



Année Universitaire : 2014-2015

Filière ingénieurs Industries Agricoles et Alimentaires



Rapport de stage de fin d'études

Etude et optimisation des opérations de régénération des résines de décoloration du sirop de sucre à COSUMAR

Réalisé par:

Mlle. ELBAZ AHLAM

Encadré par:

- Mr. OUTIFA Soufiane (COSUMAR-Casablanca)
- P^r. OUZZANICHAHDI Fouad (FST Fès)

Présenté le 30 JUIN 2015 devant le jury composé de :

- P^r. OUZZANICHAHDI Fouad (FST Fès).
- Mr. OUTIFA Soufiane (COSUMAR Casablanca).
- P^r. A. EL GHAZOUALI (FST Fès).
- P^r. S. EL ABED (FST Fès).

Stage effectué à : COSUMAR-Casablanca.

Dédicaces

*A ma chère mère et mon cher père, aucune dédicace ne saurait exprimer mon
grand amour,*

Ma vive gratitude, mon intime attachement et ma profonde affection.

*Je ne saurais et je ne pourrais vous remercier pour tout ce que vous avez fait et
faites pour moi.*

*Que Dieu tout miséricordieux vous bénisse, vous protège et vous accorde une
longue vie pleine de bonheur, joie et santé.*

A mes frères Oussama et Ouassim.

*Ce travail est le témoignage de mon profond amour fraternel. Que Dieu vous
protège et vous aide.*

A toute ma famille

A mes chers amis

A tous ceux qui me sont chers.

Remerciements

Tout d'abord je remercie Allah pour tous les bienfaits qu'Il m'a accordés et pour le courage qu'il m'a attribué afin de compléter ce stage.

Je remercie aussi mes Parents pour leur soutien moral et matériel pendant toute ma vie et surtout durant mes études.

Au terme de ce travail, j'ai le plaisir d'exprimer mes sincères Remerciements et ma haute gratitude à toutes les personnes qui m'ont aidé à réaliser ce travail et envers qui je me sentirai reconnaissant durant toute ma vie.

*Je tiens à exprimer ma gratitude et présenter mes chaleureux remerciements à mon encadrant **Mr. S. OUITFA** responsable de service sirop de la **COSUMAR**, de m'avoir donné l'opportunité d'effectuer ce stage de projet de fin d'études au sein de cet établissement, ainsi pour l'encadrement, l'écoute, ses explications et ses conseils et pour avoir mis tous les moyens qui ont facilité notre intégration.*

*Mes gratitudes vont à **Mr F. OUZZANI CHAHDI**, professeur à la faculté des sciences et techniques de Fès, pour son encadrement et son soutien durant l'élaboration de ce travail, à **Mr. LAZRAQ**, le directeur de la filière des industries agricoles et alimentaires.*

J'adresse mes vifs remerciements à tous mes professeurs.

*Je remercie aussi les membres du jury : **Pr. F. OUZZANI CHAHDI**, **Pr. M. A. EL GHAZOUALI** et **Pr. M. S. EL ABED**, de m'avoir fait l'honneur de juger ce travail.*

*Mes profondes gratitudes et remerciements s'adressent également à **Mr. Younes Mohamed** pour ses précieux conseils et ses visions critiques des choses et à tous les membres de l'unité de décoloration, **Mrs. Daoudi Adil**, **Said Akzdam**, **Sajid Abdallah**, et **Elbouyahyaoui Idrissi Mehdi** qui m'ont beaucoup aidé dans la réalisation de mon stage.*

Avant propos

Toute connaissance théorique qu'on peut acquérir tout au long d'une formation, doit être adaptée à la réalité professionnelle.

En entamant cette nouvelle expérience, on prend conscience des difficultés pouvant entraver la carrière professionnelle.

Ce travail, duquel j'ai tiré un grand profit, s'est déroulé au sein de l'entreprise COSUMAR de CASABLANCA. En outre, ce stage m'a permis une bonne adaptation avec le monde industriel.

