

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
Laboratoire des Génie de l'Environnement

Mémoire

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE Master

Domaine : Science et Technologie Filière : Génie des Procédés
Spécialité : Génie Chimique

Présenté par

Lina Amani BOUDRAA & Theleli BENHACINE

Thème

**Contribution à l'étude de l'élimination des traces de sucres dans
les condensats au niveau de la raffinerie Cevital-Bejaia**

Soutenue le : 08 /07/2024

Devant le jury composé de :

Prénom et Nom

Grade

| | | | |
|------------------|-----|-----------------------------|----------------|
| Nassima HAMAI | MCA | Université A.Mira de Bejaia | Présidente |
| Taous BELAID | MCA | Université A.Mira de Bejaia | Examinatrice |
| Hamid TIGHZERT | MCA | Université A.Mira de Bejaia | Encadrant |
| Nassima KECHROUD | MCA | Université A.Mira de Bejaia | Co- Encadrante |

Année Universitaire : 2023/2024

Remerciements

Nous exprimons notre profonde gratitude à notre encadrant, Monsieur Hamid TIGHZERT, pour son accompagnement et ses conseils précieux tout au long de ce travail.

Les travaux présentés dans ce mémoire ont été principalement effectués à la raffinerie de sucre CEVITAL (Bejaia), ainsi qu'au laboratoire de l'unité d'osmose. Nous tenons à remercier chaleureusement Monsieur Bouzid SEMAHI, chef de l'unité du sucre, pour avoir accepté notre demande de stage et pour nous avoir accueillies au sein de l'entreprise. Nous remercions également Monsieur Tarik BERKANI pour la confiance qu'il nous a accordée et les excellentes conditions de travail qu'il nous a offertes.

Nous remercions aussi le chef de quart, Monsieur Samir, ainsi que les ingénieurs de la raffinerie, pour leur soutien et leur collaboration durant notre stage.

Un grand merci à Madame Nassima KECHROUD, notre co-encadrante, pour sa contribution et son aide tout au long de notre travail.

Nos remerciements s'adressent enfin aux membres du jury, Madame Nassima HAMAIDI, en tant que présidente, et Madame Taous BELAID, examinatrice, pour avoir accepté de juger et d'évaluer ce travail avec bienveillance.

Dédicaces

Je tiens à dédier ce travail :

À mes très chers parents, pour leur soutien indéfectible tout au long de mon parcours d'études, leurs encouragements et leurs présences ont été des piliers essentiels dans ma réussite.

À ma sœur Délia et mon frère Nadji

À ma meilleure amie Lina

Je suis honorée de les avoir à mes côtés et je leur suis éternellement reconnaissante pour tout ce qu'ils ont fait pour moi.

Lina

Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail à mes très chers parents À ma
mère qui s'est démenée pour mon bien être*

*À mon père pour qui je témoigne un profond respect. Ceci est une
petite récompense par rapport aux grands sacrifices
qu'ils ont accomplis.*

*Je ne saurais les remercier pour avoir été tout au long de leur vie
à mes côtés, ils ont accompli leur mission avec
courage et abnégation.*

A mes sœurs ainsi qu'à mes frères pour leur tendresse .

Theleli

Listes des figures

| | |
|--|----|
| Figure I.1 : Canne à sucre..... | 4 |
| Figure I.2 : Photographie d'une canne à sucre..... | 5 |
| Figure I.3 : Photos de quelques variétés de sucre..... | 9 |
| Figure II.1 : Schéma du procédé de raffinage du sucre roux à l'unité de CEVITAL..... | 18 |
| Figure II.2 : Malaxeur..... | 19 |
| Figure II.3 : Filtres à bougies..... | 21 |
| Figure II.4 : Sirop décoloré..... | 22 |
| Figure II.5 : Sécheur à tambour..... | 25 |
| Figure III.1 : Diagramme en arêtes de poisson..... | 31 |
| Figure III.2 : Diagramme en arêtes de poisson adopté à la problématique de contamination en trace de sucre..... | 33 |
| Figure III.3 : Cartographie avant le test de molish..... | 37 |
| Figure III.4 : Le réactif de molish..... | 40 |
| Figure III.5 : Acide sulfurique..... | 40 |
| Figure III.6 : Pipette..... | 41 |
| Figure III.7 : Pots d'échantillonnage..... | 41 |
| Figure III.8 : Comparateur Lovibond..... | 42 |
| Figure III.9 : Disque de comparaison de couleur..... | 42 |
| Figure III.10 : Cartographie après le test de molish..... | 45 |
| Figure III.11 : Photographie des cuites BP..... | 46 |

| | |
|------------------------|----|
| Remerciements..... | I |
| Liste des figures..... | II |
| Introduction..... | 1 |

Chapitre I : Généralités sur le sucre

| | |
|---|----|
| I.1 Introduction..... | 2 |
| I.2 Matière première pour la fabrication du sucre | 2 |
| I.3. La canne à sucre..... | 3 |
| I.3.1 Aspect botanique..... | 4 |
| I.3.2 Culture de la canne à sucre..... | 5 |
| I.3.3 Production mondiale de la canne à sucre..... | 6 |
| I.3.4.Composition de la canne à sucre..... | 6 |
| I.3.5 Préparation et stockage de la canne à sucre..... | 7 |
| I.3.6 Sous-produit de la canne à sucre..... | 7 |
| I.4 Types de sucres | 9 |
| I.5 Le saccharose..... | 10 |
| I.5.1 Définition du saccharose..... | 10 |
| I.5.2. Sources du saccharose | 12 |
| I.5.3. Décomposition du saccharose | 12 |
| I.5.4 Solubilité du saccharose | 14 |
| I.5.5 Synthèse du Saccharose | 14 |
| I.6 Conclusion | 15 |

Chapitre II : Procédés de fabrication de sucre blanc au niveau de Cevital

| | |
|--|----|
| II.1 Introduction..... | 16 |
| II.2 Historique..... | 16 |
| II.3 Présentation de la raffinerie de sucre du complexe Cevital..... | 16 |
| II.3.1 Unité de la raffinerie sucrière | 16 |
| II.3.2 Activités du complexe Cevital | 17 |
| II.4 Procédés de raffinage du sucre roux | 17 |
| II.4.1 Affinage et refonte (Section 01) | 20 |
| II.4.2 Carbonatation (section 2) | 21 |
| II.4.3 Filtration (Section 3) | 21 |
| II.4.4 Décoloration (Section 04)..... | 22 |

| | |
|--|----|
| II.4.5 Concentration (Section 5)..... | 23 |
| II.4.6 Cristallisation | 24 |
| II.4.6 Cristallisation Haut-Produits (HP) (section 6)..... | 24 |
| II.4.7 Le séchage (section 7)..... | 25 |
| II.4.8 La cristallisation des bas-produits (BP) (Section 8)..... | 26 |
| II.4.9 Utilités (Section 9)..... | 27 |
| II.4.10 Maturation et conditionnement (Section 10) | 28 |
| II.5 Conclusion : | 28 |

Chapitre III : Méthodologie, résultats et discussion

| | |
|---|----|
| III.1 Introduction | 29 |
| III.2 Les condensats et les bacs à condensats | 29 |
| III.2.1 Collecte des condensats | 29 |
| III.2.2 Rôle du bac à condensats | 29 |
| III.2.3 Fonctionnement du bac à condensats | 30 |
| III.3 Méthodologie : la méthode PDCA (ishikwa)..... | 31 |
| III.3.1 Définition | 31 |
| III.3.2 Historique | 31 |
| III.3.3 Utilité | 32 |
| III.3.4 Structure du diagramme en arêtes de poisson | 33 |
| III.4 Application du diagramme en arêtes de poisson..... | 36 |
| III.5 Cadrage de projet | 37 |
| III.6 Le test de Molish | 40 |
| III.6.1 Historique..... | 40 |
| III.6.2 Principe théorique..... | 40 |
| III.6.3 Applications | 40 |

| | |
|---|----|
| III.6.4 Avantages du test de Molish | 41 |
| III.6.5 Inconvénients du test de Molish | 41 |
| III.7 Mode opératoire | 41 |
| III.7.1 Réactifs requis | 41 |
| III.7.2 Matériels utilisés : | 42 |
| III.7.3 Le disque comparateur standard LOVIBOND 3/29A | 42 |
| III.7.4 Préparation de l'échantillon : | 44 |
| III.8 Discussion | 44 |
| III.9 Recommandations pour surmonter les problèmes de contamination de sucre..... | 48 |
| III.10 Conclusion | 50 |

Introduction

L'eau, élément fondamental à la vie sur Terre, est au cœur de nombreux processus biologiques et industriels. Son importance cruciale s'étend de notre hydratation quotidienne à l'irrigation des cultures, en passant par la production d'énergie. Cependant, la surconsommation et le gaspillage d'eau sont devenus des défis majeurs à l'échelle mondiale. La croissance démographique, l'urbanisation rapide et l'expansion industrielle ont exacerbé la demande en eau, souvent au-delà de ce que les ressources naturelles peuvent offrir. Cette surconsommation conduit à une diminution des réserves d'eau douce disponibles et engendre divers problèmes environnementaux, tels que l'épuisement des nappes phréatiques et la dégradation des écosystèmes aquatiques.

Face à cette réalité, le recyclage de l'eau émerge comme une solution cruciale pour atténuer la pression sur les ressources en eau et préserver l'environnement. Le processus de recyclage implique le traitement des eaux usées pour les rendre propres et sûres à des fins de réutilisation. Cette pratique peut être mise en œuvre à diverses échelles, allant du recyclage de l'eau de pluie pour l'irrigation domestique au traitement des condensats dans les industries.

Dans ce contexte, l'entreprise Cevital, consciente de l'importance de la durabilité environnementale, a adopté des pratiques innovantes de recyclage de l'eau, notamment dans le domaine du raffinage du sucre. Cependant, elle est confrontée à un défi majeur concernant les condensats générés à la fin du processus de raffinage. Ces condensats, contaminés par des traces de sucre, ne sont pas adaptés au recyclage, ce qui entrave les efforts de réutilisation de cette ressource vitale.

L'objectif de la présente étude est d'explorer les solutions potentielles pour surmonter ce défi au sein de la raffinerie en identifiant les bacs contaminés, localisant les sources de contamination et enfin proposer d'éventuelles solutions. Ce travail s'articule autour de trois chapitres : le premier aborde les aspects généraux du sucre ; le deuxième se concentre sur les étapes de raffinage du sucre, mettant en lumière les procédés impliqués ; enfin, le troisième chapitre présente la méthodologie suivie, les résultats expérimentaux obtenus et leur interprétation, offrant ainsi des pistes concrètes pour résoudre le problème de contamination des condensats.

Chapitre I

Généralités sur le sucre

I.1 Introduction

Le sucre également connu sous le nom de saccharose, est un glucide naturellement présent dans de nombreux aliments. Il est utilisé non seulement pour son goût sucré, mais aussi pour ces propriétés de conservation, sa capacité à améliorer la texture et la couleur des aliments, ainsi que sa fonction dans la fermentation et la cuisson.

Dans ce chapitre, nous allons explorer les propriétés du sucre et de la canne à sucre, ces deux composés jouent des rôles essentiels dans divers domaines, allant de la cuisine à la chimie, en passant par la biologie.

I.2 Matière première pour la fabrication du sucre

La production de sucre ne se limite pas seulement à la canne à sucre, bien que cette dernière reste la source la plus couramment associée au sucre. En réalité, une gamme variée de matières premières est utilisée dans la fabrication du sucre, offrant ainsi une diversité de choix pour répondre aux besoins et aux préférences des consommateurs. Parmi ces alternatives, on trouve le sirop d'érable, le sirop d'agave, le miel, le sucre de fleur de coco, ainsi que la rapadura et le muscovado, chacun apportant ses propres caractéristiques distinctives [1].

Sirop d'érable : Provenant de la sève de l'érable, ce sirop se distingue par son caractère naturellement sucré et sa faible teneur en calories, principalement composé de glucose et de fructose. Il est également riche en minéraux et en antioxydants, offrant ainsi des avantages nutritionnels appréciables [2].

Sirop d'agave : Extrait de la plante d'agave, ce liquide ambré est obtenu à partir de la "piña", le bulbe au cœur de la plante. Il est moins calorique que le sucre blanc et possède un pouvoir sucrant élevé, ce qui en fait un choix courant pour sucrer les préparations culinaires. Cependant, son processus de chauffage intensif peut altérer certains de ses bienfaits [2].

Miel : Offrant une multitude de variétés sur le marché, le miel est un choix sucré populaire. Il est important de sélectionner soigneusement le miel pour profiter de ses nombreux avantages nutritionnels et médicinaux [2].

Sucre de fleur de coco : Obtenu à partir de la fleur du cocotier, ce sucre présente un index glycémique bas et est riche en vitamines, minéraux et polyphénols. Non raffiné, il est souvent préféré pour ses qualités nutritionnelles supérieures [2].

Rapadura et muscovado : Ces sucres complets, dérivés de la canne à sucre, se distinguent par leur processus d'extraction spécifique. Bien qu'ils appartiennent à la même famille, leur traitement différent leur confère des saveurs et des caractéristiques distinctes [2].

I.3. La canne à sucre

La *Saccharum Officinarum*, communément appelée canne à sucre, est une plante graminée largement cultivée dans les régions tropicales et subtropicales [1]. Actuellement, plus de cent pays exploitent la culture de la canne à sucre sur une superficie totale de 130 000 km². Les vingt principaux producteurs ont récolté 1199 millions de tonnes en 2004, représentant ainsi 91 % de la production mondiale totale estimée à 1317 millions de tonnes. Parmi les principaux producteurs, on trouve le Brésil, l'Inde et la Chine, qui contribuent respectivement pour 31 %, 19 % et 7 % à la production mondiale de sucre [2].

