gaz à grande vitesse sont fragmentées par choc, soit sur une plaque « cible » soit par collision inter-particulaire.

Les broyeurs à lit fluidisé sont utilisés pour obtenir des produits fins à ultra fins. Ces appareils permettent de broyer des produits thermosensibles, éventuellement sous atmosphère inerte.

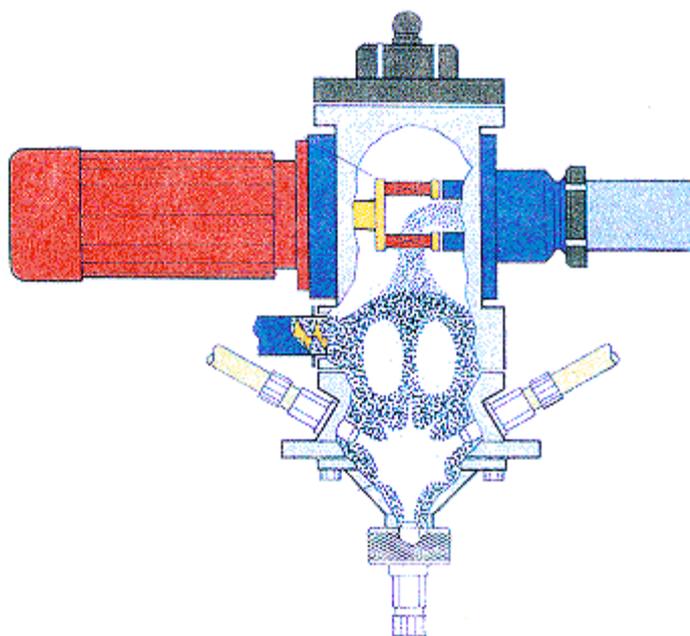


Figure.II.10. Schéma d'un broyeur à jets d'air opposés avec classificateur intégré. [51]

II.3.4.5. Broyeurs à cylindres

Très utilisés dans les Industrie Agro-Alimentaire (IAA), on trouve les broyeurs à cylindres (**figure.II.11**) dans de nombreux secteurs. Ils comportent généralement plusieurs paires de cylindres. Pour chaque paire, les cylindres tournent en sens opposés et à des vitesses différentes. La surface des cylindres (lisses ou cannelés), leurs vitesses de rotation et leur écartement conditionnent la finesse de la mouture.

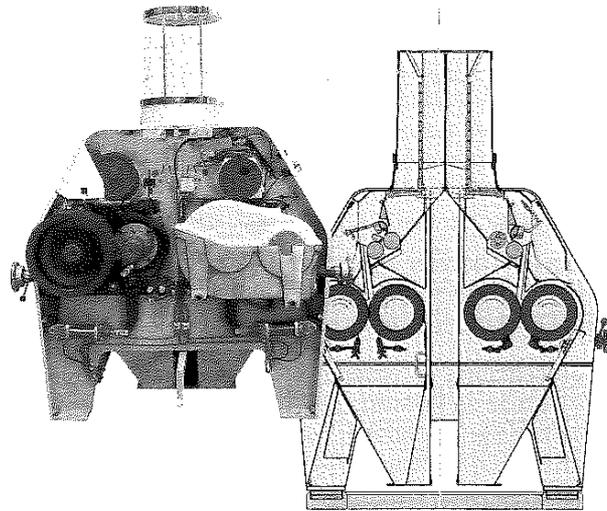


Figure.II.11. Schéma d'un broyeur à cylindres. [51]

II.3.5. Quelques éléments pour le choix d'une technologie de broyage

Il convient de déterminer les types d'appareils convenables pour une opération donnée, en se basant sur la taille des particules désirées en sortie de l'opération et sur la dureté du matériau à broyer [51]. Le Schéma donnée dans la (figure.II.12) et les données consignées dans le tableau 3 représentent les différents types de broyeur en fonction de la dureté du matériau et de la taille du produit à obtenir.

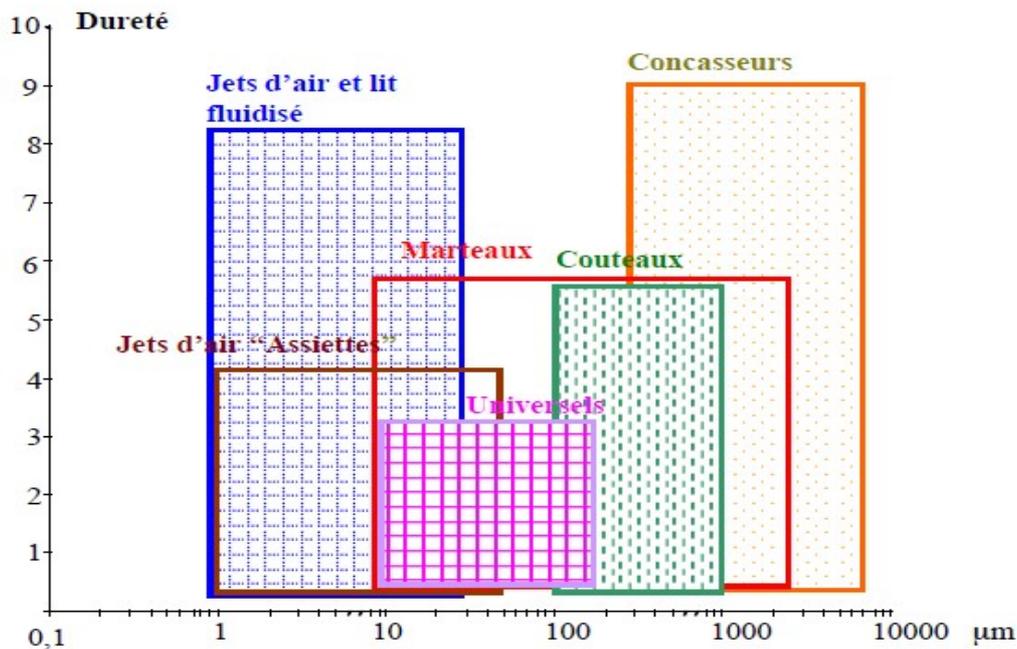


Figure.II.12. Les différents types de broyeur en fonction de la dureté du matériau et de la taille du produit à obtenir. [51]

Tableau.II.3. Les différents types de broyeur en fonction de la taille du produit à obtenir. [51]

Taille (µm)	Broyeurs à couteaux	Broyeurs universels et à broches	Broyeurs à marteaux	Broyeurs à cylindre	Broyeurs à jets de fluides
> à 5000	+	-	-	-	-
1000 à 5000	+	+	-	-	-
500 à 1000	+	+	+	-	-
150 à 500	+	+	+	+	-
50 à 150	-	+	+	+	-
10 à 50	-	+	+	+	+
< à 10	-	-	-	-	+

II.4. Méthode de fabrication du sucre glace

La fabrication du sucre glace se fait suivant trois étapes essentielles. [47]

II.4.1. Première étape

- **Réalisation du mélange de sucre cristallisé et de l'amidon**

Le sucre est alimenté directement par les silos de stockage et les vis sans fin. L'amidon est quant à lui alimenté à partir d'une station de vidange de sacs manuelle qui permet de déconditionner les sacs. La concentration de l'amidon dans le sucre glace final étant inférieur à 5%.

II.4.2. Deuxième étape

- **Introduction dans le broyeur**

Une écluse rotative à passage intégral positionnée au-dessus du broyeur de sucre a pour but d'isoler la chambre de broyage et permet de contenir la flamme dans le cas d'une explosion. Une entrée d'air filtrée est implantée en entrée de broyeur afin de refroidir le sucre broyé.

II.4.3. Troisième étapes

- **Le broyage**

Une unité de broyage assure la « casse » de la particule de sucre. Un broyeur à broches à haute vitesse vient par l'intermédiaire de ces plateaux rotatifs casser les particules de sucre afin d'obtenir une granulométrie de sortie < à 100µm. La casse de la particule de sucre libérant de l'humidité est traitée dans la trémie de battage permettant le refroidissement dans des conditions d'agitation évitant la prise en masse.

Une trémie agitatrice permet de réceptionner le sucre glace en sortie du broyeur. Elle permet aussi le stockage du sucre avec agitation continue pour éviter sa prise en masse pendant son refroidissement. Elle est équipée d'une vis en fond d'auge permettant l'extraction du sucre vers le poste de conditionnement en aval.



Figure.II.13. Broyeur à sucre glace UM 630. [47]

II.5. Les paramètres qui peuvent influencer le broyage des grains

La granulométrie des poudres en sortie est déterminée par trois facteurs principaux [47] :

- 1) La vitesse de rotation ;
- 2) Le nombre et la forme des broches ;
- 3) Le débit d'air traversant.

II.6. Utilisation du sucre glace dans le domaine alimentaire

Le sucre glace est principalement employé pour la décoration des pâtisseries (opération de glaçage, d'où son nom), en saupoudrage sur les gâteaux et les tartes, ou encore pour sucrer les blancs en neige. [48]

Chapitre III

Mise en œuvre pratique

Chapitre III

Mise en œuvre pratique

III.1. Présentation de l'entreprise

Crée en 1998, le complexe industriel "CEVITAL" est la première entreprise privée dans l'industrie d'huile et du sucre sur le territoire Algérien. Cette dernière est considérée comme l'un des plus grands complexes agroalimentaires en Algérie. Elle se situe dans l'enceinte portuaire de Bejaia. Elle occupe une place importante dans l'économie locale et nationale. La raffinerie a satisfait les besoins nationaux en sucre cristallisé et huile, elle a commencé à les exporter vers les pays Magrébins et Méditerranéens.