Liste des figures

Figure 1: Organigramme hiérarchique de COSUMAR.....	4
Figure 2: diagramme de fabrication de sucre blanc.....	6
Figure 3 : silo de stockage du sucre brut à la raffinerie COSUMAR.....	7
Figure 4 : Représentation schématique de billes de résines échangeuses d'anions.....	13
Figure 5 : Image des trois colonnes de la station 110 m ³ /h.....	16
Figure 6 : Schéma de la chaine de décoloration (colonnes 110).....	16
Figure 7 : Schéma de la chaine de décoloration (colonnes 35).....	16
Figure 8: Schéma de la fosse à saumure.....	20
Figure 9 : Unité de Nanofiltration.....	21
Figure 10: Principe de fonctionnement de la nanofiltration.....	21
Figure 11: Evolution du Brix au cours de l'ensucrage.....	26
Figure 12 : Evolution du Brix pendant le Dessucrage.....	27
Figure 13 : Echantillons du Dessucrage.....	28
Figure 14 : Evolution de NaCl au cours de la régénération de la colonne.....	29
Figure 15: Prises des échantillons de régénération.....	30
Figure 16: Evolution de NaOH au cours de la régénération de la colonne.....	30
Figure 17: Evolution de NaCl au cours de la régénération de la colonne après modification.....	34
Figure 18: Evolution de NaOH au cours de la régénération de la colonne après modification.....	35
Figure 19 : Schéma du bilan de matière de NaCl.....	38
Figure 20 : Schéma du bilan de matière de NaCl.....	39

Liste des tableaux

Tableau 1 : Résine échangeuse de cations fortement acide	11
Tableau 2 : Résine échangeuse de cations faiblement acide	11
Tableau 3 : Résine échangeuse d'anions fortement basique	12
Tableau 4 : Résine échangeuse d'anions faiblement basique	12
Tableau 5 : Les Résines chélatantes et sélectives.....	13
Tableau 6: Tableau récapitulatif des étapes de la décoloration	19
Tableau 7: Volumes de régénération et leurs destinations	22
Tableau 8 : Volumes de régénération avec nanofiltration et leurs destinations	22
Tableau 9 : représente la moyenne des suivis de dessucrage	27
Tableau 10: Moyenne des essais de la régénération	28
Tableau 11: Gain total de la régénération	33
Tableau 12 : Volumes actualisés des étapes de la régénération avec nanofiltration	34
Tableau 13 : Evolution du Brix au cours de l'ensucrage de l'essai 1.....	42
Tableau 14 : Evolution du Brix au cours de l'ensucrage de l'essai 2.....	42
Tableau 15: Evolution du Brix au cours de l'ensucrage de l'essai 3.....	43
Tableau 16 : représente la moyenne des suivis de l'ensucrage.....	43
Tableau 17 : Evolution du Brix en fonction du volume d'eau chaude du premier essai.....	44
Tableau 18 : Evolution du Brix en fonction du volume d'eau chaude de deuxième essai.....	44

Tableau 19 : Evolution du Brix en fonction du volume d'eau chaude de troisième essai.....	44
Tableau 20 : Evolution du Brix en fonction du volume d'eau chaude du quatrième suivi.....	44
Tableau 21 : Concentration de NaCl et de NaOH du premier suivi avec un perméat de : NaCl (g/L)= 130g/L et NaOH (%)=1.2%.....	45
Tableau 22 : Concentration de NaCl et de NaOH du deuxième suivi avec un perméat de : NaCl (g/L)= 170g/L et NaOH (%)=1.4%.....	46
Tableau 23 : concentration de NaCl et de NaOH du troisième suivi avec un perméat de :NaCl (g/L)= 180g/L et NaOH (%)=1.76%.....	47
Tableau 24 : Concentration de NaCl et de NaOH du quatrième suivi avec un perméat de : NaCl (g/L)= 120g/L et NaOH (%)=1.4%.....	48
Tableau 25 : Concentration de NaCl et de NaOH du cinquième suivi avec un perméat de : NaCl (g/L)= 120g/L et NaOH (%)=1.6%.....	49
Tableau 26 : Concentration de NaCl et de NaOH du seizième suivi avec un perméat de : NaCl (g/L)= 155g/L et NaOH (%)=1%.....	50
Tableau 27: Résultats du suivi de la régénération après modification des paramètres.....	51

Liste des annexes

Annexe I : Résultats des suivis de l'ensucrage.