L'histoire de la culture de la canne à sucre remonte aux premières cultures sucrières liées à une plante naturelle découvertes en Asie du Sud-Est et dans le Pacifique. Les populations locales utilisaient les tiges de la canne à sucre pour en extraire le sucre. Vers l'an 350, pendant la dynastie des Gupta, les Indiens ont appris à cristalliser et à purifier le sucre. Les premières sucreries, raffineries, usines et plantations ont été construites par les Arabes [2].

En 1890, l'introduction d'une méthode de pressage améliorée a permis d'augmenter considérablement la quantité de jus extrait de la canne, ce qui a contribué à l'expansion économique des plantations de sucre en Andalousie. Dès 1420, la production de sucre s'est étendue aux îles Canaries, à Madère et aux Açores. Après 1625, les Hollandais ont importé de l'Amérique du Sud la canne à sucre dans les îles des Caraïbes, les îles Vierges et la Barbade, faisant du sucre une matière première cruciale. Au début du XVII^e siècle, le sucre est devenu très populaire et le marché du sucre a connu une croissance significative [2].



Figure I.1 : Champ de la canne à sucre

I.3.1 Aspect botanique

Une plante de canne se compose généralement d'une touffe de 5 à 20 tiges dressées, appelées « talles », mesurant de 2 à 5 mètres de haut et présentant un diamètre de 2 à 4 centimètres. Chaque tige est constituée d'une série de nœuds et d'entre-nœuds : chaque nœud abrite un bourgeon et un anneau d'ébauches de racines. Ces tiges sont souvent tronçonnées en boutures de quelques nœuds, qui servent à la replantation des champs tous les 5 à 10 ans [3].

Les feuilles de la canne à sucre sont nombreuses, longues et étroites, offrant ainsi une grande surface foliaire. Cela favorise la production de matière végétale, dont les premières molécules sont les sucres. De plus, les feuilles peuvent également servir de fourrage pour l'élevage. Les racines de la plante sont denses et profondes, ce qui contribue à protéger le sol contre l'érosion causée par les fortes pluies et les cyclones. L'inflorescence, ou flèche, se présente sous forme d'une panicule comprenant de nombreuses fleurs qui produisent de minuscules graines, connues sous le nom de «fuzz» [4].



Figure I.2 : Photographie d'une canne à sucre

I.3.2 Culture de la canne à sucre

Sa culture est loin d'être un simple processus mécanique, exige une synergie entre les caprices de la nature et le savoir-faire humain.

Saison de plantation

La culture de la canne à sucre est intimement liée aux saisons. Le cycle débute par la plantation, généralement effectuée en début de saison humide, lorsque les sols sont gorgés d'eau et que les températures favorisent la germination. Les boutures de canne, prélevées sur des plants sains, sont soigneusement déposées dans le sol, prêtes à entamer leur transformation en tiges sucrées [5].

Au fil des mois, les champs de canne à sucre se transforment en une mer verte ondulante. Les agriculteurs surveillent attentivement la croissance des plants, veillant à leur irrigation régulière et à leur protection contre les parasites et les maladies. Un désherbage rigoureux est également nécessaire pour éviter la concurrence des adventices et garantir une utilisation optimale des ressources nutritives du sol [5].

La récolte

Après une année de croissance, la canne à sucre arrive à maturité. La récolte, généralement effectuée à la main ou à l'aide de machines spécialisées, marque l'aboutissement de ce long processus. Les tiges coupées sont ensuite transportées vers les usines de transformation, où elles seront broyées pour en extraire le précieux jus sucré, donnant naissance au sucre que nous consommons quotidiennement [5].

Une culture en évolution

La culture de la canne à sucre ne cesse d'évoluer, intégrant des techniques culturales innovantes et durables. L'irrigation au goutte-à-goutte permet d'optimiser l'utilisation de l'eau, tandis que la lutte biologique contre les parasites favorise le respect de l'environnement. La recherche variétale s'oriente vers le développement de variétés plus résistantes aux maladies et plus productives, contribuant ainsi à la sécurité alimentaire et à la prospérité des communautés productrices [5].

I.3.3 Production mondiale de la canne à sucre

La canne à sucre est l'une des cultures les plus importantes au monde, avec une production annuelle qui dépasse 1,8 milliard de tonnes. Cette production alimente une industrie mondiale majeure, générant des emplois, des revenus et des produits essentiels pour de nombreux pays. Avec une production de plus de 800 millions de tonnes, le Brésil domine largement le marché mondial de la canne à sucre. Ce pays représente à lui seul près de 45% de la production mondiale, et sa production continue d'augmenter pour répondre à la demande croissante en sucre et en bioéthanol. L'Inde et la Chine, respectivement deuxièmes et troisièmes producteurs mondiaux, affichent également une croissance importante de leur production. Cette tendance s'explique par l'augmentation de la consommation intérieure et par le développement des agrocarburants dans ces deux pays. D'autres pays, comme la Thaïlande, le Pakistan, le Mexique et la Colombie, jouent également un rôle important dans la production mondiale de canne à sucre. Ces pays fournissent une part significative de l'approvisionnement mondial en sucre et contribuent à la diversification des sources d'approvisionnement [6].

I.3.4. Composition de la canne à sucre

La composition peut varier légèrement selon la variété de canne à sucre, le stade de maturité et les conditions de culture. Le tableau I.1 ne présente que les principaux constituants. La canne à sucre contient également d'autres composés en plus petites quantités [7].

Tableau I.1 : Composition de la canne à sucre

| Composant | Teneur (%) | Rôle |
|--------------------------------|-------------------|--|
| Eau | 72 à 77 | Structure et transport des nutriments |
| Saccharose (sucre) | 12 à 16 | Principal composant sucré, utilisé pour la production de sucre |
| Fibres | 10 à 18 | Apportent structure et favorisent la digestion |
| Minéraux | 0,5 à 1 | Potassium, phosphore, calcium, magnésium, etc., essentiels pour les processus métaboliques |
| Protéines | 1 à 2 | Structure cellulaire et fonctions enzymatiques |
| Composés organiques non sucrés | 1 à 2 | Acides aminés, vitamines, pigments, etc., confèrent des propriétés aromatiques et nutritives |

I.3.5 Préparation et stockage de la canne à sucre

L'objectif de l'industrie sucrière, est de produire avec un rendement optimum, un sucre de meilleure qualité demandée par le client et à moindre coût. L'opération commence par la récolte de la canne. Une fois la canne est récoltée, on procède au chargement et le transport qui doit se faire dans un délai de 36 heures après la coupe. Les chargements de cannes qui arrivent par camions sont pesés, des prélèvements sont réalisés pour déterminer le pourcentage de saccharose contenu dans les cannes. Celles-ci sont lavées, puis défibrées par des coupes cannes pour faciliter le broyage qui va servir pour l'extraction de jus [2].

I.3.6 Sous-produit de la canne à sucre

La canne à sucre n'est pas seulement une source de sucre. Sa transformation génère une multitude de sous-produits, souvent méconnus, qui trouvent des applications diverses et ingénieuses :

La bagasse

La bagasse, résidu fibreux issu du broyage de la canne à sucre, représentant jusqu'à 30% de la matière première, n'est plus un simple déchet. Composée en moyenne de 45% d'eau, 48,5% de fibres et 2,5% de matière dissoute (principalement du sucre),

elle était traditionnellement utilisée comme combustible, fourrage et engrais. Mais son potentiel s'étend désormais à des domaines bien plus vastes, contribuant à une économie circulaire plus durable. De la production de furfural, composé chimique industriel, à son utilisation comme combustible alternatif au charbon dans les centrales électriques, la bagasse trouve des applications innovantes. Elle enrichit les sols, se transforme en bioplastiques biodégradables et incarne un modèle de production durable et responsable. Loin d'être un simple sous-produit, la bagasse est un trésor caché au service d'un avenir plus respectueux de l'environnement [2].

La mélasse

La mélasse, sirop épais et foncé obtenu après l'extraction du sucre de la canne à sucre, est loin d'être un simple résidu. Ce sous-produit savoureux et nutritif, représentant 3% de la matière première initiale, trouve de nombreuses applications, contribuant ainsi à une économie circulaire plus durable [2].

La mélasse renferme 35% de saccharose et d'autres composés précieux. Sa production, à raison de 30 kg par tonne de canne, offre une multitude d'utilisations. La production de rhum industriel en absorbe une grande partie. Une fraction supplémentaire nourrit le bétail, tandis qu'une petite quantité se retrouve sur les tablettes des supermarchés pour la consommation humaine. Elle s'avère également essentielle dans la culture des levures et dans la fabrication de divers produits tels que l'acide acétique, le glutamate, le dextrane, l'acide itaconique, la lysine et l'éthanol. La mélasse se révèle être un ingrédient aux multiples facettes, au service d'un avenir plus respectueux de l'environnement [2].

Les boues

Les boues d'épuration contiennent un grand nombre de matières organiques, telles que des cires et des graisses, qui pourraient être exploitées. Elles servent dans certains pays à fertiliser les sols cultivables [2].

I.4 Types de sucres

a. Sucre blanc : C'est le sucre le plus couramment utilisé dans la cuisine et la pâtisserie. On l'utilise pour sucrer les boissons, les desserts et les préparations culinaires [8].

b. Sucre brun : Aussi appelé sucre de canne, il est partiellement raffiné et conserve une petite quantité de mélasse. Il est souvent utilisé pour donner une saveur plus riche et plus caramélisée aux préparations [8].

c. Sucre glace : Également connu sous le nom de sucre en poudre, il est finement moulu et mélangé avec de l'amidon pour éviter la formation de grumeaux. On l'utilise pour saupoudrer les gâteaux et les pâtisseries [8].

d. Sucre de coco : Fabriqué à partir de la sève des fleurs de cocotier, il a un goût de caramel distinctif. Il est utilisé comme alternative naturelle au sucre dans les boissons et les desserts [8].



Figure I.3 : Photos de quelques variétés de sucres

f. Le sucre candi : Le sucre candi est une variété de sucre cristallisé caractérisée par de gros cristaux translucides ou opaques, généralement de couleur blanche ou légèrement teintée. Le processus de fabrication du sucre candi est similaire à celui du sucre ordinaire, mais il comporte une étape supplémentaire de cristallisation lente. Pendant cette étape, une solution saturée de sucre est laissée à refroidir lentement, ce qui permet

aux cristaux de se former de manière plus importante, donnant ainsi au sucre candi sa texture caractéristique [8].

g. La vergeoise : Elle se distingue par sa texture granuleuse et son goût légèrement caramélisé, qui lui confère une saveur distinctive. La vergeoise est produite à partir de jus de betterave sucrière ou de canne à sucre, qui est cuit lentement avec du sucre de canne pour former de gros cristaux. Elle est ensuite séchée et broyée pour obtenir une texture granuleuse. La couleur de la vergeoise peut varier du blond clair au brun foncé, en fonction du degré de raffinage du sucre et de la durée de cuisson [8].

h. Le sucre gélifiant : Le sucre gélifiant, également connu sous le nom de sucre à confiture, est un type de sucre spécialement formulé pour aider à la gélification des confitures, des gelées et des marmelades lors de leur cuisson. Contrairement au sucre ordinaire, le sucre gélifiant contient un ajout d'acide citrique et de pectine, qui sont des agents gélifiants naturels présents dans de nombreux fruits. L'acide citrique aide à abaisser le pH du mélange de fruits, favorisant ainsi la gélification, tandis que la pectine agit comme un agent épaississant en formant une structure gelée. Cette combinaison d'ingrédients permet d'obtenir des confitures et des gelées avec une texture ferme et uniforme, ainsi qu'une bonne conservation [8].

1.5 Le saccharose

1.5.1 Définition du saccharose

Le saccharose, communément appelé sucre de table ou sucre de canne, est un disaccharide, constitué de deux oses (sucres simples) : le glucose et le fructose. Le glucose, largement répandu dans la nature, est le résultat de la photosynthèse des végétaux, tandis que le fructose est présent dans les fruits et le miel, provenant de la transformation du glucose. Ces deux oses sont reliés par une liaison osidique $\alpha(1\leftrightarrow 2)\beta$, conférant ainsi au saccharose sa structure unique et ses propriétés caractéristiques. Sa formule chimique est $C_{12}H_{22}O_{11}$. Il est généralement extrait de la canne à sucre ou de la betterave sucrière. Sur le plan de la nomenclature, il est désigné par le terme IUPAC (2R,3R,4S,5S,6R)-2-[(2S,3S,4S,5R)-3,4-dihydroxy-2,5-bis(hydroxyméthyl)oxolan-2-yl]oxy-6-(hydroxyméthyl)oxane-3,4,5-triol [9].

Le saccharose est un glucide naturellement présent dans de nombreux aliments, tels que les fruits, les légumes et les produits sucrés. Il est utilisé comme édulcorant

dans l'industrie alimentaire pour sa capacité à conférer une saveur sucrée aux aliments et aux boissons. De plus, il joue un rôle essentiel dans l'industrie chimique en tant que matière première pour la production d'autres composés chimiques [9].