CEVITAL est l'abréviation de « c'est vital », est un complexe qui est composé de deux raffineries principale. La première, c'est la raffinerie des huiles, qui est composé de deux chaînes A et B de raffinage d'une capacité de 800 t/j et une chaîne C d'une capacité de 1500 t/j. La deuxième est la raffinerie de sucre qui compte deux chaînes de production de 3000 t/j et de 2000 t/j.

La société CEVITAL joue un rôle important dans l'économie (elle a créé 2000 emplois directs en 4 années et demi) d'autre part, elle est considérée comme l'un des meilleurs contribuables du secteur privé à l'échelle nationale.

Elle comprend trois grandes unités de production, qui sont :

- La raffinerie d'huile ;
- La margarinerie et graisses végétales ;
- La raffinerie du sucre ;
- Une unité de sucre liquide achevée en 2008, cette dernière s'intéresse exclusivement à une clientèle d'industriels dans le domaine agroalimentaire tel que les boissons, les biscuitiers, les crémeries et les yaourts...

Le complexe CEVITAL est doté de cinq laboratoires d'analyses :

- ❖ Deux laboratoires pour les huiles ;

- ❖ Un laboratoire pour la margarine ;
- ❖ Un laboratoire pour le sucre cristallisé ;
- ❖ Un laboratoire pour le sucre liquide.

Comme notre travail a concerné la production du sucre glace, nous allons décrire, ci-après, dans le détail la raffinerie de sucre.

III.2. La raffinerie de Cevital

III.2.1. Matière première

La matière première est le « sucre roux » de canne d'origine Brésilienne importée par CEVITAL sous forme liquide. En 2013, quatre bateaux vraquiers, de 40 000 t, ont été acquis pour faciliter le transport de cette matière.

III.2.2. Raffinage du sucre

Le raffinage du sucre au niveau de la raffinerie de CEVITAL comporte dix sections qui sont :

▪ Section 1 : Affinage – refonte

L'affinage consiste à enlever les couches d'impuretés présentes à la surface des cristaux du sucre brut. Après pesage le sucre roux est mélangé avec une quantité de liqueur d'affinage saturé en sucre puis malaxé pour permettre la diffusion des impuretés superficielles sans provoquer la refonte des cristaux. La séparation du sucre et de l'égout d'affinage se fait par centrifugation dans uneessoreuse discontinue. Le sucre affiné obtenu est ensuite fondu à l'eau dans un fondoir de façon à obtenir un sirop

▪ Section 2 : Carbonatation

La carbonatation est un procédé chimique permettant de décolorer le sirop résultant de la refonte du sucre brut affiné. Ce procédé consiste à additionner au sirop de la chaux préparée sous forme de lait de chaux ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) et à faire barboter ce

mélange avec du gaz CO₂. Sous l'action du CO₂, la chaux se transforme en carbonate insoluble qui piège les impuretés contenues dans le sirop de refonte.

▪ Section 3 : Filtration

Le sirop issu de la carbonatation contient une suspension de carbonate de calcium. Cette dernière est séparée par une filtration sur des filtres Autonettoyants. Le sirop filtré est envoyé vers la décoloration, la boue résultante passera par un filtre presse pour récupérer le sucre résiduel, sous forme de petit jus. Les boues (ou écumes) sont évacuées et utilisées pour l'amendement du sol (engrais).

▪ Section 4 : Décoloration

La décoloration permet d'enlever les pigments et colorants résiduels. Celle-ci se fait par l'intermédiaire d'une résine échangeuse d'ions. Cette étape pousse la décoloration du sucre au maximum. C'est une technologie récente au raffinage. Les résines échangeuses d'ions sont régénérées après saturation par le passage de saumure. Une station de Nano-filtration est utilisée ensuite pour épurer au maximum les rejets de la régénération (pigments) et permettre le recyclage de la saumure.

▪ Section 5 : concentration

Cette opération consiste à ramener la concentration du sirop décoloré à un brix de 70% par l'évaporation d'une certaine quantité d'eau introduite par les procédures précédentes. Cette opération facilitera la cristallisation du sucre.

▪ Section 6 : cristallisation haut produit

Pour sa cristallisation, le sirop concentré est inséré dans les chaudières. Pour cela on chauffe le sirop sous vide pour évaporer une partie de l'eau afin d'atteindre le point de saturation. On introduit alors une semence de sucre qui induit la cristallisation. Le sirop vient ensuite grossir ses germes et se transforme en cristaux. Cette étape est effectuée par un ajout de sirop et un chauffage simultané à la vapeur (montée de cuite).

On centrifuge ensuite la masse cuite (cristaux de sucre + eau) dans uneessoreuse qui sépare les cristaux de la liqueur mère appelée égout. Le sucre obtenu, humide, est convoyé au séchage. L'égout qui contient encore du sucre cristallisable est recyclé pour réaliser une nouvelle cristallisation. On réalise ainsi 3 jets de raffiné. L'égout final qui est de pureté insuffisante pour produire un sucre raffiné est envoyée à la cristallisation Bas – produits.

▪Section 7 : séchage

En sortant de la cristallisation le sucre est humide (0.05%). Pour permettre une bonne conservation, il est séché dans un cylindre à air chaud qui provoque l'évaporation de l'humidité puis refroidie dans un sécheur à lit fluidisant et, enfin envoyé, vers les silos de maturation pour finaliser la déshumidification et assurer son stockage en vrac.

▪Section 8 : Cristallisation bas produits

Cette étape sert à épuiser le sucre résiduel issu des égouts de la section 6 en trois étapes. Elle se réalise dans des cuites identiques à celles de la section 6, mais diffère dans la durée de cristallisation du sucre. La première étape nous donne un sucre A qui peut être séché et consommé comme sucre roux ou refondu pour être retraité et obtenir du sucre blanc. Les sucres B et C ne sont que des moyens d'épuisement complémentaires. L'égout final de la centrifugation de la masse cuite C contient le non sucre et une partie équivalente de sucre qui n'est plus cristallisable qui s'appelle la mélasse.

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

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

▪ Section 9 : Utilités

Cette section comporte tous ce qui est nécessaire au fonctionnement de la raffinerie en vapeur, eau, gaz carbonique, et réseau du vide. C'est pour cela qu'elle est nommée utilités.

▪ Mission de la section 10 : maturation et conditionnement

Dans cette section, le sucre provenant du séchage est stocké dans des silos pendant une durée minimum de 48 heures pour assurer la maturation avec de l'air conditionné qui élimine l'humidité résiduelle contenue dans les cristaux de sucre. Ce sucre sera ensuite envoyé à l'unité de conditionnement où il sera conditionné en sac de polypropylène de 50Kg ou en big bag de 1000Kg.

III.3. Laboratoires de la raffinerie de Cevital

La raffinerie de Cevital est dotée d'un des laboratoires les plus développé sur le territoire algérien, ces laboratoires font plus d'un million d'analyses par an sur tous les produits fabriqués.

Le laboratoire de la chaîne de fabrication de 3000 t/j consiste à faire des analyses sur :

- La matière première ;
- Les produits intermédiaires ;
- Le produit fini.

Le produit fini, c à d le sucre cristallisé subit plusieurs analyses de contrôle de qualité avant d'être commercialisé ou transféré vers une autres fabrication tel que le sucre glace. Les analyses effectuées sont :

III.4. Fabrication du sucre glace

Après avoir obtenu du sucre cristallisé, une quantité de ce sucre est transféré vers la chaîne de production de sucre glace. Ce dernier est obtenu par un mélange défini de sucre et d'amidon.

La raffinerie de CEVITAL utilise l'amidon de maïs qui est fabriqué au seins de l'entreprise d'amidor, le siège de cette entreprise se situe dans la wilaya de Mostaganem en Algérie.

Le sucre est alimenté par des silos de stockage. L'amidon, quant à lui, il est alimenté, par une station de vidange de sacs manuelle « SacktipS80 » (**figure.III.14**).



Figure.III.14. Une station de vidange de sacs « SacktipS80 »

Le débit de l'amidon est contrôlé par un doseur qui est pour but de garder la teneur d'amidon inférieure à 5%. L'amidon est injecté dans la vis du sucre deux mètre avant l'entrée du broyeur qui assure un pré-mélange du produit (**figure.III.15**).



Figure.III.15. L'emplacement de l'introduction de l'amidon.

Une unité de broyage « Broyeur Poly Mill UM 630 » (**figure.III.16**) assure le broyage des particules du sucre.

Ce broyeur a une vitesse allant jusqu'à 3000 tr/min et un débit théorique de 3600 kg/h. il possède un disque rotatif et disque fixe. Cette fonctionnalité permet d'obtenir des poudre d'une grande finesse. Le « UM 630 » est broyeur universel (broyeur a broche) qui a une option d'aspiration d'air qui assure le mouvement continue des produits dans la chambre de broyage.

A la sortie, le produit fini est transféré avec une vis sans fin vers une trémie qui permet le stockage avec une agitation en continue pour éviter la prise de masse.



Figure.III.16. Photographie de l'unité de broyage « Broyeur Poly Mill UM 630 »

Le produit fini est enfin transféré vers une machine à conditionner « Acepack SG-180Z » dans des sacs « DoyPack ». (**Figure.III.17**)

Acepack



Figure.III.17. Machine de conditionnement de sucre glace Acepack SG-180Z.