Annexe II : Résultats des suivis de dessucrage.

Annexe III : Résultats des suivis de la régénération.

Annexe IV : Résultats de validation des propositions.

Liste des abréviations

CEFT : Corps Evaporateur Flow Tomb

CMM : Conditionnement Marceaux et Manufacture

COSUMAR : Compagnie sucrière marocaine et de raffinage

°C : Celsius

m³ : Mètre cube

m : Masse

ONA : Omnium Nord-Africain

pH : Potentiel Hydrogène

PDAH : Produits de Dégradation Alcaline des Hexoses

QR : Quantité récupérée (perméat).

QP : Quantité d'appoint

SAC: Strongly Acidic Cation Exchange Resins

SBA: Strongly Basic Anion Exchange Resins

T° : Température

V: Volume

Vv : Volume versé

WAC: Weakly Acidic Cation Exchange Resins

WBA: Weakly Basic Anion Exchange Resins

ρ : Masse volumique

Sommaire

Introduction Générale	1
------------------------------------	---

PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE 1 : Présentation de la société et processus de raffinage	3
--	---

I. Présentation de la COSUMAR.....	3
1. Historique de l'entreprise.....	3
2. Les sociétés de COSUMAR.....	4
3. Organigramme hiérarchique de l'entreprise.....	4
4. Gamme des produits.....	5
II. Procédé de raffinage.....	6
1. Diagramme de raffinage.....	6
2. Description du processus	7
2.1. Réception.....	7
2.2. Affinage.....	7
2.3. Epuration	8
2.4. Décoloration	8
2.5. Evaporation	9
2.6. Cristallisation	9
2.7. Séchage et stockage.....	9
I. Procédé de la décoloration	15
1. Etapes de la décoloration.....	17
2. Les équipements	19
3. La Nanofiltration	21
4. Régénération des stations	22
4.1.Régénération par saumure basique	22
4.2.Régénération par nanofiltration	23
4.3.Dépollution acide.....	23

PARTIE PRATIQUE

CHAPITRE 3 : Optimisation de la décoloration au sein de la station 11.....24

I. Méthodologie	24
1. Procédure d'analyse.....	24
2. Les analyses effectuées.....	24
II. Résultats et Interprétations	26
1. Ensucrage	26
2. Dessucrage.....	27
3. Régénération.....	28
III. Optimisation du fonctionnement.....	31
1. Dessucrage.....	31
2. Régénération.....	33
3. Validation des propositions.....	34
IV. Bilan matière de NaCl et de NaOH.....	35
1. Bilan matière de NaCl et de NaOH lors la régénération des résines des colonnes de décoloration	35
2. Bilan matière de NaCl et NaOH de Nano filtration.....	36
Conclusion générale.....	40
Références bibliographique.....	41
Anexxe I.....	42
Annexe II.....	44
Annexe III.....	45
Annexe IV.....	51

Introduction générale

L'industrie sucrière est l'une des plus anciennes industries agro-alimentaires. Cette industrie mobilise d'importants secteurs industriels notamment les sucreries qui produisent le sucre brut à partir de betterave ou de canne à sucre et les raffineries qui transforment le sucre brut en sucre raffiné, c'est un secteur promoteur vu le besoin croissant en sucre et ses coproduits d'une part, d'autre part vu l'importance de cet élément nutritif pour la croissance humaine. La consommation du sucre au Maroc atteint une moyenne de 35 kg par habitant et par an, cette consommation est largement supérieure à la moyenne mondiale qui est de l'ordre de 20 kg.

Au niveau national, la Compagnie Sucrière Marocaine de Raffinage -*COSUMAR*- est la première entreprise dans ce secteur d'activité et qui domine le terrain de l'industrie sucrière marocaine. La *COSUMAR*, ambitionne encore à élargir sa productivité, développer les méthodes de la fabrication, et à assurer sa mise à niveau par l'optimisation de ses moyens humains, techniques et matériels en vue de subvenir au besoin du marché tout en minimisant la consommation d'énergie, d'eau et de réactifs.