Tableau I.2: Quelques Propriétés physico-chimique du saccharose

| Propriété | Description |
|--------------------|---|
| Etat physique | Solide cristallin |
| Couleur | Blanc |
| Odeur | Inodore |
| Saveur | Sucrée |
| Formule chimique | $C_{12}H_{22}O_{11}$ |
| Masse molaire | 342,3 g/mol |
| Solubilité | Très soluble dans l'eau (jusqu'à 2 kg/L à 20°C) |
| Point de fusion | 186°C |
| Point d'ébullition | Se décompose avant d'ébouillir |
| Pouvoir rotatoire | Dextrogyre (dévie la lumière polarisée vers la droite) |
| Réaction chimique | Hydrolysable en glucose et fructose en présence d'enzymes (sucrase) ou d'acides |
| Densité | 1,58g /cm ³ |
| PH | 5,6 |

I.5.2. Sources du saccharose

Le saccharose est naturellement présent dans de nombreuses plantes, principalement dans leurs racines, leurs fruits et leur nectar, où il sert à stocker l'énergie produite par la photosynthèse. Il constitue une source d'alimentation pour de nombreux mammifères, oiseaux, insectes et bactéries, certains en faisant même leur principal nutriment. Utilisé abondamment dans l'industrie alimentaire et dans diverses applications industrielles, le saccharose est principalement extrait de deux sources majeures : la canne à sucre et la betterave sucrière.

I.5.3. Décomposition du saccharose

Le saccharose, malgré sa stabilité relative, peut subir différentes voies de décomposition sous l'effet de la chaleur, de l'acidité ou de la présence d'enzymes. Cette

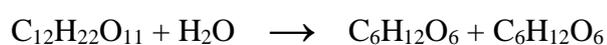
décomposition peut conduire à la formation de divers produits, dont certains contribuent aux arômes et à la coloration des aliments lors de la cuisson. Voici les principales voies de décomposition du saccharose [10] :

a. Caramélisation : la caramélisation est un processus complexe qui se produit lorsque le saccharose ou d'autres sucres sont chauffés à des températures élevées. Lors de cette réaction, le saccharose se décompose en glucose et en fructose, qui subissent ensuite une série de réactions chimiques pour former des composés appelés mélanoidines. Ces mélanoidines confèrent aux aliments une couleur ambrée caractéristique, un goût caramélisé unique et parfois une texture onctueuse. La caramélisation est donc responsable du brunissement non enzymatique des aliments et contribue à leur profil sensoriel distinctif [11].

Lors du processus de caramélisation, plusieurs étapes clés interviennent. Tout d'abord, la déshydratation se produit lorsque le sucre est chauffé à des températures élevées (entre 150°C et 180°C), entraînant la perte de molécules d'eau et la concentration des autres composés. Ensuite, des réarrangements moléculaires ont lieu, où les molécules de sucre déshydratées se fragmentent et se recombinent pour former de nouvelles structures complexes connues sous le nom de produits de Maillard. Ces produits de Maillard, de couleur brun foncé, sont responsables de la coloration caractéristique du caramel. Enfin, la caramélisation entraîne le dégagement de composés aromatiques volatils, tels que la vanilline et le furfural, qui contribuent à la saveur complexe et parfumée du caramel [11].

b. Hydrolyse acide : L'hydrolyse du saccharose en présence d'un acide, également connue sous le nom d'"inversion", entraîne la transformation du saccharose en un mélange équimolaire de glucose et de fructose. Ce processus forme une solution appelée "sucre inverti", ainsi nommée en raison du changement de signe du pouvoir rotatoire, passant du positif (dextrogyre) au négatif (lévogyre). Il est important de noter que cette inversion n'est pas réversible [11].

L'équation chimique de cette réaction est la suivante :



(Saccharose) (Eau) (Glucose) (Fructose)

c. Hydrolyse enzymatique : Le saccharose peut également être hydrolysé en glucose et en fructose par des enzymes appelées invertases, présentes dans de nombreux organismes vivants, y compris les levures et les bactéries. Cette réaction est importante dans la production de produits fermentés tels que la bière, le vin et le pain [11].

d. Réactions de Maillard : lorsque le saccharose est chauffé en présence d'acides aminés ou de protéines, il peut réagir avec ces composés pour former une gamme de produits appelés produits de Maillard. Ces produits contribuent aux arômes et à la coloration des aliments cuits, tels que le pain grillé, les biscuits et les viandes rôties [12].

La décomposition du saccharose peut donc avoir des effets significatifs sur les propriétés organoleptiques des aliments et des boissons, influençant leur goût, leur couleur et leur texture. Cette compréhension des réactions de décomposition du saccharose est essentielle pour le contrôle de la qualité et le développement de nouveaux produits dans l'industrie alimentaire [12].

I.5.4 Solubilité du saccharose

La solubilité du saccharose, dans l'eau est une propriété importante et bien connue. À température ambiante, le saccharose est très soluble dans l'eau, ce qui signifie qu'il se dissout facilement dans ce solvant. Il est l'un des sucres les plus solubles dans l'eau parmi les glucides naturels. Cette solubilité élevée du saccharose dans l'eau est exploitée dans de nombreuses applications alimentaires et industrielles, telles que la fabrication de sirops, de boissons sucrées, de confiseries et de produits de boulangerie. Sa solubilité dans l'eau dépend de plusieurs facteurs, notamment de la température et de la concentration de la solution. Elle peut également être influencée par la présence d'autres substances dans la solution, telles que des ions ou des molécules de gaz. Par exemple, l'ajout de certains sels peut augmenter la solubilité du saccharose dans l'eau en modifiant les interactions entre les molécules de saccharose et les molécules d'eau [13].

I.5.5 Synthèse du Saccharose

La synthèse du saccharose est un processus essentiellement biologique, réalisé par les plantes lors de la photosynthèse, mais peut également être obtenue à partir de sources végétales comme la canne à sucre et la betterave sucrière, grâce à des procédés industriels d'extraction et de purification [12].

La synthèse du saccharose peut être réalisée naturellement par les plantes lors du processus de la photosynthèse. Ce processus biochimique se déroule dans les chloroplastes des cellules végétales et implique la fixation du dioxyde de carbone atmosphérique pour former du glucose, qui est ensuite converti en saccharose pour le stockage de l'énergie [12].

Dans un contexte industriel, le saccharose est principalement produit à partir de deux sources principales : la canne à sucre et la betterave sucrière. Le processus de production lié à la canne à sucre sera détaillé dans le second chapitre du présent document [13].

Dans certains cas, le saccharose peut également être synthétisé chimiquement en laboratoire. Cependant, cette méthode est moins courante et plus coûteuse que l'extraction à partir de sources naturelles [13].

I.6 Conclusion

En conclusion, nous avons parcouru les propriétés du sucre et de la canne à sucre, mettant en lumière leur importance dans notre quotidien, que ce soit en industrie ou en recherche. Ces éléments sucrés jouent un rôle essentiel dans de nombreux aspects de nos vies.

Chapitre II

Procédés de fabrication du sucre blanc au niveau de Cevital

II.1 Introduction

La raffinerie est une industrie complémentaire de la sucrerie, elle traite des sucres roux de canne, des sucres bruts de betterave et d'autres sirops de sucrerie.

Le sucre roux est un ingrédient couramment utilisé dans de nombreuses recettes apportant une saveur unique et une teinte caractéristique. Dans ce chapitre, nous allons d'abord introduire l'histoire de l'entreprise, ses multiples activités et l'organigramme du complexe de Cevital. Par la suite, nous aborderons les différentes étapes de fabrication du sucre blanc.

II.2 Historique

Cevital fait partie des entreprises algériennes créées suite à l'entrée de notre pays dans l'économie de marché. Fondée en 1998 avec des fonds privés, l'entreprise est située au quai du port de Béjaïa et s'étend sur une superficie de 45 000 m² [14].

Dans le secteur agroalimentaire, Cevital offre des produits de qualité supérieure à des prix très compétitifs. Ceci est rendu possible grâce à son savoir-faire, ses unités de production ultramodernes, son contrôle strict de qualité, et son réseau de distribution performant [14].

En 1999, l'entreprise a lancé sa première raffinerie d'huile et sa première marque d'huile. En 2001, la production de margarine a débuté, suivie par l'ouverture de la raffinerie de sucre en 2003. En avril 2005, Cevital a lancé trois nouveaux projets, témoignant de son dynamisme et de son engagement envers l'innovation et la diversification de ses activités [14].

II.3 Présentation de la raffinerie de sucre du complexe Cevital

II.3.1 Unité de la raffinerie sucrière

La raffinerie de sucre du complexe Cevital est établie dans l'enceinte portuaire de Béjaïa et dispose d'une capacité de production de 3500 tonnes par jour, ce qui en fait un acteur majeur de l'économie locale et nationale. En satisfaisant la demande nationale

en sucre cristallisé, elle a également commencé à exporter vers les pays maghrébins et méditerranéens [15].

Dotée d'un équipement hautement sophistiqué, tant dans ses sections de raffinage de sucre que dans son laboratoire d'analyses, la raffinerie est en mesure de suivre et d'effectuer les différentes analyses nécessaires. La société Cevital joue un rôle significatif dans l'économie nationale et est considérée comme l'un des plus importants contributeurs du secteur privé à l'échelle nationale, voire dans l'Afrique du Nord [15].

II.3.2 Activités du complexe Cevital

Les activités de Cevital se concentrent principalement sur la production et la commercialisation d'huiles végétales, de margarine et de sucre, structurées comme suit :

- Une raffinerie d'huile;
- Une unité de conditionnement d'huile;
- Une margarinerie;
- Une raffinerie de sucre ;
- Une unité de fabrication d'emballage ;
- Une unité de stockage de céréales ;
- Une nouvelle raffinerie de sucre d'une capacité de 3000 tonnes par jour. [14]

D'autres projets sont actuellement en cours d'étude, notamment :

- Une minoterie ;
- Une savonnerie ;
- Une unité de traitement de l'hydrogène pour la ration d'huile ;
- Un électrolyseur ;
- Une centrale thermique. [14]

II.4 Procédés de raffinage du sucre roux

Le processus de raffinage du sucre roux dans la raffinerie comprend plusieurs étapes essentielles, regroupées en différentes sections ou ateliers. L'objectif principal de ce processus est de purifier le sucre roux afin de produire du sucre blanc de haute qualité. Les principales étapes du processus de raffinage comprennent la fonte du sucre, l'addition de chaux et de CO₂, la filtration, la décoloration et la recristallisation. À

travers ces étapes, les impuretés telles que les sels minéraux et les matières organiques sont éliminées, garantissant ainsi la pureté du sucre blanc final.

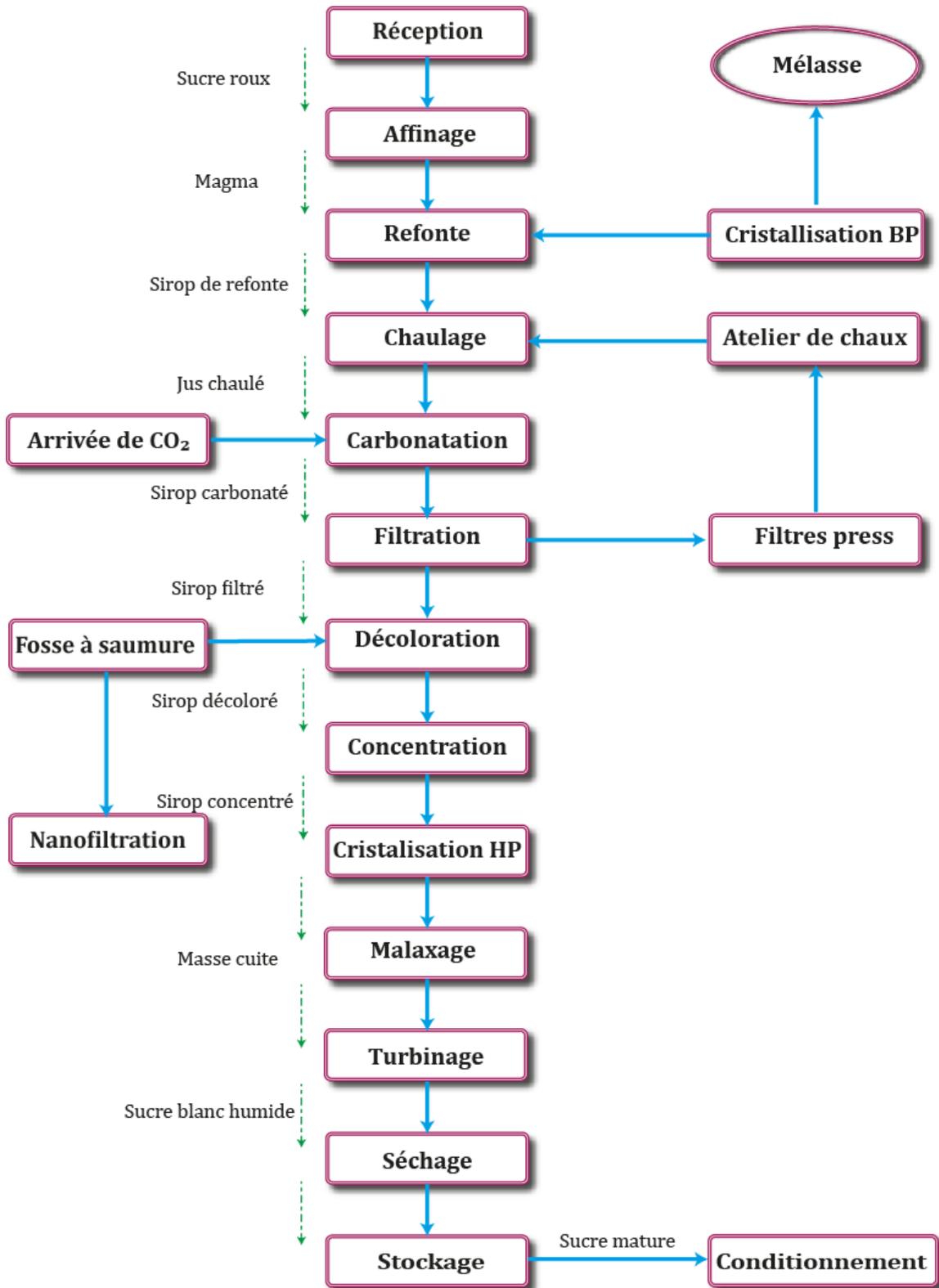


Figure II.1 : Schéma du procédé de raffinage du sucre roux à l'unité de CEVITAL

II.4.1 Affinage et refonte (Section 01)