III.5. Échantillonnages et prélèvements

Notre étude concerne l'optimisation des paramètres du procédé de formulation du sucre glace au niveau de la sucrerie de CEVITAL. Les analyses du suivi des différentes opérations se sont effectuées au sein du laboratoire de la chaîne de production de 3000 t/j de l'entreprise et au laboratoire des procédés membranaires et techniques de séparation et de récupération (LPMTSR) au sein de l'université de Bejaïa.

Les prélèvements des échantillons se font une fois que les différents paramètres sont modifiés. Les différents échantillons sont pris directement lors de la sortie des sacs de la machine de conditionnement des sacs du sucre glace.

➤ But du travail

Le but de ce travail est d'obtenir une taille moyenne des grains de sucre qui se rapproche à une taille de 70 μm et 98% des particules sont inférieure à 100 μm (norme interne).

III.6. Matériels et méthodes

III.6.1. Test d'anti-agglomérant (test d'amidon)

a. But

Détermination du pourcentage d'amidon présent dans un échantillon de sucre glace

b. Principe

Cette méthode utilise un dosage gravimétrique par filtration d'une solution du sucre dans un mélange éthanol/eau sur une membrane tarée, qui est ensuite séchée à l'étuve et repesée. Le poids du produit résiduel, obtenu par différence, est attribué à l'antiagglomérant ou additif insoluble.

c. Matériel

- ✓ Balance de laboratoire

- ✓ Appareil de filtration sur membrane
- ✓ Etuve sous pression atmosphérique maintenue à 105 ± 1 °C
- ✓ Agitateur
- ✓ Dessiccateur
- ✓ Fiole conique de 200 ml
- ✓ Boite de Pétri
- ✓ Brucelles

d. Mode opératoire

➤ **Préparation du mélange à 50% v/v éthanol/eau**

Dans une fiole de 200 ml, on prépare un mélange de 100ml d'éthanol avec 100ml d'eau pur.

➤ **Préparation de la boite de Pétri et de la membrane**

Placer une boite de pétri avec couvercle (ouvert) et une membrane dans une étuve à 105 °C pendant 1 heure. Puis transfère la boite de Pétri et la membrane dans un dessiccateur et laisser refroidir. Placer à l'intérieur de la boite Pétrie à l'aide des brucelles puis mettre le couvercle. Peser la boite de Pétri + couvercle et la membrane, refroidi et sec, soit $m_0, \pm 1\text{mg}$.

➤ **Préparation de la suspension du sucre**

Peser environ 10g de sucre glace (± 0.1 mg), soit m_1 et mettre dans une fiole conique avec 50 ml du mélange éthanol/eau. A l'aide d'un agitateur, on agite le mélange pendant 15min pour dessoudre complètement le sucre.

➤ **Filtration**

Humidifier la membrane pesée dans l'appareil de filtration avec de l'eau distillée. Filtré la suspension du sucre glace + éthanol/eau pour enlever toute trace de sucre.

➤ **Séchage et pesage**

Remettre la membrane contenant l'antiagglomérant retenu dans la boîte de Pétri (couvercle ouvert) et sécher pendant 3 heures à l'étuve à 105 °C. Puis transférer boîte de Pétri + couvercle + membrane dans le dessiccateur et laisser refroidir. Placer le couvercle sur la boîte de Pétri contenant la membrane et poser à nouveau l'ensemble, soit m_2 , à ± 1 mg.

e. Expression des résultats

$$\text{Amidon (\%)} = \frac{m_2 - m_0}{m_1} \times 100$$

III.6.2. Analyse granulométrique

a. But

Détermination de la taille des particules du sucre glace ainsi que de la distribution granulométrique.

b. Principe

L'analyse granulométrique a été effectuée moyennant un appareil FRITSH ANALYSETTE 22 Nano Tec (**figure.III.19**).



Figure.III.18. Granulomètre FRITSH ANALYSETTE 22 Nano Tec.

Cet appareil est doté d'une plage de mesure pour deux différentes dispersion (humide et sèche) de $0,08\mu\text{m}$ - $2000\mu\text{m}$, ainsi qu'une méthode d'analyse par diffusion de la lumière laser.

Les particules passent à travers un rayon laser fixe. Chaque particule diffracte la lumière selon un angle qui est fonction de sa taille. La lumière diffractée est recueillie par un détecteur multiéléments (**figure.III.18**) L'image de diffraction obtenue est transformée en utilisant un modèle optique et une procédure mathématique appropriés (théorie de mie ou de Fraunhofer). Les résultats sont illustrés sous forme de courbe semi-logarithmique, est une distribution de particules en volume.

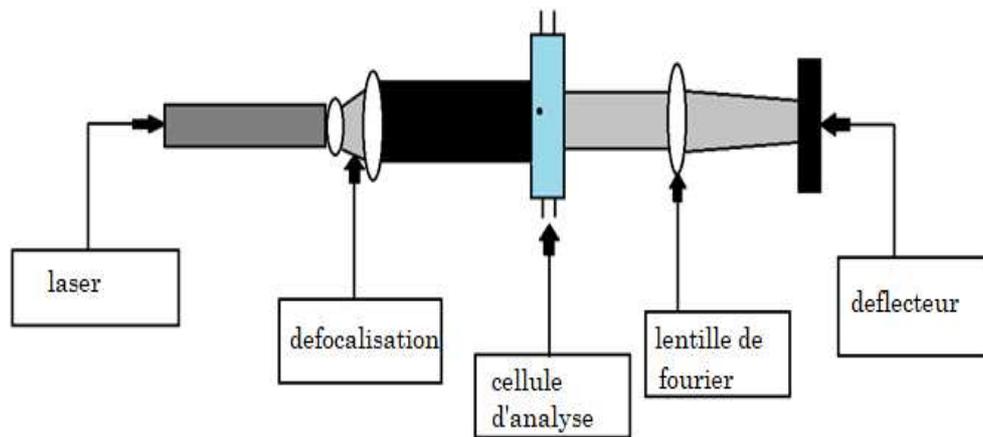


Figure.III.19. Principe de fonction du granulomètre

c. Matérielles et produits

- Spatule
- Granulomètre laser
- Échantillon de sucre glace
- Brosse de nettoyage

d. Mode opératoire

Après avoir allumé le granulomètre, s'assurer que la pression du compresseur est au voisinage de 5 bars. À l'aide d'une spatule, prélever une quantité de sucre glace et l'introduire à l'entrée du granulomètre laser. Attendre que le résultat soit affiché sur l'écran de l'ordinateur qui pilote l'appareil. La mesure est répétée deux fois avec deux prélèvements. Une fois les analyses terminées, nettoyer l'appareil à l'aide d'une brosse de nettoyage.

e. Expression des résultats

Les résultats sont donnés sous forme de graphes semi-logarithmiques, affichés directement sur l'écran de l'ordinateur accordé à l'appareil. Des graphes des tailles moyennes des grains sont aussi obtenus.

Chapitre IV

Résultats et Discussions

Chapitre IV

Résultats et discussions

La fabrication du sucre glace dépend de deux types de paramètre :

- Paramètres de compositions.
- Paramètres de procédés.

Ces deux types de paramètres peuvent avoir une influence directe sur la granulométrie du sucre glace.

IV.1. Paramètres de compositions

La fabrication de sucre glace dépend de deux paramètres de composition : la qualité du sucre cristallisé et la quantité d'amidon ajouté.

IV.1.1. Le sucre cristallisé

Le sucre utilisé au sein de la raffinerie de Cevital avant d'être commercialisé ou destiné à d'autres fabrications comme le sucre glace, passe par plusieurs analyses de contrôle de qualité.

La quantité de sucre ne peut être modifiée car elle est stable, il s'agit du sucre blanc obtenu de l'unité de la sucrerie de l'entreprise de CEVITAL.

IV.1.2. L'amidon

La quantité d'amidon utilisé dans la fabrication du sucre glace, peut-être modifiée en changeant la vitesse du doseur. La vérification du pourcentage d'amidon dans la formule finale est réalisée par un test d'anti-agglomération, qui est effectué deux fois par jour.

IV.1.2.1. Test d'anti-agglomération (test d'amidon)

- Test effectué sur l'amidon pur

Le test d'amidon est effectué selon la méthode décrite dans le chapitre III. Le tableau IV.4 présente le pourcentage d'amidon obtenu de l'analyse de trois différents échantillons d'amidon pur.

Tableau.IV.4. Résultats du taux d'amidon obtenu des tests effectués sur l'amidon pur.

	Echantillon 1	Echantillon 2	Echantillon 3
Amidon (%)	99,06	97,9	98,97

❖ **Interprétation et discussion**

On remarque d'après les résultats que le pourcentage d'amidon non dissout dans la solution de solubilisation (eau/ éthanol) utilisée dans le test d'amidon, varie entre 97,9% et 99,06%. Cet écart par rapport à 100% est essentiellement dû a des pertes de quelques particules d'amidon qui restent coller sur les bordures de l'appareille de filtration sur membrane.

Ces résultats indiquent que l'amidon ne se dissout pratiquement pas dans la solution d'éthanol/eau.

IV.1.2.2. Effet de la quantité d'amidon sur la granulométrie du sucre glace formulé

❖ **La granulométrie de l'amidon pur**

La **figure.IV.20** représente la distribution granulométrique de l'amidon pur utilisé dans la formulation du sucre glace.