La station de décoloration consomme quotidiennement des quantités considérables en eau et en saumure pour régénérer les résines en désorbant les colorants, ces derniers sont jetés dans la mer d'où la nécessité d'installer une unité de nanofiltration pour traiter ces rejets des colonnes afin de limiter la pollution de l'environnement et récupérer une fraction importante en NaCl et NaOH contenus dans les rejets pour être réutilisés lors de la régénération. Une étude ayant pour objectif de minimiser les dites consommations.

Par ailleurs, la régénération des résines est effectuée en passant une saumure alcaline à travers le lit de résines pour désorber les colorants, cette opération est une phase très coûteuse pour l'entreprise, et déterminante de la qualité de sucre blanc.

Dans ce cadre mon projet élaboré durant la période de stage effectué au sein de la *COSUMAR*- portera sur «**Etude et Optimisation des étapes de régénérations des résines de décoloration du sirop de sucre**» dans un but d'établir des suivis sur les étapes de la régénération des résines, d'étudier les paramètres de la régénération en vue de limiter les pertes en eau et réactifs tout en préservant l'état de bonne marche de la station.

Ce travail sera traité comme suivant :

- Établissement d'un suivie.
- Propositions pour minimiser les pertes et la consommation.
- Etablissement du bilan de matière et calcul des pertes.

Ce rapport est constitué de trois chapitres :

- Le premier chapitre donne dans un premier lieu un bref descriptif de l'entreprise COSUMAR puis décrit son processus de raffinage de sucre.
- Le deuxième chapitre comportera l'étude bibliographique dans laquelle nous allons donner un aperçu général sur la résine et décrire les installations de décoloration.
- Le troisième chapitre sera dédié à l'étude pratique du procédé de décoloration sur résines afin de donner des propositions pour minimiser les pertes et la consommation.

Introduction

Ce chapitre présentera dans sa première partie, la raffinerie COSUMAR de Casablanca en mettant le point sur son historique, son organisation et ses produits.

Dans sa deuxième partie on abordera les différentes étapes du processus de fabrication de sucre au sein de la société.

I. Présentation de la COSUMAR

Le groupe COSUMAR (Compagnie Sucrière Marocaine de Raffinage), est une Entreprise Leader sur le marché national du sucre, elle est cotée en bourse des valeurs de Casablanca à partir de 1988. Ses métiers de raffineur du sucre brut importé et de conditionneur du sucre sous toutes ses formes : morceaux, lingots, granulés et pains, La production s'effectue selon deux procédés :

- La transformation de la plante sucrière plantée localement, canne à sucre et betterave à sucre, en sucre blanc.
- Le raffinage de sucre brut acheté depuis le marché mondial en sucre blanc.

1. Historique de l'entreprise

- La COSUMAR a été fondée en Avril 1929 sous le sigle « COSUMA» par la société SAINT-LOUIS de Marseille, pour une capacité de production quotidienne de 100 tonnes de sucre par jour.
- Au 1er janvier 1967, des accords entre l'Etat Marocain et COSUMA ont donné naissance à l'appellation «COSUMAR». La participation de l'état dans capital était de 50% et la production de 900 tonnes par jour.
- En 1985, L'ONA « Omnium Nord-Africain» a participé avec 55% du capital de la COSUMAR. Le reste étant détenu par :
 - La Société Nationale d'Investissement SNI (11%)
 - La Caisse Interprofessionnelle Marocaine de Retraite CIMR (10%)
 - Le Fonds Marocain de Placement (7%).
 - Les petits porteurs (4%).
 - AL WATANYA (1%).
- En 1993, fusion de la raffinerie avec les sucreries de Doukkala (Sidi Bennour et Zémamra).
- En 2005, elle devient l'opérateur national de l'industrie sucrière par l'acquisition des quatre sociétés sucrières nationales ex publiques : SURAC, SUTA, SUCRAFOR et SUNABEL.