L'affinage : il est également appelé empattage, il consiste à mélanger du sucre roux avec un sirop chaud légèrement sous-saturé (voir la figure II.2). Ce mélange produit un "magma d'affinage" dont la teneur en Brix (mesure de la concentration en sucre) se situe entre 60 et 65%. L'objectif principal de cette étape est de favoriser la dissolution de la couche superficielle des cristaux de sucre, qui est généralement la plus contaminée [15]. (Voir la figure II.2)

Refonte : la refonte consiste à dissoudre les cristaux de sucre brut sous forme de sirop, rendant ainsi les impuretés plus accessibles pour leur élimination ultérieure. Le sucre affiné est ensuite acheminé vers le fondoir, où il est refondu par l'ajout d'eau chaude et d'eau sucrée, créant un sirop présentant les caractéristiques suivantes [15]:

Brix : [59 – 64]°Bx

pH : [6,5 – 7,7]

température : [70 – 75]°C



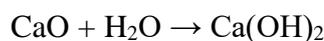
Figure II.2 : Malaxeur

II.4.2 Carbonatation (section 2)

L'objectif de la carbonatation est d'éliminer les particules non sucrées du jus et de retenir éventuellement des particules insolubles qui ont été accidentellement détectées lors de la fonte (trop petites pour être arrêtées par les séparateurs et les filtres). Pour ce faire, la chaux, associée au dioxyde de carbone, produit un précipité de carbonate de calcium (CaCO_3), qui capture, précipite, floccule et détruit les non-sucre [16].

D'une part, la carbonatation entraîne la formation de carbonate de calcium (CaCO_3), qui est utilisé pour adsorber les impuretés, et d'autre part, elle permet de neutraliser l'environnement. La décantation et la filtration sont effectuées après cette étape afin d'éliminer le carbonate de calcium (CaCO_3) et les matières colorées adsorbées [16].

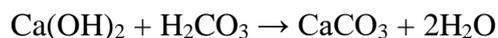
- *Préparation de la chaux:*



- *Formation de l'acide carbonique :*



- *Formation de précipité de carbonate de calcium :*



II.4.3 Filtration (Section 3)

Le sirop carbonaté est passé à travers une série de filtres à bougies (voir la figure II.3), un processus connu sous le nom de filtration. Cette étape vise à éliminer les carbonates de calcium en suspension dans le sirop. Le filtrat obtenu, débarrassé des impuretés, est envoyé vers l'étape suivante du processus de raffinage du sucre. La boue résiduelle, issue de la filtration du sirop carbonaté, n'est pas jetée. Elle subit un processus de désucrage, consistant à dissoudre le sucre qu'elle contient encore. La solution sucrée ainsi obtenue, appelée "petit jus", est ensuite filtrée à l'aide de filtres à presse. Enfin, la boue restante est lavée avec de l'eau chaude, ce qui permet de récupérer une quantité supplémentaire de sucre. Ce "petit jus" enrichi est utilisé dans la

préparation du lait de chaux, un élément important dans le processus de raffinage du sucre [17].



Figure II.3 : Filtres à bougies

II.4.4 Décoloration (Section 04)

Objectif de la décoloration :

Le processus de décoloration constitue une étape cruciale dans le raffinage du sucre. Son objectif principal est d'éliminer les colorants présents en faible concentration dans le sirop de sucre, afin d'obtenir un produit final d'une blancheur uniforme et d'une structure cristalline optimale [18].

Utilisation de résines échangeuses d'ions décolorantes :

La décoloration s'effectue au moyen de résines échangeuses d'ions décolorantes, une technologie récente dans le domaine du raffinage du sucre. Ces résines agissent comme des pièges à molécules, capturant les pigments colorants présents dans le sirop. Cette étape permet d'obtenir une décoloration maximale du sucre (voir la figure II.4) [18].

Régénération des résines et épuration des rejets :

Une fois saturées en pigments, les résines échangeuses d'ions doivent être régénérées pour pouvoir être réutilisées. Ce processus implique le passage d'une solution de saumure (une solution saline de NaCl et NaOH) à travers les résines, permettant d'éliminer les pigments capturés. Les rejets de la régénération, riches en

pigments, sont ensuite traités dans une station de nanofiltration. Cette étape permet d'épurer au maximum les effluents en éliminant les pigments résiduels, favorisant ainsi le recyclage de la saumure [15].



Figure II.4 : sirop décoloré

Grâce à la combinaison de résines échangeuses d'ions décolorantes et d'une station de nanofiltration, le processus de décoloration permet d'obtenir un sirop de sucre d'une blancheur impeccable et d'une pureté cristalline optimale, préparant ainsi le terrain pour les étapes ultérieures du raffinage [18].

II.4.5 Concentration (Section 5)

Concentration du sirop décoloré : avant de procéder à la cristallisation, le sirop décoloré doit subir une étape de concentration. Cette étape s'effectue dans un évaporateur à double circulation, qui permet d'augmenter la teneur en sucre du sirop jusqu'à atteindre 65% [19].

Fonctionnement de l'évaporateur : l'évaporateur utilise un système de chauffage indirect pour éliminer l'eau du sirop. Les vapeurs produites par l'évaporation sont récupérées et réutilisées pour les besoins de chauffage dans d'autres parties du processus [19]. Ce système permet de réduire la consommation d'énergie et d'améliorer l'efficacité du processus de raffinage.

Objectif de la concentration : l'objectif principal de la concentration est d'éliminer l'eau du sirop, augmentant ainsi sa teneur en sucre. Cela permet d'obtenir une solution plus concentrée, favorable à la cristallisation ultérieure du sucre [20].

Caractéristiques du sirop concentré : le sirop initial, avec une teneur en sucre d'environ 58° Brix (unité de mesure de la concentration en sucre), atteint une concentration de 78° Brix à la sortie de l'évaporateur. Ce sirop concentré présente également un taux de pureté de 93%, le rendant apte à la cristallisation [21].

II.4.6 Cristallisation

La cristallisation constitue l'étape ultime du processus de raffinage du sucre, marquant l'aboutissement de la quête de pureté. Avec la majeure partie des impuretés éliminées au cours des étapes précédentes, le sirop est désormais prêt à se transformer en cristaux de sucre purs [22].

Loin d'être une simple solidification, la cristallisation joue un rôle crucial dans la séparation des impuretés restantes du sirop. En effet, cette étape permet de distinguer le saccharose, la molécule de base du sucre, des impuretés qui n'ont pas été éliminées lors des étapes précédentes. Le saccharose, doté d'une structure cristalline spécifique, se transforme en cristaux distincts, tandis que les impuretés, incapables de s'organiser de la même manière, restent concentrées dans la phase liquide. Ce processus aboutit à la formation de deux produits distincts : les cristaux de sucre purs et une solution résiduelle appelée mélasse, riche en impuretés [22].

II.4.6 Cristallisation haut-produits (HP) (section 6)

La cristallisation du sucre se fait dans des appareils à cuire. L'eau est évaporée sous vide à environ 70°C, ce qui économise l'énergie et empêche la caramélisation du sucre. Elle est généralement effectuée en trois étapes appelées *jets*, chaque jet comprend lui-même trois étapes principales : la cuisson, le malaxage et l'essorage ou turbinage [2].

Le sirop d'alimentation du premier jet est appelé « *liqueur standard* », le sirop et les cristaux formés au cours de la cristallisation forment la « *masse cuite* », ce sirop qui entoure les cristaux prend le nom d'eau mère car il nourrit les cristaux. Lors de l'essorage, l'eau mère entourant les cristaux devient « *égout pauvre* », l'eau utilisée pour le clairçage (lavage) du sucre en centrifugeuse constitue « *l'égout riche* » [21].

La Cuisson : le sirop concentré est introduit dans les cuites pour sa cristallisation et est chauffé sous vide pour évaporer une partie de l'eau afin d'atteindre le point de saturation. A cet instant la semence (mélange de fines de sucre et d'alcool

isopropylique) est injectée dans le sirop vierge, cela va permettre d'amorcer la cristallisation [23]. Le sirop vient ensuite grossir ses germes qui deviennent des cristaux.

Le malaxage : cette étape consiste à agiter pendant un certain temps la masse cuite sortie des cuites, avant de la passer aux turbines. L'intérêt de cette opération est de compléter la formation des cristaux et de pousser l'épuisement de la liqueur mère [20].

Essorage ou turbinage : après malaxage, la masse cuite passe à travers les turbines pour séparer les cristaux de sucre de l'eau mère [20].

La masse cuite est ensuite essorée par la force centrifuge développée par les turbines. Les centrifuges tournent à 1400 tours à la minute. Les cristaux de sucre restent dans le tamis, tandis que les eaux mères s'en échappent. Lors du turbinage de la masse cuite pour séparer les cristaux, l'eau mère est tout d'abord évacuée, et prend le nom d'égout pauvre. Puis la surface des cristaux est lavée par pulvérisation d'eau. Le sirop issu du clairçage est donc nettement plus pur que le précédent égout, d'où son nom d'égout] riche. Le sucre obtenu est envoyé au séchage, et les égouts contenant encore du sucre cristallisable sont récupérées pour une nouvelle cristallisation. L'effluent final pas assez pur pour produire du sucre raffiné est envoyé à la cristallisation Bas-Produits [20].

II.4.7 Le séchage (section 7)

La section 7 du processus de raffinage du sucre se concentre sur une étape essentielle : le séchage du sucre humide. Après la centrifugation, le sucre obtenu contient une teneur en eau variant entre 0,1 et 1%, ce qui le rend vulnérable à la fermentation et à la dégradation en raison de la présence d'une pellicule de sirop saturé autour. Par conséquent, il est crucial de le sécher avant toute conservation [24].

Le processus de séchage se divise en deux étapes distinctes. Tout d'abord, le sucre humide est introduit dans un sécheur à tambour, où il est exposé à un courant d'air chaud et sec circulant en sens inverse de son mouvement. Cette méthode, connue sous le nom de séchage à contre-courant, permet d'éliminer l'humidité du sucre par évaporation, réduisant ainsi sa teneur en eau à environ 0,5%. Ensuite, le sucre chaud est transféré dans un sécheur à lit fluidisé pour le refroidir rapidement et uniformément grâce à un courant d'air ascendant [25].

L'air utilisé pour le séchage doit répondre à plusieurs critères pour garantir son efficacité et la qualité du processus. Il doit être sec pour faciliter l'évaporation de l'eau du sucre, chaud avec une température optimale d'environ 35°C, filtré pour éliminer les poussières et les impuretés, et en quantité suffisante, avec un volume d'air requis d'environ 1600 m³ par tonne de sucre [26].

Le séchage revêt une importance capitale dans le processus de raffinage du sucre, offrant plusieurs avantages. Tout d'abord, il permet de conserver le sucre en réduisant sa teneur en eau, ce qui prévient la fermentation et la dégradation, prolongeant ainsi sa durée de conservation. De plus, un sucre sec est plus facile à manipuler, à transporter et à stocker, tout en présentant une meilleure aptitude à la dissolution et à l'utilisation dans diverses applications alimentaires et industrielles [27].



Figure II.5 : Sécheur à tambour

II.4.8 La cristallisation des bas-produits (BP) (Section 8)

Elle constitue une étape essentielle dans le processus de récupération du sucre contenu dans les égouts provenant des cuites hautes puretés ou des égouts pauvres d'affinage, caractérisés par leur épuisement en sucre. Cette opération se déroule en trois étapes distinctes, à savoir des jets successifs dans des cuites, suivis de centrifugations [15].

Les cuites utilisées dans cette section sont similaires à celles utilisées pour la cristallisation HP. La première étape aboutit à la production d'un sucre, pouvant être séché et consommé comme sucre roux, ou fondu pour être réintégré au processus de

raffinage. Les deux autres jets servent quant à eux de moyens d'épuisement complémentaires [15].