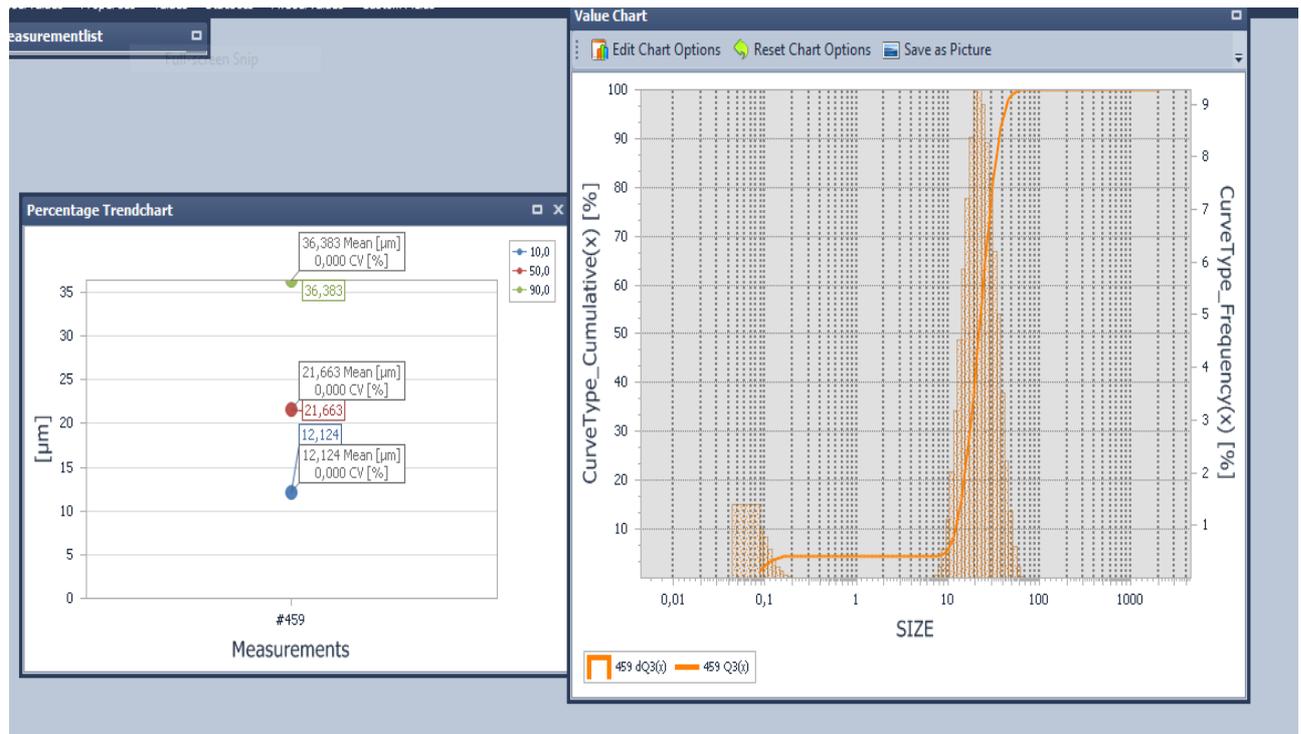


Figure.IV.20. Représentation graphique de la distribution de la taille des grains de l'amidon seul et de la répartition des particules selon trois niveaux de diamètres.

❖ Interprétation et discussion

On note que la grande partie des grains d'amidon est de taille inférieures à $37\mu\text{m}$. La taille moyenne est à la hauteur de $21\mu\text{m}$.

Et on note qu'une faible portion de particules (environ de 10%) a une granulométrie qui avoisine $12\mu\text{m}$.

❖ Effet de la quantité d'amidon sur la distribution granulométrique du sucre glace formulé :

Afin d'évaluer l'effet de la quantité d'amidon sur la distribution granulométrique du sucre glace formulé, nous avons fait varier cette quantité de 0,882 % à 3,442% et avons fait le suivi de cette distribution.

La **figure.IV.21** représente le diagramme de la distribution granulométrique des particules du sucre glace pour les différentes vitesses de broyage et taux d'amidon.

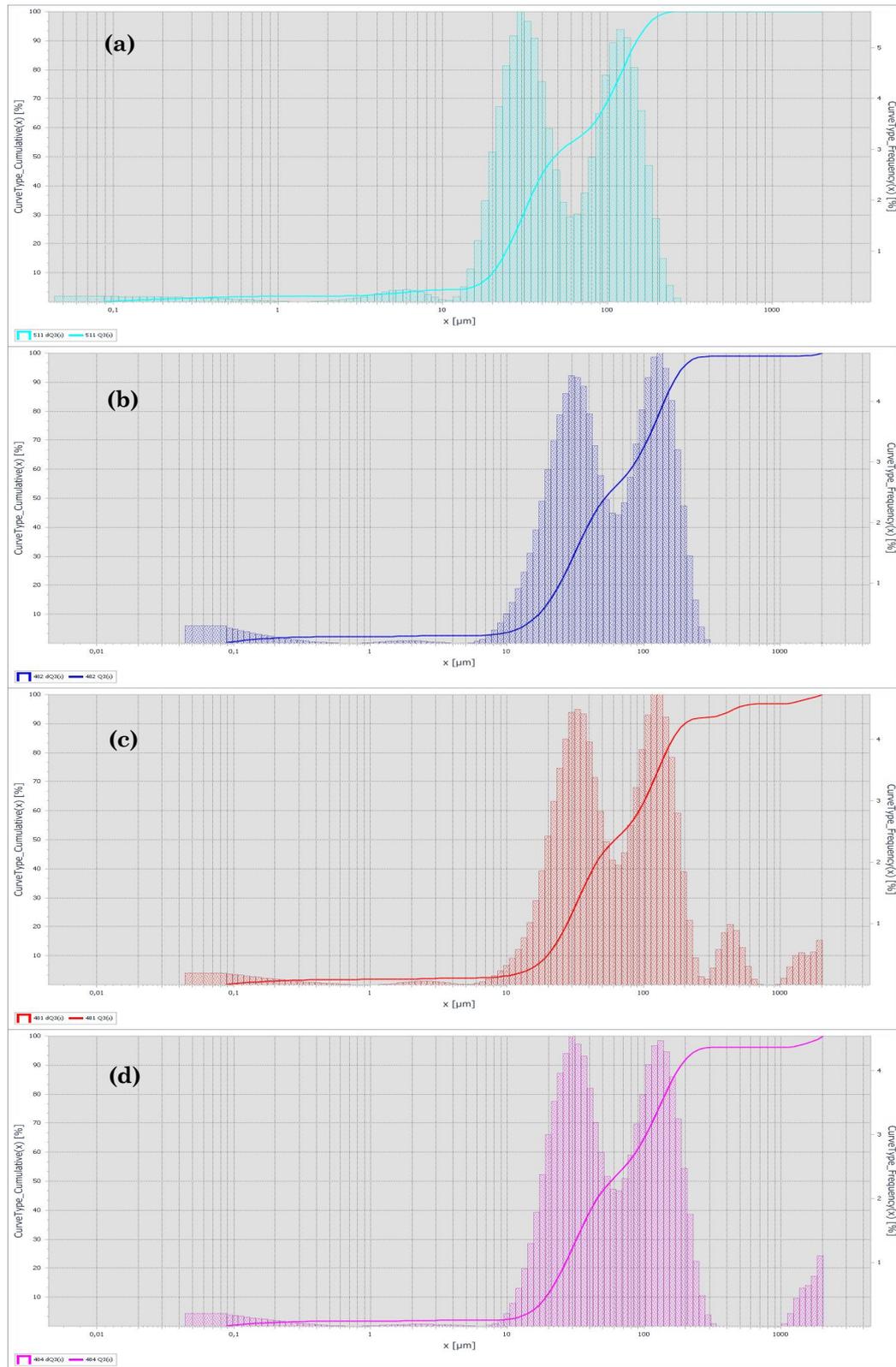


Figure.IV.21. Diagrammes de la distribution granulométrique des particules du sucre glace pour différentes vitesses et taux d'amidon **(a)** $V=1486\text{tr}/\text{min}$ amidon 0,882%, **(b)** $V=1486\text{tr}/\text{min}$ amidon 3,442, **(c)** $V=2080\text{tr}/\text{min}$ amidon 0,882%, **(d)** $V=2080\text{tr}/\text{min}$ amidon 3,442%.

Des diagrammes représentés ci-dessus, nous avons extrait deux exemples de données que nous représentons sur la **figure.IV.22** qui montre l'effet du taux d'amidon injecté dans la formulation sur la granulométrie du sucre glace obtenu.

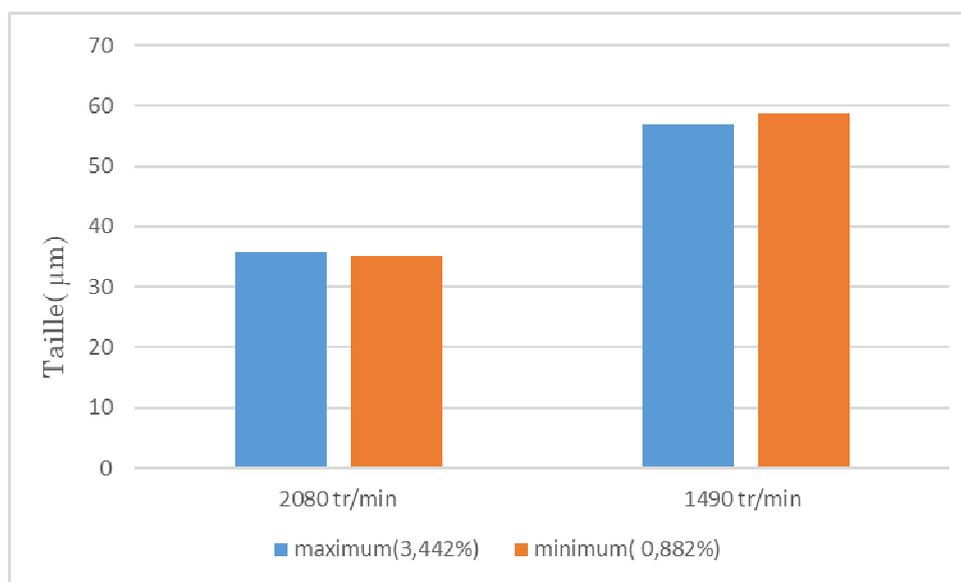


Figure.IV.22. Représentation de l'évolution de la distribution granulométrique des particules de sucre glace en fonction de la vitesse de broyage et du taux d'amidon.