2. Les sociétés de COSUMAR

La COSUMAR est présente sur tout le territoire marocain à travers ses cinq sociétés :

- ➔ **COSUMAR S.A** : la raffinerie de Casablanca, et les sucreries de Doukkala ;
- ➔ **SUNABEL** : le groupe des Sucreries de betterave du Gharb et du Loukkos ;
- ➔ **SURAC** : les sucreries raffineries de canne ;
- ➔ **SUCRAFOR** : la sucrerie raffinerie de l’Oriental ;
- ➔ **SUTA** : la sucrerie de Tadla.

3. Organigramme hiérarchique de l’entreprise

L’organigramme hiérarchique de la compagnie sucrière marocaine et de raffinage est représenté dans la figure 1, en mentionnant dans laquelle les différentes sous direction de la société.

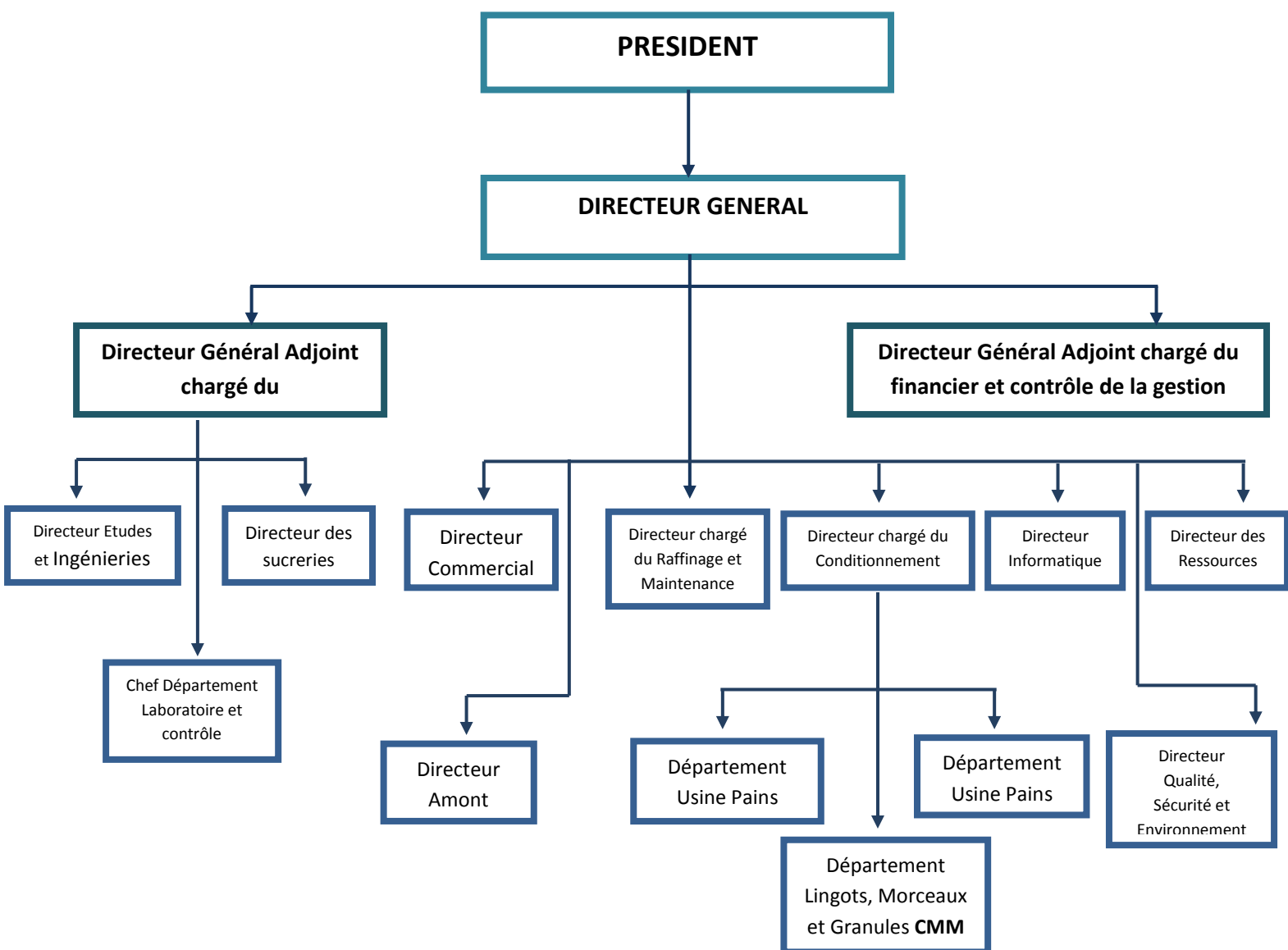


Figure 1: Organigramme hiérarchique de COSUMAR

4. Gamme des produits

Son rôle est le raffinage du sucre brut en provenance de l'étranger puis le conditionnement sous différentes formes :

- ◆ Pains de sucre.
- ◆ Lingots et morceaux.
- ◆ Granulés.