L'égout final issu de la centrifugation de la masse cuite contient à la fois du non-sucre et une partie équivalente de sucre non cristallisable, appelée mélasse. Ce sous-produit peut être valorisé de différentes manières, notamment [15]:

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

II.4.9 Utilités (Section 9)

Les "utilités" désignent l'ensemble des besoins en fluides et en énergie nécessaires au bon fonctionnement d'une raffinerie de sucre. Elles englobent notamment la vapeur, l'eau, le gaz carbonique et les réseaux de vide. Le système d'utilités d'une raffinerie de sucre comprend plusieurs éléments clés : [14]

- Un poste de livraison d'électricité haute tension : ce poste reçoit l'électricité haute tension fournie par Sonelgaz. Il assure ensuite la transformation de cette électricité en moyenne tension pour la distribuer aux différentes sous-stations de la raffinerie.
- Une sous-station de transformation pour la raffinerie de sucre : cette sous-station abaisse la tension de l'électricité de 30 kV à 400 V. Elle est équipée de trois transformateurs pour garantir une alimentation fiable et sécurisée.
- Une station de production d'air comprimé : L'air comprimé est indispensable pour de nombreuses opérations dans la raffinerie, telles que le nettoyage des filtres, le transport pneumatique des produits et l'actionnement des vérins pneumatiques. La station de production d'air comprimé assure la génération et la distribution de cet air comprimé.
- Divers équipements auxiliaires : En plus des éléments mentionnés ci-dessus, les utilités d'une raffinerie de sucre comprennent également divers équipements auxiliaires tels que des chaudières, des générateurs de vapeur, des tours de refroidissement, des pompes à eau et des compresseurs. Ces équipements jouent un rôle crucial dans la production et la distribution des fluides et de l'énergie nécessaires au processus de raffinage.

Le système d'utilités est essentiel au fonctionnement optimal d'une raffinerie de sucre. Il fournit l'énergie et les fluides nécessaires à chaque étape du processus de raffinage, depuis la réception de la matière première jusqu'au conditionnement du sucre produit. Une gestion efficace des utilités permet de garantir : [14]

- La continuité de la production : Un approvisionnement fiable en électricité, en vapeur, en eau, en gaz carbonique et en vide est crucial pour maintenir la production en marche sans interruption.
- L'efficacité énergétique : Une optimisation de la consommation des fluides et de l'énergie permet de réduire les coûts d'exploitation et l'impact environnemental de la raffinerie.
- La sécurité des opérations : La mise en place de procédures de maintenance et de contrôle rigoureuses pour les installations des utilités garantit la sécurité du personnel et la protection de l'environnement

II.4.10 Maturation et conditionnement (Section 10)

La Section 09, consacrée à la Maturation et au Conditionnement, constitue une étape cruciale dans le processus de traitement du sucre. À ce stade, le sucre issu du séchage est soumis à un processus de tamisage, de classification et de pesage. Ensuite, il est dirigé vers les ateliers de conditionnement, où plusieurs options sont envisagées : le sucre peut être directement ensaché, conditionné en morceaux ou stocké en silos [28].

Le sucre destiné au stockage en silo présente une apparence sèche et fluide, mais il convient de noter que la cristallisation du sucre se poursuit pendant les premiers jours de stockage. Ce processus s'accompagne d'une libération d'eau, qu'il est nécessaire d'éliminer par ventilation des silos. Ainsi, cette étape de maturation et de conditionnement vise à garantir la qualité et la conservation optimales du sucre tout au long de son processus de traitement [28].

II.5 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté une vue d'ensemble du complexe Cevital. Nous avons abordé l'historique de l'entreprise, exploré ses diverses activités et décrit son organigramme. Ensuite, nous avons détaillé les procédés de raffinage du sucre roux.

Nous avons examiné en profondeur chaque étape du processus de raffinage, en soulignant les techniques utilisées et les équipements impliqués.

Chapitre III

Méthodologie, résultats et discussions

III.1 Introduction

Le raffinage du sucre est un processus industriel complexe qui nécessite une gestion minutieuse de l'eau et de l'énergie. La vapeur joue un rôle important dans ce processus, en fournissant la chaleur nécessaire pour chauffer, évaporer et concentrer le jus de canne à sucre. Cependant, cette vapeur ne se dissout pas entièrement dans le jus et une partie se condense, générant une quantité importante de condensats.

III.2 Les condensats et les bacs à condensats

III.2.1 Collecte des condensats

Les condensats provenant des diverses étapes du processus de raffinage, où la vapeur est utilisée pour chauffer ou évaporer les solutions sucrées, sont collectés dans un réservoir de stockage appelé *le bac à condensat*. Cela inclut les condensats des échangeurs de chaleur, des évaporateurs, et des cristalliseurs.

III.2.2 Rôle du bac à condensats

Le bac à condensats joue un rôle essentiel dans le raffinage du sucre en assurant la collecte, le stockage, le traitement et la réutilisation des condensats. Ces fonctions contribuent à plusieurs avantages clés pour l'usine :

a. Réutilisation de l'eau

Les condensats sont généralement de l'eau purifiée, ce qui les rend idéaux pour être recyclés et réutilisés dans le processus de production de vapeur. En collectant les condensats, l'usine peut réduire la consommation d'eau fraîche, ce qui est particulièrement important dans les régions où l'eau est une ressource limitée.

b. Économie d'énergie

Les condensats sont encore chauds lorsqu'ils sont recueillis. En réintroduisant cette eau chaude dans la chaudière, l'usine économise de l'énergie car moins de combustible est nécessaire pour chauffer l'eau à la température de vapeur requise. Cela améliore l'efficacité énergétique de l'usine.

c. Prévention de la corrosion

En maintenant un cycle fermé où les condensats sont recyclés, l'usine minimise l'introduction d'impuretés qui pourraient causer de la corrosion dans les équipements de chaudière et les systèmes de tuyauterie.

III.2.3 Fonctionnement du bac à condensats

Le fonctionnement du bac à condensats peut être résumé en quatre étapes principales :

1. Collecte : Les condensats provenant de différentes parties du processus de raffinage sont dirigés vers le bac à condensat par un réseau de tuyauteries.

2. Stockage : Le bac à condensat stocke temporairement ces liquides jusqu'à ce qu'ils soient pompés vers la chaudière ou une station de traitement.

3. Pompage : Des pompes spécifiques sont utilisées pour renvoyer les condensats à la chaudière ou à un système de traitement d'eau pour éliminer les impuretés si nécessaire.

4. Traitement : Si les condensats sont contaminés (par exemple, par des traces de sucre), ils peuvent être traités avant d'être réutilisés. Ce traitement peut inclure la filtration, l'évaporation ou d'autres méthodes de purification.

Dans une raffinerie de sucre comme Cevital, où l'eau est une ressource précieuse, le bac à condensat joue un rôle vital en assurant une gestion efficace et durable de l'eau. En récupérant et en réutilisant les condensats, l'usine peut non seulement économiser de l'eau et de l'énergie, mais aussi réduire les coûts opérationnels et minimiser l'impact environnemental.

Les bacs à condensat permettent de surveiller la qualité de l'eau condensée. Si des contaminants comme le sucre ou d'autres substances sont présents dans les condensats, ils peuvent être détectés et traités avant que l'eau ne soit réutilisée. Cela est particulièrement important dans le contexte de la problématique rencontrée dans la raffinerie de Cevital, où des traces de sucre ont été détectées dans les condensats. L'origine de ces traces n'est pas encore clairement établie, et des investigations sont en cours pour déterminer si elles proviennent d'une fuite dans un échangeur thermique, d'une mauvaise filtration des jus sucrés, ou d'une autre source. La présence de ces traces de sucre dans les condensats pose un problème car elle peut réduire l'efficacité de la réutilisation de l'eau, augmenter le risque de corrosion, et contribuer à la formation de dépôts dans les équipements

La présence de traces de sucre dans les condensats met en lumière l'importance d'un contrôle rigoureux de la qualité de l'eau et de la mise en œuvre de solutions efficaces pour éliminer les contaminants. En investissant dans des technologies de pointe et en adoptant des pratiques exemplaires, les raffineries de sucre peuvent garantir une utilisation durable de l'eau, une ressource précieuse pour l'industrie et pour l'environnement. C'est dans ce contexte que notre problématique s'inscrit. Pour apporter des réponses efficaces à cette problématique, nous avons opté pour une méthodologie basée sur la méthode PDCA (Ishikawa) que nous allons présenter et détailler dans la section qui va suivre et l'analyse par le test de Molish.

III.3. Méthodologie : La méthode PDCA (Ishikawa)

III.3.1 Définition

La méthode PDCA, également connue sous le nom de *cycle de Deming* ou *roue de Deming*, est une approche itérative de la gestion de la qualité et de l'amélioration continue des processus. PDCA est l'acronyme de Plan-Do-Check-Act, représentant les quatre étapes fondamentales de cette méthode :

Plan (Planifier) : Identifier et analyser le problème, définir les objectifs et élaborer un plan d'action pour atteindre ces objectifs.

Do (Faire) : Mettre en œuvre le plan d'action à petite échelle pour tester son efficacité.

Check (Vérifier) : Évaluer les résultats obtenus par rapport aux objectifs fixés. Analyser les données et tirer des conclusions.

Act (Agir) : Si le plan est couronné de succès, l'implémenter à plus grande échelle et standardiser la solution. Si des problèmes persistent, réviser et ajuster le plan avant de recommencer le cycle.

III.3.2 Historique

La méthode PDCA est souvent attribuée à William Edwards Deming, un statisticien américain qui a joué un rôle important dans l'introduction de concepts de gestion de la qualité au Japon après la Seconde Guerre mondiale. Bien que Deming ait popularisé cette méthode, elle a ses racines dans le travail de Walter A. Shewhart, un physicien et statisticien qui a introduit l'idée d'un cycle d'amélioration continue dans les années 1920.

Deming a adapté et simplifié le cycle de Shewhart, le transformant en une méthode pratique et largement applicable pour l'amélioration de la qualité. Les entreprises japonaises, notamment Toyota, ont adopté et intégré le cycle PDCA dans leurs pratiques de gestion, contribuant ainsi à l'essor de la qualité et de l'efficacité dans leurs opérations.

III.3.3 Utilité

La méthode PDCA est utilisée dans divers secteurs pour améliorer les processus, la qualité des produits et services, et pour résoudre des problèmes complexes. Voici quelques-unes de ses principales utilités :

Amélioration continue : Le PDCA offre un cadre structuré pour l'amélioration continue des processus. En répétant le cycle, les organisations peuvent continuellement identifier et éliminer les inefficacités.

Gestion de la qualité : Le PDCA est un pilier des systèmes de gestion de la qualité, tels que le TQM (Total Quality Management) et les normes ISO. Il aide à maintenir des standards élevés de qualité en encourageant une approche systématique et proactive de la gestion.

Résolution de problèmes : En décomposant les problèmes en étapes gérables et en utilisant des données pour vérifier les résultats, le PDCA facilite une approche rigoureuse et analytique pour résoudre les problèmes.

Innovation et développement : Le cycle PDCA permet de tester de nouvelles idées et innovations à petite échelle avant de les déployer plus largement, minimisant ainsi les risques.

Efficacité opérationnelle : En optimisant les processus et en réduisant les gaspillages, la méthode PDCA contribue à améliorer l'efficacité opérationnelle et à augmenter la productivité.

Engagement des employés : En impliquant les employés dans chaque étape du cycle, le PDCA favorise un sentiment d'appropriation et d'engagement envers les améliorations apportées.

L'analyse des causes racines, souvent appelée "diagramme d'Ishikawa" ou "diagramme en arêtes de poisson", est une méthode visuelle utilisée pour identifier, explorer et représenter les causes potentielles d'un problème particulier. Elle est souvent

utilisée en conjonction avec la méthode PDCA pour résoudre des problèmes complexes en identifiant les facteurs contributifs et en proposant des solutions efficaces.

III.3.4 Structure du diagramme en arêtes de poisson

Le diagramme en arêtes de poisson, développé par Kaoru Ishikawa dans les années 1960, est une représentation graphique qui ressemble à un squelette de poisson, d'où son nom. Le problème ou l'effet est placé à la tête du "poisson", et les causes potentielles sont classées en catégories principales, représentées par les "arêtes" principales du diagramme.

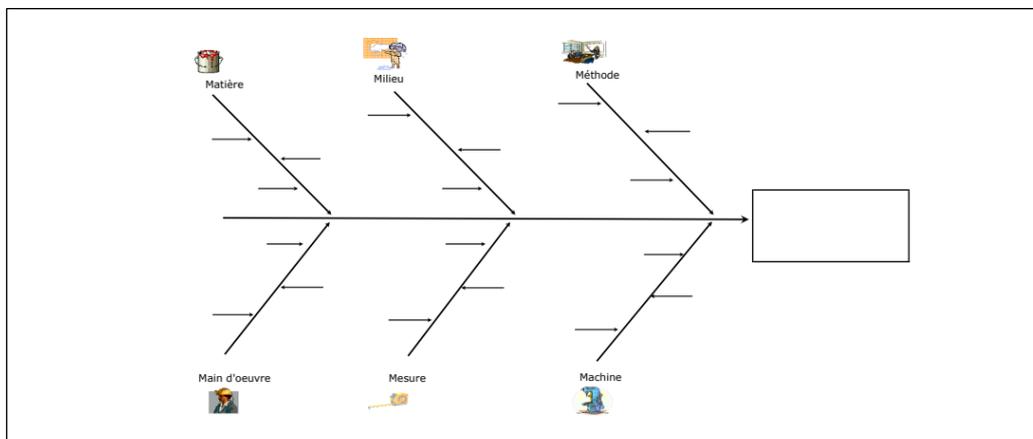


Figure III.1 : Diagramme en arête de poisson

Étapes pour Créer un diagramme en arêtes de poisson

Définir le problème : Identifier et formuler clairement le problème ou l'effet que vous souhaitez analyser. Écrivez-le à la tête du diagramme.

Identifier les catégories principales : Déterminer les grandes catégories de causes qui pourraient contribuer au problème. Ces catégories varient selon le contexte, mais dans l'industrie, elles incluent souvent :

- Machines (Équipements) : Problèmes liés aux machines et aux équipements utilisés.
- Main-d'oeuvre (Personnes) : Problèmes liés aux compétences, aux formations et aux actions des employés.