❖ Interprétation et discussion

Selon la **figures.IV.21** et la **figure.IV.22**, il paraît qu'il n'y a pas de relation entre la quantité d'amidon introduit dans la formulation et la granulométrie des particules de sucre obtenu.

La taille des grains avoisine les 59 µm lorsque la vitesse de broyage appliqué est de 1490 tr/min pour les deux doses d'amidon (0,882 et 3,442%) testées. Tant dis qu'avec une vitesse de 2080 tr/min, la taille moyenne des grains est bien plus faible et avoisine les 35µm.

Ces résultats nous montrent que la vitesse de broyage est le paramètre qui a le plus d'influence sur la granulométrie du sucre obtenu. La quantité d'amidon semble n'avoir aucune influence sur cette dernière.

IV.2. Paramètres de procédés

Les trois paramètres qui peuvent influencer la taille des grains sont :

- Le nombre et la forme des broches du broyeur ;
- La vitesse de broyage ;
- La quantité d'air injecté.

IV.2.1. Le nombre et la forme des broches

Ce paramètre est fixé et ne peut pas être modifié car l'entreprise qui fournit le broyeur annonce que ces broches sont destinées à la fabrication de sucre glace et ne peuvent pas être changées par l'entreprise de CEVITAL.

IV.2.2. La vitesse de broyage

Afin d'examiner l'effet de la vitesse de broyage sur la qualité du sucre glace formulé, nous avons varié cette vitesse de 1490 tr/min à 2230 tr/min.

La **figure.IV.23** représente Les diagramme de la distribution granulométrique des particules du sucre glace pour les différentes vitesses testées.

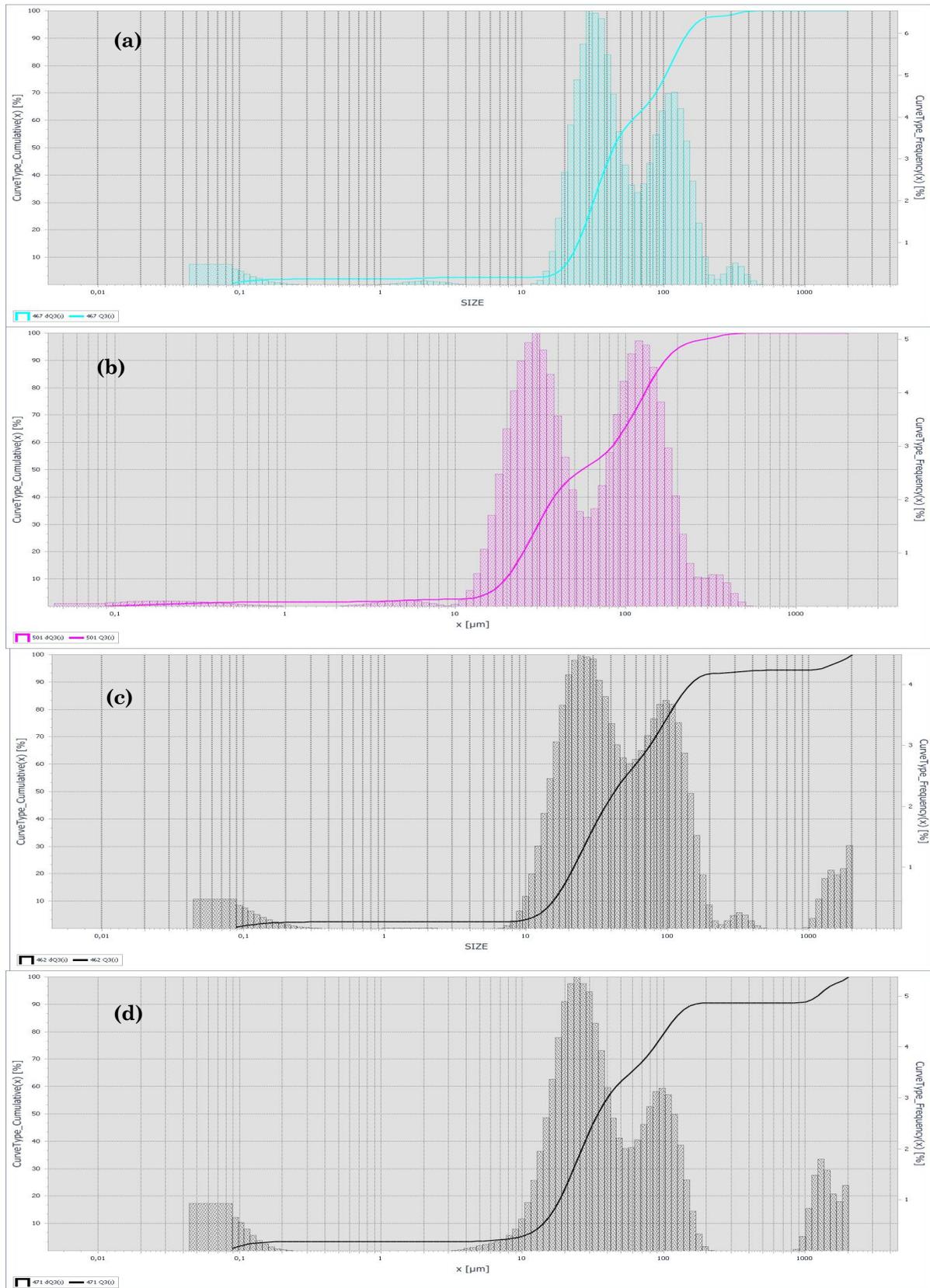


Figure.IV.23. Diagrammes de la distribution granulométrique des particules du sucre glace obtenu avec les différentes vitesses étudiées. **(a)** $V=1490\text{tr/min}$, **(b)** $V=1640\text{tr/min}$, **(c)** $V=2080\text{tr/min}$, **(d)** $V=2230\text{tr/min}$.

De ces diagrammes, nous avons extrait les données représentés sur la **figure.IV.24** qui montre une variation de la granulométrie du sucre glace en fonction de la vitesse de broyage.

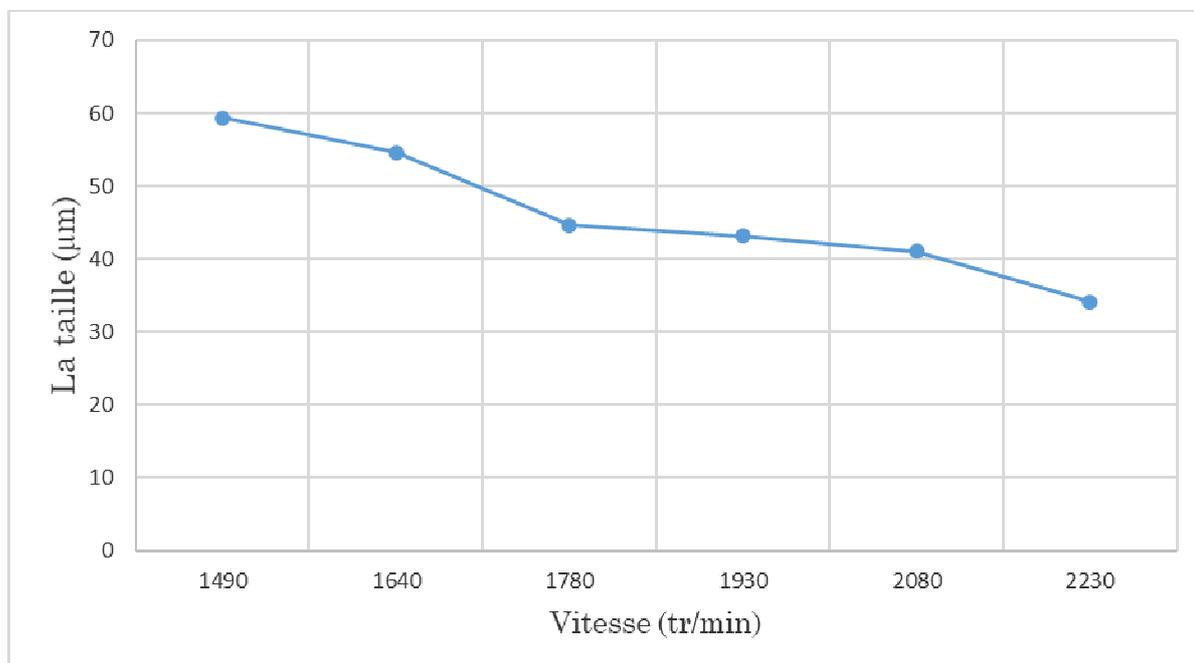


Figure.IV.24. Evolution de la granulométrie du sucre glace en fonction de la vitesse de broyage.