- **Pain à sucre :**

le pain de sucre est utilisé pour la préparation du thé et représente 54% de la production, son emballage est en papier (2kg), puis en carton de 24kg.



- **Le sucre lingot :**

le lingot est utilisé traditionnellement pour préparer le thé et le café. Il est commercialisé en boîte de 1 kg et en fardeau de 5kg.



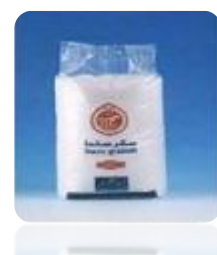
- **Le sucre morceau :**

Utilisé principalement pour sucrer le café, il constitue avec le lingot un pourcentage de 27% de la production et est commercialisé en boîte de 1kg et en fardeau de 5kg.



- **Le sucre granulé :**

Sa production journalière étant de 19%, et emballé dans du polyéthylène en sachets de 2 kg regroupés par 6, 12 ou 15 et sacs de 50 Kg.



- **Les coproduits :**

Ce sont les sous-produits qui résultent du raffinage du sucre : La mélasse est une solution très pauvre en sucre qu'on n'a pas pu extraire, elle est destinée à l'export et est utilisée comme substrat pour la fabrication de levures.



II. Procédé de raffinage

1. Diagramme de raffinage

Les étapes de fabrication du sucre blanc sont schématisées dans le diagramme suivant :