Méthodes (Procédures) : Problèmes liés aux processus, aux procédures et aux méthodes de travail.

Matériaux : Problèmes liés aux matériaux utilisés, y compris leur qualité et leurs caractéristiques.

Environnement : Problèmes liés à l'environnement de travail, tels que les conditions de température, d'humidité, etc.

Mesures : Problèmes liés aux systèmes de mesure et de contrôle de la qualité.

Identifier les causes potentielles : Pour chaque catégorie, énumérer les causes potentielles qui pourraient contribuer au problème. Les causes sont placées en branches secondaires à partir des arêtes principales.

Analyser et affiner : Examiner le diagramme pour identifier les causes les plus probables et hiérarchiser les actions à prendre pour résoudre le problème.

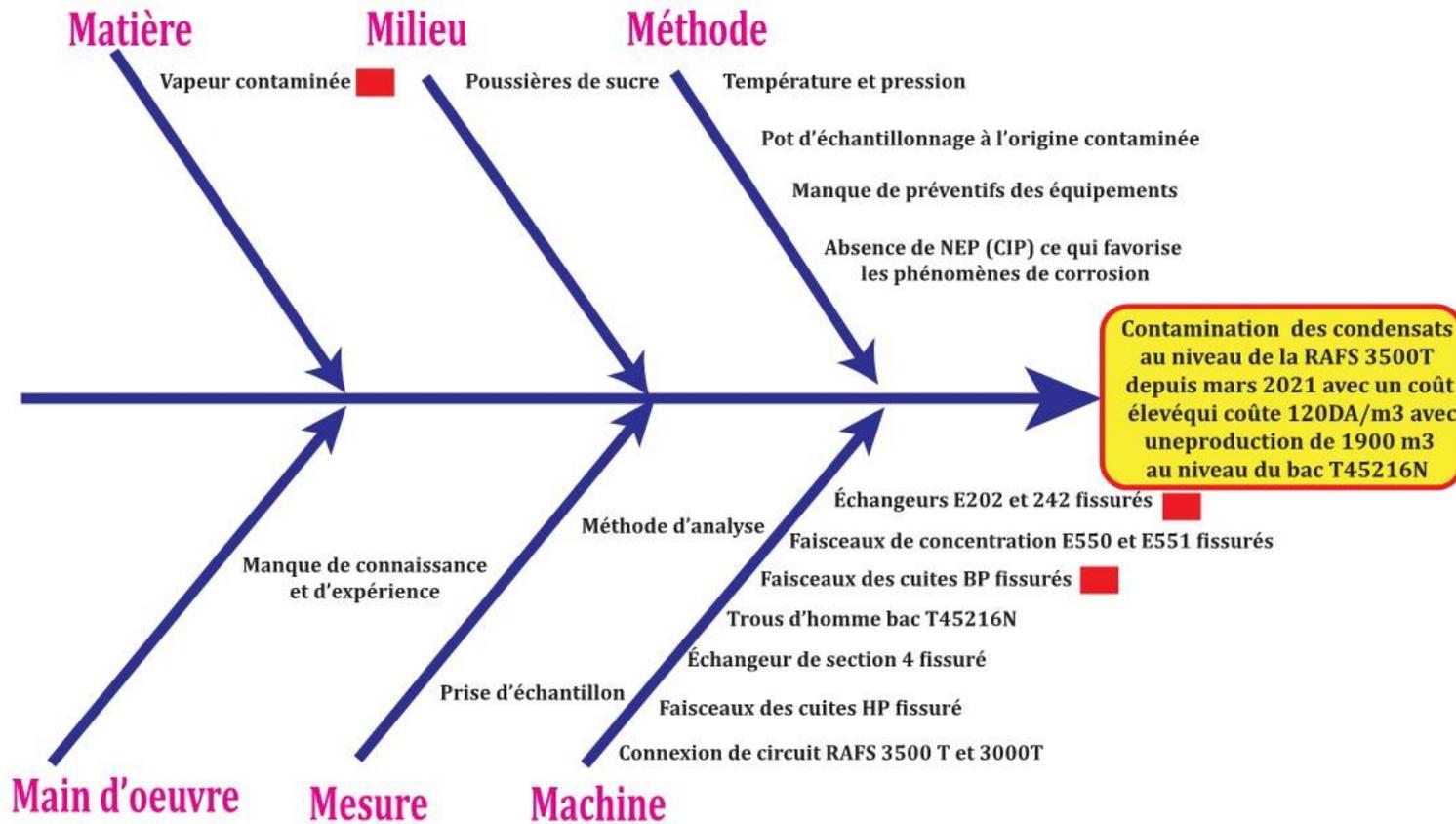


Figure III.2 : Diagramme d'arête de poisson a adapté à la problématique de contamination en trace de sucre.

III.4 Application du diagramme en arêtes de poisson

Dans le cadre de notre travail qui se focalise sur la localisation et l'élimination des traces de sucre dans les condensats contaminés, le diagramme en arêtes de poisson peut être utilisé pour analyser les différentes sources possibles de contamination :

Définir le problème : "Présence de traces de sucre dans les condensats."

Identifier les catégories principales :

Machines (Équipements) : Problèmes avec les échangeurs de chaleur, les pompes, les conduites, les cuites, les bacs.

Main-d'œuvre (Personnes) : Problèmes liés aux pratiques de nettoyage, à la formation des opérateurs.

Méthodes (Procédures) : Problèmes avec les procédures de maintenance et de nettoyage.

Matériaux : Qualité des matières premières, résidus de sucre.

Environnement : Température, conditions de stockage.

Mesures : Précision des instruments de mesure et des tests de contamination.

Identifier les causes potentielles : Pour chaque catégorie, lister les causes potentielles de contamination du condensat par le sucre.

Analyser et affiner : Utilisez les résultats des tests de Molish et d'autres analyses pour affiner les causes les plus probables et planifier les actions correctives.

En utilisant le diagramme en arêtes de poisson dans le cadre de la méthode PDCA, on peut structurer notre analyse des causes de contamination des condensats et élaborer des solutions pour améliorer le processus de raffinage du sucre chez Cevital.

Dans ce contexte, la méthode PDCA permet une approche systématique et structurée pour résoudre ce problème complexe. Voici comment chaque étape peut être appliquée :

Plan (Planifier) : Identifier les sources de contamination par le sucre dans les condensats. Développer un plan d'action basé sur l'analyse des échanges thermiques et des bacs, ainsi que sur les résultats des tests de Molish.

Do (Faire) : Mettre en œuvre des actions correctives à petite échelle, telles que des modifications des procédés de nettoyage des bacs ou des ajustements des paramètres opérationnels des échangeurs thermiques.

Check (Vérifier) : Évaluer l'efficacité des actions entreprises en analysant les condensats après les modifications. Utiliser des tests, comme le test de Molish, pour vérifier la présence de sucre.

Act (Agir) : Standardiser les solutions efficaces à l'échelle de l'ensemble de l'usine. Si des problèmes persistent, revoir le plan et apporter les ajustements nécessaires avant de relancer le cycle.

La méthode PDCA, combinée à une compréhension approfondie du rôle des bacs à condensats, offre une approche efficace et systématique pour résoudre le problème de contamination des condensats par des traces de sucre dans le processus de raffinage.

III.5 Cadrage de projet

Commençons par une méthode d'analyse par questionnaire appelée QQOCCP qui est un ensemble de questions simples qui permettent de se doter d'éléments factuels qui, une fois assemblés, permettent de constituer une représentation universelle d'un évènement, d'un problème, d'une situation ou d'un contexte. Cette représentation par questionnaire est représentée dans le tableau suivant :

Tableau III.1 : Méthode d'analyse par questionnement QQQOCCP

| | | |
|----------|---|---|
| Qui | Qui a le problème ? Qui est intéressé par le résultat ? Qui est concerné par la mise œuvre ? | Direction raffinerie 3500T |
| Quoi | De quoi s'agit-il? Quel est l'état de la situation ? Quel sont les caractéristiques ? Quel sont les conséquences ? | Présence des traces de sucre dans condensat (contamination des condensats) |
| Où | Où le problème apparaît-il ? Dans quel lieu ? Sur quelle machine ? | Bac 45216 (bac eau de process) |
| Quand | Quand le problème a-t-il été découvert ? Quel est sa fréquence ? | Depuis mars 2021 jusqu'à présent |
| Comment | Comment le phénomène s'est manifesté ? | D'après les analyses de laboratoire |
| Combien | Combien de fois cela s'est-il produit ? Combien ça coûte ? Combien coûte la non-résolution du problème ? | Ça coûte 120da /m ³ avec une production de 1900m ³ |
| Pourquoi | Pourquoi c'est un problème ? | Coûts (économique) ; écologique ; environnement |

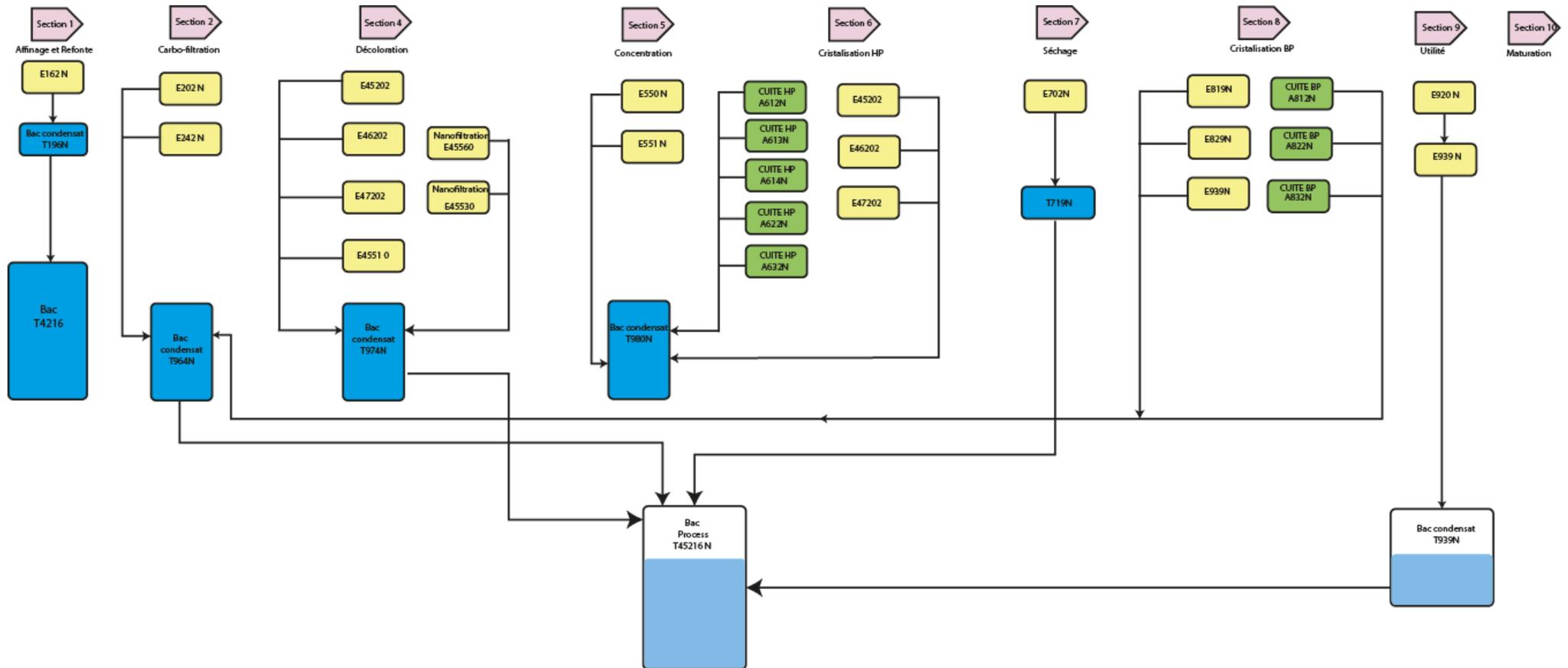


Figure III.3 : Cartographie avant le test

III.6 Le test de Molish

Le test de Molish est un outil précieux pour la détection rapide et qualitative des glucides dans divers contextes, y compris l'industrie de raffinage du sucre. Son intégration dans le processus de contrôle de la qualité permet de localiser les sources de contamination par les sucres dans les équipements et les condensats, contribuant ainsi à l'efficacité et à la durabilité des opérations industrielles [29].

III.6.1 Historique

Le test de Molish, du nom du biochimiste autrichien Hans Molish qui l'a développé en 1886, est une réaction qualitative utilisée pour détecter la présence de glucides dans une solution. Il s'agit d'une méthode classique en biochimie, souvent utilisée en raison de sa simplicité et de son efficacité pour identifier divers types de glucides, y compris les monosaccharides, disaccharides et polysaccharides [29].

III.6.2 Principe théorique

Le test de Molish repose sur la déshydratation des glucides par l'acide sulfurique concentré, produisant des composés intermédiaires tels que les furfurals. Ces composés réagissent ensuite avec le réactif de Molish (alpha-naphtol) pour former un complexe coloré violet, indiquant la présence de glucides [29].

III.6.3 Applications

Le test de Molish trouve des applications dans divers domaines :

Industrie Alimentaire : Contrôle de la qualité des produits alimentaires, détection de fraudes alimentaires, et vérification des procédés de purification des sucres.

Biologie et biochimie : Identification des glucides dans les études sur les plantes, les micro-organismes et les tissus animaux [30].

Industrie pharmaceutique : Analyse des ingrédients actifs et des excipients dans les formulations pharmaceutiques.