❖ Interprétation et discussion

Les résultats illustrés sur les deux figures montrent la variation de la taille des grains est inversement proportionnelle à la variation de la vitesse de broyage. On note qu'avec une vitesse maximale de broyage de 2230 tr/min, la taille moyenne des grains est autour des 34 µm tandis qu'avec une vitesse minimale de 1490 tr/min, la taille moyenne de ces grains est presque le double, elle avoisine la valeur de 60 µm.

Nous pouvons donc constater que la vitesse de broyage a une influence directe sur la taille des grains. Nous pouvons attribuer ce fait qu'à chaque fois que la vitesse du disque rotateur augmente, une séquence de frottement importante entre les broches et le sucres cristallisé en résulte, en plus des frottements des grains entre eux-mêmes, ce qui est communément appelé l'auto broyage.

IV.2.3. La quantité d'air injecté

Dans le but de définir l'effet de l'injection d'air sur la qualité du sucre glace formulé, nous avons varié l'ouverture de la vanne d'injection d'air qui a pour but de contrôler la quantité d'air injecté dans le broyeur. Cette ouverture est contrôlée par la variation dans l'intervalle entre 15° et 60°.

La **figure.IV.25** représente les diagrammes de la distribution granulométrique des particules du sucre glace pour une vitesse constante de broyage avec les différentes ouvertures de la vanne d'injection d'air.

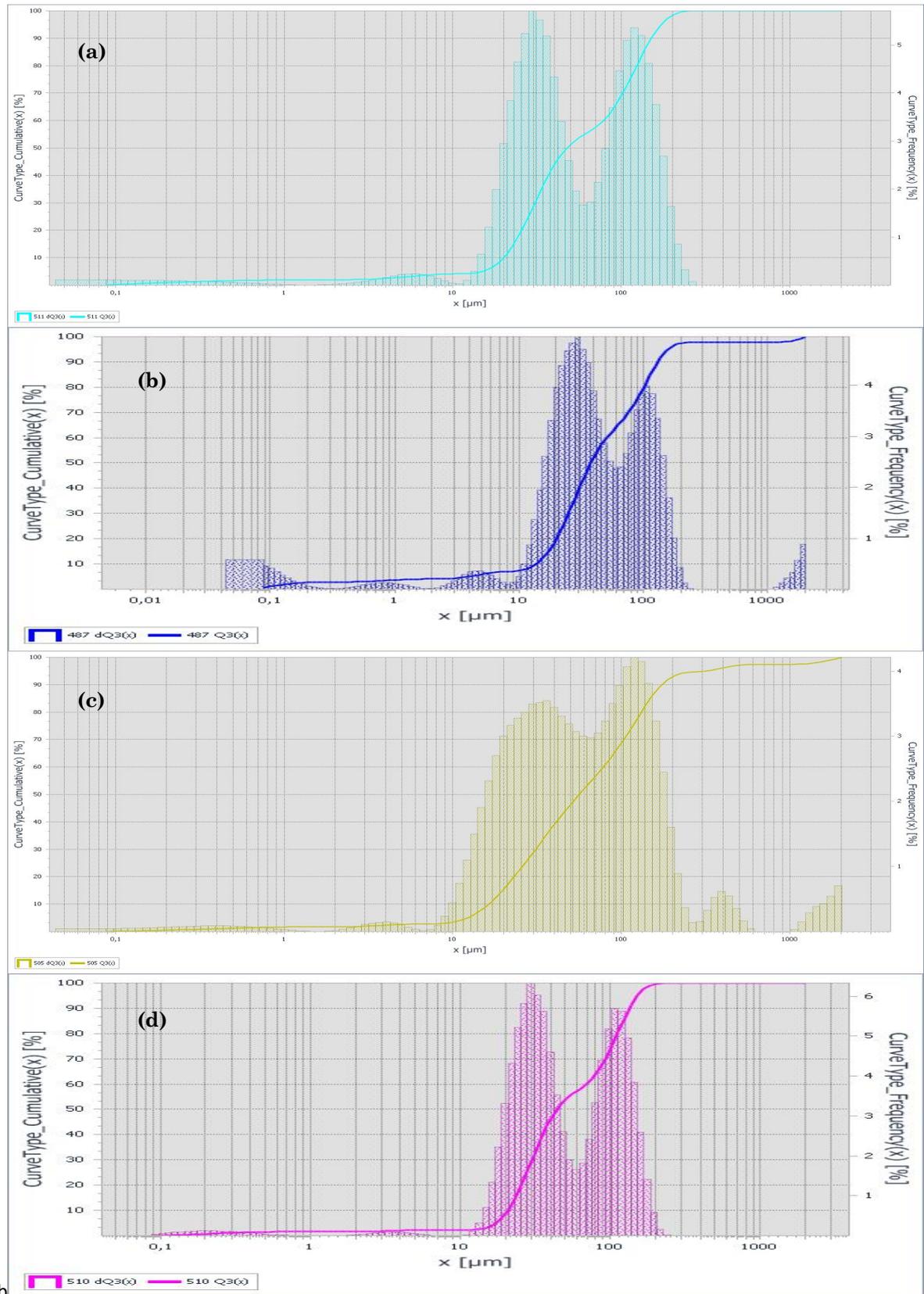


Figure.IV.25. Diagramme de distribution granulométrique des particules du sucre glace à une vitesse constante de broyage avec les différentes ouvertures de la vanne d'injection d'air (a) 15°, (b) 22,5, (c) 30°, (d) 45°.

La **figure.IV.26** représente l'évolution de la granulométrie du sucre glace en fonction de l'ouverture de la vanne qui permet à l'air d'entrer dans la chambre de broyage.

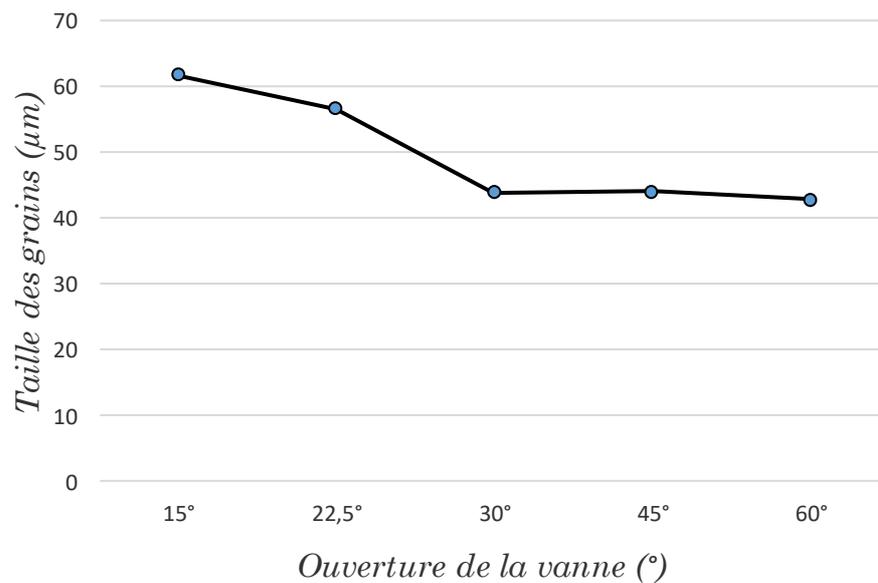


Figure.IV.26. Evolution de la granulométrie des grains en fonction de l'ouverture de la vanne d'injection d'air

❖ Interprétation et discussion

L'analyse de la **figure.IV.26** montre que la granulométrie des grains diminue de 61 µm obtenue avec une ouverture de la vanne de 15°, jusqu'à 43µm pour une ouverture de 30°. A partir de 30°, la taille des grains ne varie plus et reste constante au voisinage de 43 µm.

Ces résultats indiquent que la quantité d'air introduite dans le broyeur a un effet sur la granulométrie du sucre glace produit. Cependant, l'augmentation de cette quantité au-delà d'une certaine valeur (correspondant à l'ouverture de 30°) n'a plus d'effet.

On peut déduire que le rôle de l'injection d'air est d'aider le broyage et d'assurer que la majorité des particules soient broyées. Ce type de broyeur conduit à la réduction des tailles en créant des collisions entre les particules à l'aide de l'injection d'air. Le mouvement entre les particules augmente lorsque la quantité d'air est augmentée.

Remarque : Les résultats obtenus dans cette analyse ne peuvent être généralisés sur toutes les expériences car :

- Le filtre à air (**figure.IV.27**) dans son état actuel, est plein de poussières et de particules de sucres glace, et ne permet donc, pas qu'une quantité suffisante d'air entre dans la chambre de broyage (déformation du filtre après une ouverture de 30°) ;
- L'emplacement du système d'injection d'air qui peut poser un problème sur :
 - ✓ La quantité d'air : le filtre se trouve dans un endroit fermé ;
 - ✓ Le type d'air qui entre dans la chambre de broyage : l'emplacement de l'entreprise de CEVITAL se situe au bord de la mer. Donc l'air humide peut augmenter le pourcentage d'humidité dans le sucre glace.



Figure.IV.27. Photographie du filtre à air.



Figure.IV.28. Photographie de la vanne d'injection d'air.

IV.2.4. Les paramètres optimaux

Les résultats obtenus ci-dessus indiquent que les paramètres optimaux pour une granulométrie qui se rapproche de $70\ \mu\text{m}$ sont :

- Une ouverture de la vanne d'injection d'air de 15° ;
- Une vitesse de broyage de 1490 tr/min.