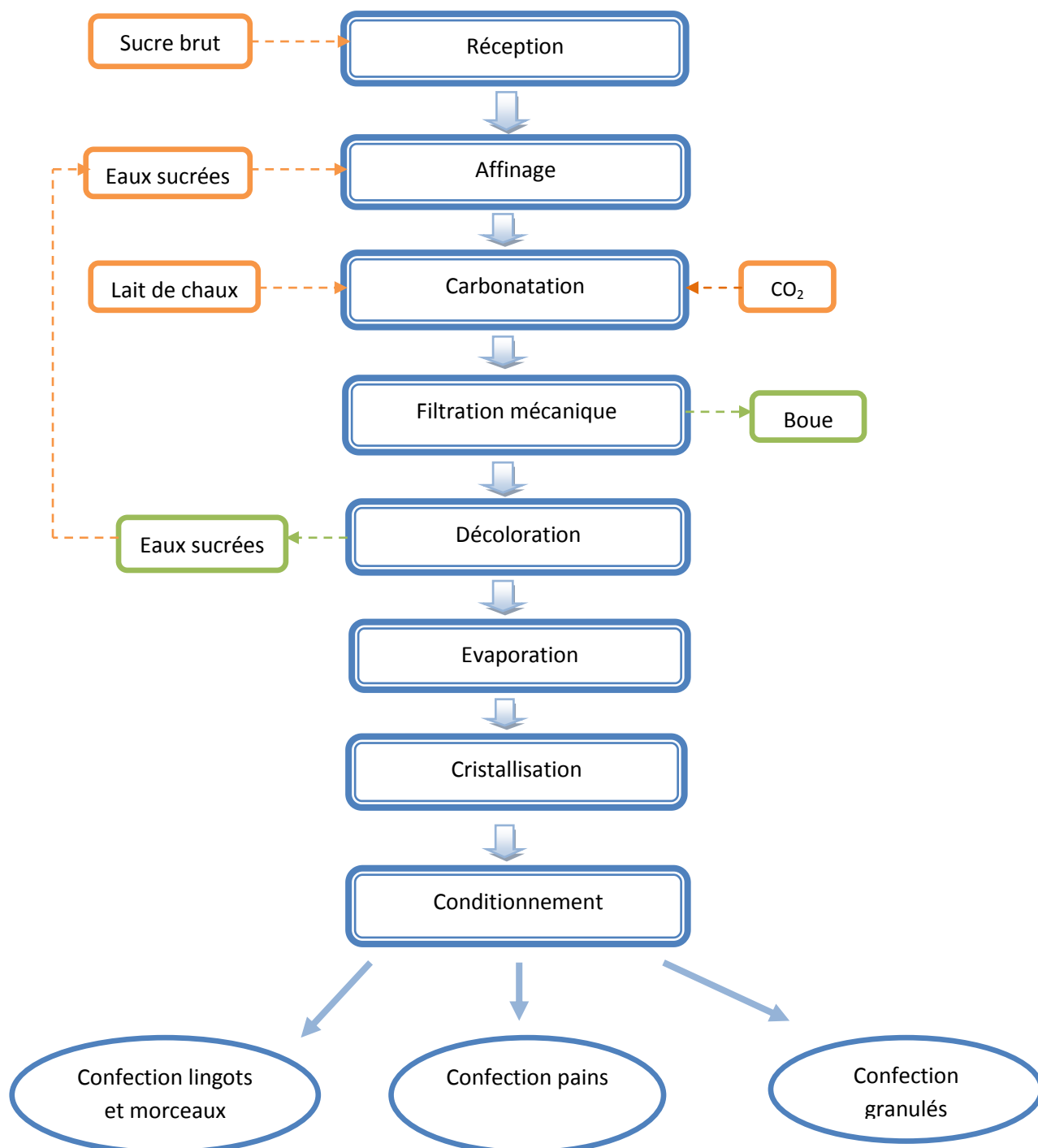


Figure 2: diagramme de fabrication de sucre blanc.

2. Description du processus

Le raffinage est le procédé qui permet d'obtenir à partir du sucre brut (mélange de saccharose et de non-sucre) un sucre raffiné le plus pur possible et une mélasse contenant le maximum d'impuretés venant du sucre brut et le minimum de sucre. Et ce, dans des conditions les plus économiques possibles : économie d'énergie et des pertes en sucre.

Pour bien comprendre le processus et le principe de raffinage du sucre brut, il faut comprendre le parcours que le sucre roux effectue dès son arrivée à la raffinerie.

2.1 Réception

Une fois le sucre brut est réceptionné, Le pesage se déroule sur un pont à bascule. Après la pesée, un échantillon du chargement est prélevé afin d'être analysé. On cherche par cette opération à évaluer la qualité du sucre par la détermination de certaines caractéristiques telles que le taux d'amidon, humidité, coloration, pH...

Le camion sera déchargé dans une trémie et transporté à l'aide des bandes transporteuses pour être stockés dans des silos dont la capacité est de 75 00 tonnes, dans le cas où le sucre livré correspond aux engagements figurant au cahier des charges (Figure3).



Figure 3 : silo de stockage du sucre brut à la raffinerie COSUMAR.

2.2. Affinage

Le but est de débarrasser les cristaux de sucre brut des impuretés. Elle comporte deux étapes :

➤ Empâtage

Le sucre est transféré vers l'empâteur grâce à des bandes transporteuses munies d'un aimant pour éliminer les matières métalliques.

Puis un tamis pour isoler les grosses impuretés (pierres, insectes, plastique...). Le sucre brut tamisé passe à un empâteur, dans laquelle on rajoute une solution des « eaux sucrées » afin de former une pâte qui sera fondé par la suite .

➤ **Fonte du sucre affiné**

La masse cuite issue de l'empattage est poussée vers un premier fondoir où on lui ajoute de l'eau sucrée chauffée à 60°C pour atteindre un Brix de 65%. Puis vers un deuxième fondoir pour régler son brix à 63%. Le mélange est envoyé vers des échangeurs à plaques afin de régler sa viscosité et revient au même fondoir.