Raffinerie de sucre : Détection de la contamination par les glucides dans les équipements et les condensats pour assurer la qualité et l'efficacité des procédés.

III.6.4 Avantages du test de Molish

Simplicité et rapidité : Facile à réaliser et fournit des résultats rapidement.

Sensibilité : Capable de détecter de faibles concentrations de glucides.

Polyvalence : Applicable à une large gamme de types d'échantillons [30].

III.6.5 Inconvénients du test de Molish

Aspect qualitatif : Ne fournit pas de quantification précise de la concentration de glucides.

Interférences : Peut être affecté par d'autres substances présentes dans l'échantillon qui réagissent de manière similaire.

Réactivité avec l'acide : Le recours à l'acide sulfurique concentré nécessite des précautions de manipulation strictes pour éviter les brûlures et les réactions dangereuses [30].

III.7 Mode opératoire

Le sucre réagit avec l'alpha-naphtol et l'acide sulfurique pour donner une couleur violette, qui peut être utilisée pour estimer la quantité de sucre dans des solutions diluées. L'intensité de cette couleur violette, qui est proportionnelle à la concentration de sucre, est mesurée en le comparant à une série d'étalons de couleur en verre permanent Lovibond. Cette méthode a également été utilisée pour la détermination du sucre dans d'autres solutions diluées et pour la détermination du glucose dans le sang.

III.7.1 Réactifs requis

1. 20% de naphtol ($C_{10}H_7OH$ qualité réactif analytique) dans 95% d'alcool(C_2H_5OH).
Conserver dans une bouteille ambrée.
2. Acide sulfurique concentré (H_2SO_4 98%).



Figure III.4 : Alpha naphthol

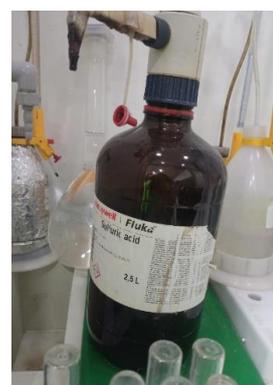


Figure III.5 : Acide sulfurique

III.7.2 Matériels utilisés :

Pour réaliser le test de Molish, le matériel utilisé est le suivant :

- Micro-pipette
- Tubes à essais
- Comparateur
- Pot d'échantillonnage



Figure III.6 : micro-pipette



Figure III .7: Pots d'échantillonnage

III.7.3 Le disque comparateur standard LOVIBOND 3/29A

Le disque comparateur standard LOVIBOND 3/29A est un outil utilisé principalement pour la mesure colorimétrique des concentrations de sucre en solution. Il est particulièrement apprécié dans les laboratoires de chimie analytique et dans l'industrie alimentaire pour son efficacité et sa précision.

a. Plage de mesure

Le disque couvre une plage de concentrations de sucre allant de 0 à 100 ppm (parties par million de sucre) et est calibré pour une utilisation avec une cellule de 5 mm, ce qui signifie que les mesures de concentration de sucre sont précises lorsque les échantillons sont analysés dans une cuvette ou une cellule optique de cette épaisseur.

b. Principe de fonctionnement

Le disque comparateur fonctionne sur le principe de la comparaison visuelle de couleurs :

1. Préparation de l'échantillon : L'échantillon de sucre à tester est placé dans une cuvette de 5 mm.
2. Comparaison colorimétrique : La cuvette contenant l'échantillon est insérée dans un comparateur LOVIBOND, un appareil conçu pour tenir le disque comparateur et permettre une observation précise. Le disque contient des segments de couleur correspondant aux différentes concentrations de sucre.
3. Lecture de la concentration : L'utilisateur fait tourner le disque jusqu'à ce que la couleur de l'échantillon corresponde à l'une des couleurs du disque. La concentration de sucre est alors lue directement sur le disque, en correspondance avec la couleur observée.

c. Avantages

- **Précision et Fiabilité** : La calibration précise pour une cellule de 5 mm assure des mesures fiables et reproductibles.
- **Simplicité d'Utilisation** : La méthode de comparaison visuelle est simple et rapide, permettant une analyse immédiate sur le terrain ou en laboratoire.
- **Pas de Besoin d'Équipements complexes** : Contrairement à d'autres méthodes de mesure, le disque comparateur ne nécessite pas d'équipement complexe ou coûteux.



Figure III.8 :
Comparateur Lovibond



Figure III.9: Disque de
comparaison de couleur

III.7.4 Préparation de l'échantillon :

Filtrer et/ou diluer l'échantillon si nécessaire.

Prélever 2 ml de l'échantillon préparé à l'aide d'une pipette et les transférer dans un tube à essai en verre.

a. Ajout du alpha naphthol (réactif 1) :

On Ajoute délicatement 5 gouttes du réactif 1 directement dans le liquide contenu dans le tube à essai. On mélange soigneusement la solution.

b. Ajout de l'acide sulfurique (réactif 2) :

- On fait couler lentement 5 ml d'acide sulfurique concentré (réactif 2) le long de la paroi du tube à essai, de manière à former une couche inférieure séparée sous le mélange initial.
- Après l'ajout complet de l'acide, mélanger délicatement en prenant toutes les précautions nécessaires lors de la manipulation de l'acide sulfurique concentré.
- On laisse le tube à essai reposer pendant 3 minutes pour permettre la réaction.
- On verse la solution obtenue dans une cellule du Comparateur de 5 mm.
- On laisse la solution reposer dans la cellule pendant 2 minutes supplémentaires.
- On place la cellule dans le compartiment manuel droit du Comparateur et on compare la couleur de l'échantillon avec les normes du disque, en utilisant une source standard de lumière blanche telle que le Lovibond White Light Cabinet ou, à défaut, la lumière naturelle du jour côté nord.

III.8 Discussion

Des échantillons ont été prélevés de chaque bac pouvant être potentiellement contaminé et soumis au test de Molish décrit ci-haut. Les bacs concernés par ce test sont les suivants :

- Bac T964N (section 2)
- Bac 939N (section 9)
- Bac T196N (Section 1)
- Bac T974 N (section 4)
- Bac T980N (section 5)
- Bac T719N (section 7)
- Bac T45216N (Bac tampon)

Nous rappelons que selon les normes requises par la raffinerie de Cevital, une teneur inférieure à 5mg/L peut être interprétée comme une non-contamination en trace de sucre. Les résultats donnés par le test de Molish pour les différents bacs sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau III.2 : Résultats obtenus par le test

| Échantillons des bacs | Localisation | Teneur en sucre mg/L | Observation |
|-----------------------|--------------|----------------------|--------------------------------------|
| Bac T964N | Section 2 | < 5 | Présence de quelques traces de sucre |
| Bac T939N | Section 9 | > 100 | Contaminé |
| Bac T196N | Section 1 | 0 | Non-contaminé |
| Bac T974 N | Section 4 | 0 | Non-contaminé |
| Bac T980N | Section 5 | 0 | Non-contaminé |
| Bac T719N | Section 7 | 0 | Non-contaminé |
| Bac T45216N | Bac tampon | > 100 | Contaminé |

Les bacs contaminés sont illustrés avec une couleur rouge sur la cartographie présentée sur la figure (III.10).

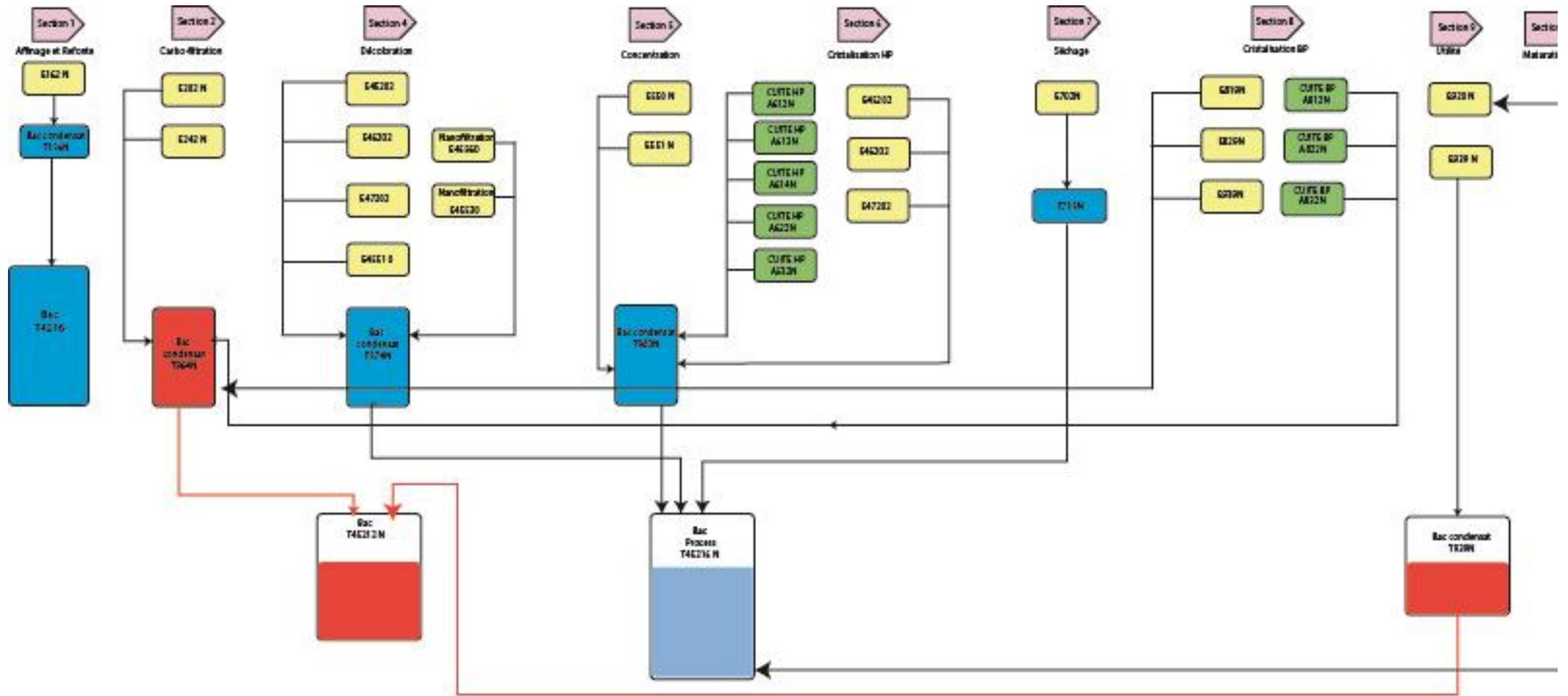


Figure III.10 : Cartographie après le test

Le bac T196N : ce bac figure dans la section 1, section de de l'affinage et de la refonte. Il reçoit le condensat provenant de l'échangeur E162N dont le rôle est de chauffer le sirop de refonte (dont la température varie de 80 à 85 °C) avec une vapeur d'eau provenant de la cogénération. Le T196N reçoit donc une vapeur condensée. Le test de Molish effectué au niveau de ce bac révèle l'absence totale de toute trace de sucre. Par conséquent, ce résultat montre également la non-contamination de l'échangeur E162N.

Le bac T964N : ce bac figure dans la section 2, une étape qui concerne la carbo-filtration. Au cours de cette étape, le sirop carbonaté et filtré passe de l'échangeur E202N à l'échangeur E242N vers le T964N. Tel que nous l'avons rapporté dans le tableau (III.1) le test de Molish a montré que le T964N contient une teneur en sucre qui n'excède pas les 5 mg/L ce qui signifie qu'il est légèrement contaminé, mais une contamination « acceptable ». Après le constat de la contamination du T964N nous avons examiné visuellement les deux échangeurs cités. Il a été remarqué les deux échangeurs sont dans un état défectueux, présentant des fissures sur les parois. Nous pensons que ces fissures pourraient être l'origine de cette légère contamination. Par ailleurs, nous soupçonnons également l'état de la paroi intérieure qui relie des deux échangeurs. Cependant, à notre portée, nous avons eu aucun moyen pour vérifier cette hypothèse.

Le T964N est également relié aux trois échangeurs (E839N, E829N, E819N) ainsi que les cuites BP. De même, nous avons examiné les trois échangeurs et nous avons constaté leurs états défectueux. Les trois échangeurs sont fissurés. Ils pourraient être l'origine de la contamination. Concernant les cuits, il ne nous a pas été possible de vérifier leur état en raison de l'accès difficile aux zone susceptible d'être source de contamination, cependant, selon quelques photographies fournies par Cevital (figure III.11), ces cuits semblent être dans un mauvais état, donc, une éventuelle source de contamination



Figure III.11 : Photographie des cuits BP (source Cevital)

Le bac T974N : il s'agit du bac de la section (4), la section où l'on procède à la décoloration du sirop. Le T974N relié à quatre échangeurs (HE45202, HE46202, HE47202, HE45510) et deux échangeurs de nanofiltration (HE45530 et HE45560). Ce bac est soumis au test de Molish et les résultats ont révélé qu'il n'est pas contaminé. De ce fait, les échangeurs que nous venons de citer ne sont pas contaminés.

Le bac T980N : c'est le bac qui est utilisé dans la section (5) et section (6), respectivement, les étapes de concentration et de cristallisation HP. Le T980N est relié aux échangeurs E550N, E551N, E615N, E625N et E635N et les cuit HP. Le teste de Molish pour ce bac a montré que ce dernier n'est pas contaminé. Ce qui signifie également la non-contamination des échangeurs cités et les cuits également.