La **figure.IV.29** représente la distribution granulométrique des particules de sucre glace aux 2 paramètres optimisés indiqués ci-dessus.

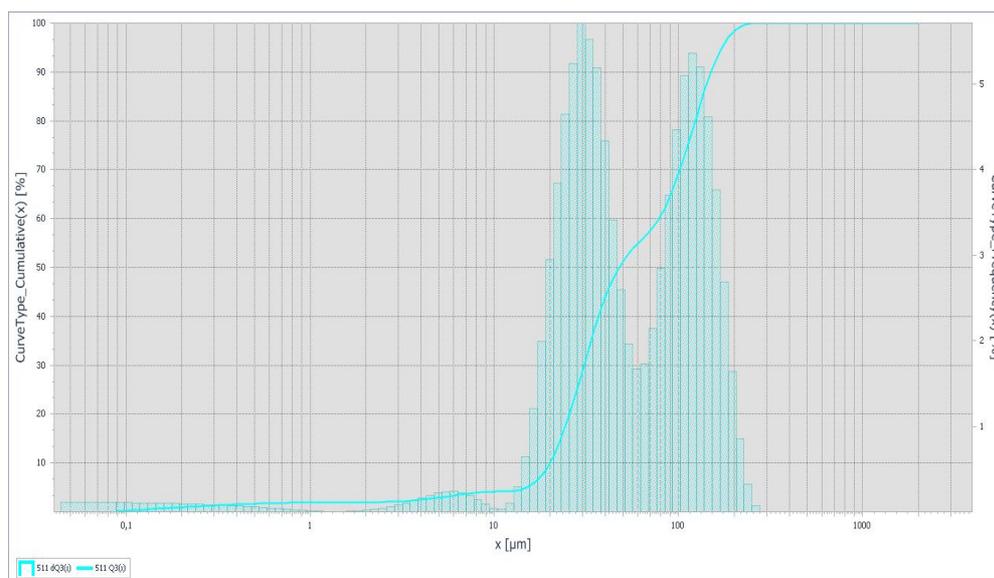


Figure.IV.29. Diagramme de la distribution granulométrique des particules du sucre glace obtenu avec $V_{\text{broyage}} = 1490 \text{ tr/min}$ et ouverture de la vanne d'injection $d'air = 15^\circ$.

❖ Interprétation et discussion

La distribution granulométrique représentée dans la **figure.IV.29**, nous montre que la majorité des grains ont une taille inférieure à $120 \mu\text{m}$. La taille moyenne des grains avoisine les $60 \mu\text{m}$. On note aussi qu'une faible quantité (moins de 5%) à une taille qui varie entre 2 et $10 \mu\text{m}$.

Ce type de graphe est bimodale, on enregistre deux pics, le premier avoisine $30 \mu\text{m}$ et le deuxième à approximative dans les $100 \mu\text{m}$. Cette distribution indique que l'échantillon n'est pas strictement homogène.

IV.3.1. Test d'antiagglomérant pour la formulation optimisée

Afin de vérifier le taux d'amidon dans le sucre glace formulé dans les conditions optimales. Une fois la vitesse de broyage et l'ouverture de la vanne d'injection réglées, nous avons prélevé 3 échantillons de sucre glace et on a fait un test d'antiagglomérant.

L'ensemble des résultats obtenus pour le taux d'amidon contenu dans la formulation optimisée, sont représenté sous forme de graphe dans la **figure.IV.30**.

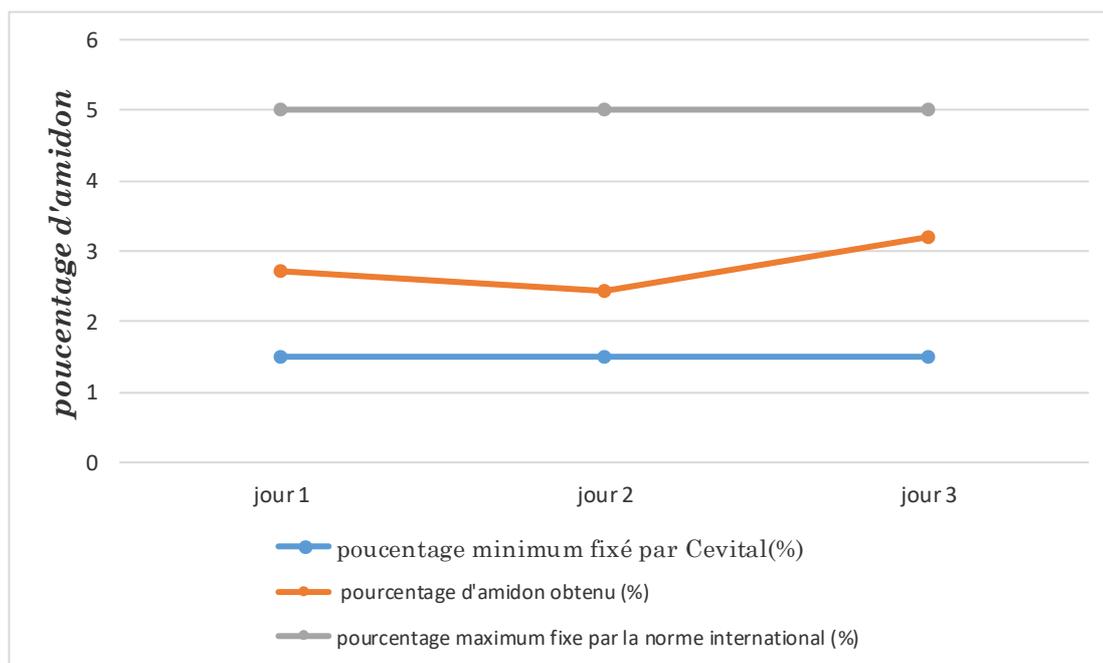


Figure.IV.30. Représentation de la variation du pourcentage d'amidon dans la formulation optimisée.

On remarque à travers les graphes représentés sur la **figure.IV.30**, que le pourcentage d'amidon obtenu dans les trois jours de prélèvement des échantillons est inférieur à la valeur maximale fixée par la norme et qui est de 5%. Le pourcentage minimum fixé par l'entreprise est de 1,5 % et les résultats obtenus sont au-dessous de cette norme. Cela implique que la teneur en amidon dans le sucre glace produit dans ces conditions optimales répond largement à la norme fixée par l'entreprise - CEVITAL qui est de 1,5 % au minimum et la norme générale maximale de 5%.

CONCLUSION GÉNÉRALE



Conclusion Générale

Confronté à une concurrence de plus en plus féroce, la qualité est devenue un enjeu stratégique pour les différentes Industries Agro-alimentaires. Les fabricants ne peuvent que répondre à ces critères d'exigences sans oublier qu'à prix égal, le produit de meilleure qualité reste la préférence des consommateurs.

Pour faire face à ces exigences de plus en plus croissantes, et pour avoir un produit de bonne qualité, l'amélioration de la qualité concerne pratiquement toutes les entreprises aussi bien étatiques que privées.

A l'échelle nationale, CEVITAL est un groupe qui s'est distingué par la qualité et la variété des produits proposés au consommateur. C'est ainsi que CEVITAL a décidé de se lancer dans la fabrication du sucre glace pour compléter la chaîne de production de la raffinerie de sucre qui fonctionne déjà depuis plusieurs années.

Dans le cadre de la réalisation de notre projet de fin de cycle Master en Génie Alimentaire, nous avons eu l'opportunité de passer une période de stage au sein de cette entreprise et l'objectif était d'optimiser les conditions de mise en œuvre pratique de la production du sucre glace.

A la lumière des résultats obtenus de notre travail, il ressort que le sucre glace qui répond aux exigences standards et à celle de l'entreprise CEVITAL, est obtenu en fixant les paramètres étudiés à leurs valeurs optimales qui sont données comme suit :

- Une vitesse de broyage de 1486 tr/min ;
- Une ouverture d'injection d'air de 15° ;
- Un taux d'amidon compris entre 1,5% et 5%.

Afin d'approfondir ce travail, il serait souhaitable de le compléter avec des études plus poussées de contrôle de qualité.