Le bac T719N : c'est la section(7) relative à l'étape du séchage. Le T719N est relié à un seul échangeur E702N. Aucune trace de sucre n'a été détectée par le test de Molish , ce qui confirme la contamination du T719N et aussi l'échangeur E702N

III.9 Recommandations pour surmonter les problèmes de contamination de sucre

a. Renforcement de la maintenance préventive

Inspections Régulières : Mettre en place un programme d'inspections régulières des équipements, en particulier des échangeurs de chaleur et des systèmes de filtration, pour identifier et réparer les fissures ou défauts structurels avant qu'ils ne causent une contamination.

Remplacement des composants défectueux : Remplacer systématiquement les composants usés ou défectueux des équipements, tels que les joints d'étanchéité, pour prévenir les fuites de sucre.

b. Amélioration des procédures de nettoyage

- Utiliser des systèmes de nettoyage automatisés pour nettoyer efficacement les équipements sans les démonter, garantissant ainsi un nettoyage complet et fréquent des systèmes de production.
- Développer et suivre des protocoles de nettoyage améliorés et plus fréquents pour les équipements critiques, en s'assurant que tous les résidus de sucre sont éliminés.

c. Formation et sensibilisation du personnel

Formation continue : Offrir une formation continue aux opérateurs et techniciens sur les bonnes pratiques de maintenance, de nettoyage et de manipulation des équipements pour minimiser les risques de contamination.

Sensibilisation à la qualité : Sensibiliser le personnel à l'importance de la qualité et de l'hygiène dans le processus de production, et les encourager à signaler toute anomalie ou défaut observé.

d. Optimisation des processus de production

Contrôle des paramètres de processus : Optimiser les paramètres de processus (température, pression, débit, etc.) pour minimiser les risques de contamination et améliorer l'efficacité des échanges thermiques et des filtrations.

Analyse de risques : Effectuer une analyse de risques régulière des différentes étapes du processus de production pour identifier les points critiques de contrôle et mettre en place des mesures correctives appropriées.

e. Amélioration des équipements et technologies

Technologies Avancées de filtration : Adopter des technologies de filtration plus avancées et plus fiables, telles que les membranes de nano filtration, pour améliorer la qualité de l'eau et des condensats.

Échangeurs de chaleur modernes : Investir dans des échangeurs de chaleur de nouvelle génération, conçus pour minimiser les risques de fuites et de contamination.

f. Surveillance et contrôle en continu

Systèmes de surveillance en temps réel : Installer des systèmes de surveillance en temps réel pour détecter immédiatement toute contamination ou fuite dans les équipements, permettant une intervention rapide.

Contrôles qualité accrus : Augmenter la fréquence des contrôles qualité des condensats et des produits finis pour garantir la conformité aux normes de qualité.

g. Collaboration avec des experts externes

Collaborer avec des experts en ingénierie, en maintenance industrielle et en procédés de fabrication du sucre pour obtenir des conseils spécialisés et des recommandations sur les meilleures pratiques à adopter.

III.10 Conclusion

Cette étude s'est attachée à diagnostiquer et localiser les sources de contamination par des traces de sucre dans les condensats des différentes sections de la raffinerie de sucre de l'entreprise Cevital. À travers l'application méthodique du test de Molish, nous avons pu obtenir des résultats précis qui révèlent des points critiques nécessitant une attention particulière.

Les résultats du bac T196N ont montré l'absence totale de traces de sucre, ce qui confirme la non-contamination de l'échangeur E162N dans la section dédiée à l'affinage et à la refonte. Ce constat indique que les processus impliquant cet échangeur se déroulent sans fuites ni défauts susceptibles de causer une contamination.

En revanche, le bac T964N a révélé une légère contamination avec une teneur en sucre de 5 mg/L. Cette section, qui couvre la carbo-filtration, a mis en évidence des défauts structurels, notamment des fissures dans les échangeurs E202N et E242N, pouvant expliquer cette contamination. Cette observation souligne l'importance de la maintenance régulière et des inspections approfondies pour prévenir toute fuite de sucre dans les condensats.

Le bac T974N, utilisé dans la section de décoloration du sirop, n'a pas montré de contamination, ce qui confirme l'intégrité des échangeurs HE45202, HE46202, HE47202, HE45510, et des échangeurs de nano filtration HE45530 et HE45560. Ce résultat positif témoigne de l'efficacité des processus de cette section et de l'absence de défauts dans les équipements concernés.

De manière similaire, le bac T980N, utilisé dans les étapes de concentration et de cristallisation HP, a été testé sans révéler de traces de sucre. Ceci indique que les échangeurs E550N, E551N, E615N, E625N, E635N et les cuits HP fonctionnent de manière optimale sans fuites de sucre.

Enfin, le bac T719N, relié à l'échangeur E702N dans la section de séchage, a également montré une absence totale de contamination, confirmant la non-contamination de l'échangeur et l'efficacité des processus de cette section.

Cependant, nous n'avons pas pu inclure dans cette étude la section 9 et le bac T939N, en raison d'une confusion lors de la collecte des données. Néanmoins, il est important de noter que ce bac a révélé une contamination significative avec une teneur en sucre supérieure à 100 mg/L. Cela souligne la nécessité de conduire des investigations supplémentaires pour identifier les sources de contamination dans cette section et de mettre en place des mesures correctives adéquates.

Conclusion

Cette étude s'est attachée à diagnostiquer et localiser les sources de contamination par des traces de sucre dans les condensats des différentes sections de la raffinerie de sucre de l'entreprise Cevital. À travers l'application méthodique du test de Molish, nous avons pu obtenir des résultats précis qui révèlent des points critiques nécessitant une attention particulière.

Les résultats du bac T196N ont montré l'absence totale de traces de sucre, ce qui confirme la non-contamination de l'échangeur E162N dans la section dédiée à l'affinage et à la refonte. Ce constat indique que les processus impliquant cet échangeur se déroulent sans fuites ni défauts susceptibles de causer une contamination.

En revanche, le bac T964N a révélé une légère contamination avec une teneur en sucre de 5 mg/L. Cette section, qui couvre la carbo-filtration, a mis en évidence des défauts structurels, notamment des fissures dans les échangeurs E202N et E242N, pouvant expliquer cette contamination. Cette observation souligne l'importance de la maintenance régulière et des inspections approfondies pour prévenir toute fuite de sucre dans les condensats.

Le bac T974N, utilisé dans la section de décoloration du sirop, n'a pas montré de contamination, ce qui confirme l'intégrité des échangeurs HE45202, HE46202, HE47202, HE45510, et des échangeurs de nanofiltration HE45530 et HE45560. Ce résultat positif témoigne de l'efficacité des processus de cette section et de l'absence de défauts dans les équipements concernés.

De manière similaire, le bac T980N, utilisé dans les étapes de concentration et de cristallisation HP, a été testé sans révéler de traces de sucre. Ceci indique que les échangeurs E550N, E551N, E615N, E625N, E635N et les cuits HP fonctionnent de manière optimale sans fuites de sucre.

Enfin, le bac T719N, relié à l'échangeur E702N dans la section de séchage, a également montré une absence totale de contamination, confirmant la non-contamination de l'échangeur et l'efficacité des processus de cette section.

Cependant, nous n'avons pas pu inclure dans cette étude la section 9 et le bac T939N, en raison d'une confusion lors de la collecte des données. Néanmoins, il est important de noter que ce bac a révélé une contamination significative avec une teneur en

sucre supérieure à 100 mg/L. Cela souligne la nécessité de conduire des investigations supplémentaires pour identifier les sources de contamination dans cette section et de mettre en place des mesures correctives adéquates.

Références bibliographiques

- [1] : Bonie. *Cours de technologies industrielles : l'usine agroalimentaire*. École Polytechnique Universitaire de Lille. 2004.
- [2] : Arzate. *Extraction et raffinage du sucre de canne*. Revue de l'Acer (Centre de recherche, de développement et de transfert technologique en acériculture), Saint-Norbert-d'Arthabaska, 25 novembre. 2005.
- [3] : <https://www.franceagrimer.fr/filiere-sucre>.
- [4] : <https://www.cirad.fr/canne-à-sucre/plantes-et-usages>.
- [5] : <https://www.wikiphyto.org/wiki/canne-a-sucre>.
- [6] : <https://www.fao.org/faostat/en/>.
- [7] : <https://www.nhbs.com/sugarcane-physiology-biochemistry-functional-biology-book>.
- [8] : INC. *Les différents types de sucres* (Institut National De La Consommation). 1966.
- [9] : M., Mathlouthi et P., Reiser. *Le saccharose : Production, propriétés et utilisations*.1995.
- [10] :J.-P., Combe et A., Guyader .*Saccharose : Un sucre aux multiples facettes* .Quae ,Versailles, France . 2007
- [11] J.-L. Courel et G., Marchesseau.*Sucres et édulcorants : Aspects nutritionnels et technologiques* .Tec & Doc –Lavoisier ,Paris ,France.2010.
- [12] : A. Moeller et al.*Saccharose :A sweet molecule of great importance* .Journal of Agricultural and Food Chemisty ,57(11),4538-4554 .2009
- [13] : J.T., Brosnan et al.*Saccharose metabolism and health : A review of the evidence* .Critical Reviews in Food science and Nutrition, 53.(4).2013.
- [14] : Manuel interne Cevital.
- [15] : Manuel opératoire Cevital. 2008.
- [16] : Mebarki H. et Hocini H. *Raffinage du sucre roux à la raffinerie CEVITAL : Sur l'étude d'un critère de la qualité, la couleur*.
- [17] : Manuel opératoire Cevital. 2006.
- [18] : Theoleyre M.A., Cartier S. et Decloux M. *Couplage de la décoloration et de la nanofiltration des éluants de régénération en raffinerie de canne*. Association AVH, 6^{ème} Symposium, Reims. 1999.
- [19] : Manuel opératoire des connaissances générales (MCG) Cevital. 2009.
- [20] : Hugot. *La sucrerie de canne : carbonatation*. Ed. tec & Doc, 3^{ème} Ed.. Lavoisier, France. 1987.

- [21] : Mathlouthi M. et Barbara R. Chapitre 9 : *Sucreries de canne*, dossier CEDUS - l'Université de Reims. 2004.
- [22]: McNeil, 2004
- [23]:Cartier, 1999
- [24]: Asadi M. Beet-Sugar Handbook. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, USA. 2007.
- [25] : Manuel opératoire des connaissances générales (MCG) Cevital. 2001.
- [26] : Schrevel G. Interaction eau–saccharose et conséquences sur le séchage, la maturation et le stockage du sucre cristallisé. Association AVH, 8ème Symposium, Université de Reims. 2001.
- [27] Frédéric ,2004
- [28] : Decloux M. *Procédés des transformations en sucrerie*, techniques de l'ingénieur, 2003
- [29] :J.H. FOULGER “*The use of the molisch (a-naphthol) reactions in the study of sugars in biological fluids*”.1931
- [30] :G. Bronchard, *Chimie organique appliquée à l'analyse des substances naturelles* Ed. Dunod, 1967

Résumé : *Ce mémoire porte sur l'étude des sources de contamination par des traces de sucre dans les condensats des différentes sections de la raffinerie de sucre de l'entreprise Cevital. L'objectif principal était de diagnostiquer ces sources et de proposer des solutions pour éliminer ces traces, assurant ainsi la qualité et l'efficacité des processus de production. L'étude s'est concentrée sur plusieurs sections critiques de la raffinerie, utilisant le test de Molish pour détecter les traces de sucre. Les résultats ont montré une absence totale de contamination dans certains bacs, tels que le bac T196N, confirmant la non-contamination de l'échangeur E162N. En revanche, d'autres sections ont révélé des niveaux de contamination significatifs, notamment le bac T964N avec une teneur en sucre de 5 mg/L, mettant en évidence des fissures dans les échangeurs E202N et E242N. De plus, une contamination majeure a été identifiée dans le bac T939N avec une teneur en sucre supérieure à 100 mg/L, nécessitant des investigations supplémentaires. La présente étude souligne l'importance d'une maintenance régulière et d'inspections approfondies pour prévenir les fuites de sucre. Les résultats positifs obtenus dans certaines sections témoignent de l'efficacité des processus et de l'intégrité des équipements. Cependant, les contaminations détectées dans d'autres sections suggèrent que l'état défectueux des échangeurs pourrait être une cause majeure, nécessitant des mesures correctives appropriées.*

Mots –clé : *Raffinerie de sucre, Condensats, Test de Molish, Traces sucres, Recyclage des effluents*

Abstract : *This work focuses on the study of sources of contamination by sugar traces in the condensates of various sections of the sugar refinery at Cevital. The main objective was to diagnose these sources and propose solutions to eliminate these traces, thereby ensuring the quality and efficiency of the production processes. The study concentrated on several critical sections of the refinery, using the Molish test to detect sugar traces. The results showed a total absence of contamination in some tanks, such as tank T196N, confirming the non-contamination of exchanger E162N. Conversely, other sections revealed significant levels of contamination, particularly tank T964N with a sugar content of 5 mg/L, highlighting cracks in exchangers E202N and E242N. Additionally, a major contamination was identified in tank T939N with a sugar content exceeding 100 mg/L, requiring further investigations. This study emphasizes the importance of regular maintenance and thorough inspections to prevent sugar leaks. The positive results obtained in some sections demonstrate the effectiveness of the processes and the integrity of the equipment. However, the contaminations detected in other sections suggest that the defective state of the exchangers could be a major cause, necessitating appropriate corrective measures.*

Keywords: *Sugar Refinery, Condensates, Molish Test, Sugar Traces, Effluent Recycling*