RÉFÉRENCES
BIBLIOGRAPHIQUE

- [1] **Laurence M. (2004)**. La qualité en industrie application : travail sur la qualité produit au sein d'une industrie agro- alimentaire. Thèse de doctorat spécialité médecine vétérinaire, l'Université Paul-Sabatier de Toulouse.141p.
- [2] **M.Ouerfelli. (2007)**. « La consommation d'un produit de luxe en France au Moyen Âge ». Université de Provence (Aix Marseille).
- [3] **Van Aelest. G. (2006)**. Sucre de Tirlemont, Introduction aux Sweet Moments. Ed. SÜDZUCKER, pp 9-14
- [4] **(En) Scientific Committee on Food**, « Re-evaluation of acesulfame K with reference to the previous SCF opinion of 1991. : Expressed on 9 March 2000. SCF/CS/ADD/EDUL/194 final », Rapport du Scientific Committee on Food, 12 septembre 2000, p. 1-8
- [5] **Arzate A. (2005)**. Extraction et raffinage de canne. Ed. ACER, pp 3-10.
- [6] **Fauconnier R. (1991)**. La Canne à Sucre. Le technicien d'agriculture tropicale. Ed. Maisonneuve & Larose. P 165.
- [7] **AFISUC. (2002)**. Association pour la formation et le perfectionnement dans les industries sucrières. Ed. Cristal 1, pp15.
- [8] **Brochoire G., Josse T. et Stephan C. (2000)**. Les nouvelles de la boulangerie Pâtisserie.Ed. S.O.T.A.L, pp 11-14.
- [9] **Anonyme 1. (2006)**. Canne à sucre "Microsoft" Encarta 2006 [CD]. Microsoft Corporation.
- [10] **Fida Hassan M., Alam M. R., Jabber M. A., Begum M. K. et Miah M. A. S, (2003)**. Effects of Water-Logging on Juice Quality and Yield of Sugar cane, Pakistan Journal of Biological Sciences, 6 (13). Pp 1151-1155.
- [11] **Yakov K. et Roland B. (2006)**. Sources and mechanisms of priming effect induced in two grassland soils amended with slurry and sugar. Soil. Biology & Biochemistry, 38, pp747 - 758.
- [12] **Jackson P. A. (2005)**. Breeding for improved sugar content in sugarcane. Field Crops Research, 92, pp 277–290.
- [13] **Hugot E. (1987)**. La sucrerie de canne 3eme édition Lavoisier. P 320-720.
- [14] **Arzate A. (2005)**. Extraction du sucre de betterave. Ed. ACER, pp 6-44
- [15] **ICEDD. (2005)**. Institut de Conseil et d'Etudes en Développement Durable (ASBL), (ancien nom Institut Wallon de développement économique et social et

d'aménagement du territoire asbl). L'industrie de la transformation de la betterave et de la Chicorée : La situation environnementale des industries, pp 9-11.

[16] **Rachida. B. (2005)**. Extraction des macromolécules pariétales des eaux de presse de betteraves sucrières étude de leur composition, de leurs propriétés physico-chimiques et de leur effet sur le process sucrier, Thèse de Doctorat, Université de REIMS, pp 8-36.

[17] **Decloux M. (2001)**. Procédés de transformation en sucrerie (partie 1). In : « Technique de l'ingénieur », pp 1-3.

[18] **Stähelin P. (2007)**. Le sucre, une énergie naturelle, toute de douceur, Sucreries Aarberg + Frauenfeld S.A., pp 10-24.

[19] **Benzohra B., Bencharif A. et Boukella M. (2010)**. La filière mondiale des édulcorants : une introduction. Ed. Cah Agric 2010 ; 19 : 210-9. DOI : 10.1684/agr.2010.0399, p 210-218.

[20] **Decloux M. (2002)**. Procédés de transformation en sucrerie (partie1). Dans : Techniques de l'ingénieur, traité Agroalimentaire (F 6 150). P 18.

[22] **odeadom 2005**

[23] **Mathlouthi M. et Barbara R. (2001)**. L'extraction du sucre. CEDUS : centre d'étude et de documentation du sucre. P1-14.

[24] **Emilie F. (2006)**. Connaissance des aliments. Ed : Lavoisier, Tec et Doc, Paris. Pp 397.

[25] **Mathlouthi M. et Rogé B. (2004)**. Chapitre 9 sucreries de canne, dossier CEDUS avec la collaboration de l'université de Reims, 7 p.

[26] **Romain J., Thomas C., Pierre S. et Gérard B. (2007)**. Science des aliments. Lavoisier. Ed : Tec & Doc. P 449.

[27] **Rageot M., Rene L. (2004)**. Procédure de fabrication du sucre. Le sucre (4). p 1-4.

[28] **Hugot E. (1986)**. Handbook of Cane Sugar Engineering. Ed : Elsevier Science Publishing Company Pub. Co. New York, USA. p 1185.

[29] **Benne. M. (1999)**. Les réseaux de neurones pour la modélisation et le contrôle du procédé d'évaporation : expérimentations et applications industrielles en sucrerie de cannes. P20.

[30] **Asadi, Mosen (2006)**. Beet-Sugar Handbook. John Wiley & Sons.

- [31] **Michael Moss**, Sucre, sel et matières grasses. Comment les industriels nous rendent accros, Calmann-Lévy, 2014.
- [32] **G. Dejonghe**. These (Fabrication du sucre de betteraves). IRIS-LILLIAD- université de Lille 1 p317
- [33] **Doucet J. (1992)**. Le sucre (saccharose) est ses dérivés traditionnels et nouveaux. In Le sucre, les sucrés, les édulcorants et les glucides des charges dans les industries agroalimentaires (Multon J.L.). Ed. TEC et DOC Lavoisier, pp 256 – 281.
- [34] **Clarke. M. A. (1995)**. Valeur technologique du saccharose dans les produits alimentaires. In Le saccharose : Propriétés et applications (MATHLOUTHI M. ET REISER P.). Ed. Polytechnica, pp236-262.
- [35] **Decloux M. (2003)**. Procèdes de transformation en sucrerie (partie 2). In : Technique de l'ingénieur. P21.
- [36] **Mathlouthi M. (2004)**. Propriétés physiques et chimiques du saccharose, pp 1-34.
- [37] **Dilmi Bouras A. (1998)**. Les constituants alimentaires et leur rapport avec la santé. Ed. Office des Publications Universitaires, Alger, p 272.
- [38] **Bartens A. (2007)**. ICUMSA Methods Book. ICUMSA Methods book supplement 2005.Ed: Bartens.
- [39] **S.A. Barani**. Theses (Modification des Propriétés Physico-Chimiques de l'Amidon par procédé Hygrothermiques : Contribution à l'étude des Transferts Couples Chaleur-Masse). Université de la rochelle (19 Mai 2013). P 1
- [40] **Eliasson, A. C. 1983**. Differential scanning calorimetry studies on wheat starch-gluten mixtures. II. Effect of gluten and sodium stearyl lactylate on starch
- [41] **Schoch, T. j. 1945** ; Advances in Carbohydrate Chemistry. Ed. W.W. Pigman, M.L.Wolfrom, Acad. Press. Inc.

- [42] **Zobel, H. F. 1984.** Starch gelatinization and mechanical properties of starch pastes. Starch: Chemistry and Technology. R. L. Whistler, J. N. Bemiller, and E. F. Paschall, eds. Academic press: orlando.
- [43] **DUPIN Henri, CUP Jean-Louis, MALEWIAK Marie-Irène et al.** Amidon. Alimentation et nutrition humaine. PARIS : ESF éditeur 1992, p.127-135
- [44] **Gallant, D. J., Bouchet, B. & Baldwin, P. M. 1997.** Microscopy of starch: evidence of a new level of granule organization. Carbohydrate polymers. 32, 177–191.
- [45] **Broyage Alain Chamayou, Jacques Fages.** Broyage dans les industries agroalimentaires
- [46] **A. HADDAD. Z. TOUATI.** Mémoire (Amélioration des caractéristiques techniques d'un broyeur pour les bouteilles en plastique 2013). P 3.
- [47] **ZAPATA-MASSOT Céline,** THESE (synthèse de matériaux composites par Co-broyage en voie sèche. Caractérisation des propriétés physico-chimique et d'usage des matériaux), Institut National Polytechniques de TOULOUSE, (décembre 2004).
- [48] <https://www.palamaticprocess.fr/etudes-cas/agroalimentaire/unite-broyage-sucre>
- [49] **S. Barringer, in Handbook of Food Powders, 2013**
- [50] Les étapes de la fabrication du sucre de betterave. Syndicat national des fabricants de sucre
- [51] **Hugot, E. (1987).** La sucrerie de cannes, Lavoisier, Paris
- [52] **CHAMAYOU, A. FAGES, J.** Thèse Broyage dans les industries agroalimentaires. Technologie des pulvérulents dans les IAA, Lavoisier, pp.375-406, 2003

Résumé

Le sucre figure parmi les denrées alimentaires majeures sur le plan du commerce international. La sucrochimie s'intéresse depuis fort longtemps à valoriser la production essentielle de la filière « canne à sucre » : le saccharose. Le processus technologique de transformation vise à extraire cette matière par diverses étapes distinctes et successives. Le sucre glace est l'un des dérivés du sucre, obtenu par un broyage fin de ce dernier. Le sucre glace est fabriqué par plusieurs industries en Algérie dont le groupe CEVITAL qui s'est récemment investie dans ce type de production.

Ce travail avait pour objectif l'optimisation des paramètres de production du sucre glace au niveau de CEVITAL, pour avoir une meilleure formulation de ce produit.

Les résultats obtenus nous ont permis de régler des différentes paramètres étudiés ; une vitesse de broyage de 1486 tr/min, une ouverture de la vanne d'introduction d'air à 15° avec un taux d'amidon variant entre 1,5 et 3%. Le réglage de ces paramètres à leurs valeurs optimales a abouti à la formulation d'un sucre d'une granulométrie moyenne de 70µm, valeur qui se rapproche de celle exigée par l'entreprise.

Abstract

Sugar is one of the most important foodstuffs in international trade. For a long time, the sucrochemical industry has been interested in adding value to the essential product of the sugar cane: sucrose. The technological transformation process aims to extract this material through various distinct and successive stages. Sugar powder is one of the derivatives of sugar, obtained by fine grinding of the latter. this prodect is produced by several industries in Algeria, including CEVITAL, which has recently invested in this type of production.

The objective of this work was to optimise the settings of producing sugar powder at CEVITAL, in order to have a better formulation of this product. The results obtained allowed us to adjust the different parameters studied; a grinding speed of 1486 rpm, an opening of the air introduction valve at 15° with a starch content varying between 1.5 and 3%. The adjustment of these parameters to their optimum values resulted in the formulation of a sugar with an average particle size of 70µm, a value that is close to that required by the company.