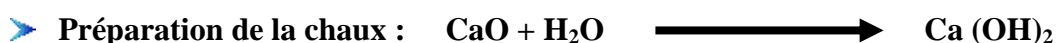
Le mélange passe ensuite par un deuxième échangeur pour avoir une température de 75-80°C, puis vers le troisième fondoir pour faciliter l'extraction des impuretés internes durant l'épuration. Le sirop obtenu est appelé « fonte commune ».

2.3. Epuration

Dont le but est d'éliminer les impuretés qui ont été emprisonnées dans les cristaux du sucre, et qui après la fonte se trouvent libres dans le sirop. Deux opérations sont indispensables : carbonatation et la décoloration.

➤ **Carbonatation :**

Cette étape a pour but de précipiter les impuretés incluses dans le système cristallin de sucre, et une grande partie des matières colorantes par addition du lait de chaux et dioxyde de carbone en formant un précipité de carbonate de calcium suivant les réactions suivantes :



➤ **Formation de précipité de carbonate de calcium :**



A la fin de la carbonatation, le sirop obtenu est appelé «une commune carbonatée ».

➤ **Filtration mécanique :**

La filtration vise à éliminer les impuretés internes qui sont précipitées lors de la carbonatation par séparation liquide solide à l'aide des filtres afin de séparer le sirop et le précipité de la carbonatation.

Le filtrat résultant est appelé « commune filtrée ».

2.4. Décoloration

Cette opération permet l'élimination des impuretés restant dans la commune filtrée qui n'étaient pas éliminées au niveau de la carbonatation.

Pour atteindre l'objectif de la décoloration, on utilise une résine anionique fortement basique comme adsorbant de ces impuretés.

2.5. Evaporation

Cette étape a pour but de concentrer et augmenter le brix du sirop venant de la décoloration en le réchauffant et l'évaporant pour le préparer à l'étape suivante qui est la cristallisation.

À la sortie des colonnes, la raffinade (sirop décoloré) se trouve avec une pureté de l'ordre 99.5% et un brix de 63, à ce niveau, elle est prête à être cristallisée, mais il est intéressant dans un souci d'économie d'énergie d'évaporer une quantité d'eau afin d'augmenter son brix de 63 à 74 . Pour réaliser cette opération, L'évaporation se fait dans deux évaporateurs **CEFT** 2400 et 1600 (Colonne d'Evaporation à Flot Tombant) (Doc. COSUMAR).

2.6. Cristallisation

Comme l'évaporation avait pour rôle de concentrer le sirop en produisant des cristaux de sucre à partir du sirop issu de l'évaporation. Les non-sucre sont concentrés dans une solution épuisée : la mélasse.

La cristallisation s'effectue dans des cuites fonctionnant sous vide, ces cuites assurent la transformation du sirop en masse cuite (égout mère + cristaux de sucre) par évaporation.

2.7. Séchage et stockage

Le sucre humide est séché à l'air chaud et sec, puis refroidi par de l'air froid et sec. Le sucre est ensuite stocké dans des silos dont l'air est conditionné en température et en humidité afin d'éviter la prise en masse.

Introduction

La coloration constitue un critère important de jugement de qualité du sucre, c'est aussi un handicap majeur qui affecte la qualité du sucre blanc produit, et de plus la présence des colorants dans le sirop réduit la vitesse de cristallisation en empêchant le saccharose de se cristalliser et donc une perte en sucre. A noter que la majorité des cendres sont éliminées par l'affinage et par la carbonatation, d'où la décoloration est très importante dans le processus du raffinage du sucre.

Le procédé d'échange ionique est largement utilisé lors de la décoloration du sirop par les raffineurs de sucre en utilisant des systèmes modernes d'échanges d'ions. C'est un échange réversible d'ions entre un solide et un liquide, échange qui s'effectue sans modification substantielle de la structure du solide, appelé résine.

I. Généralités sur la Résine

1. Description de résine échangeuse d'ion

Ce sont de minuscules billes de plastique, d'un diamètre d'environ 0,6 mm. Ces billes sont poreuses et contiennent de l'eau, invisible et inamovible. La structure de la résine est un polymère (comme tous les plastiques) sur lequel un ion fixe a été fixé de façon permanente. Cet ion ne peut pas être enlevé ou remplacé, il fait partie de la structure. Pour préserver la neutralité électrique de la résine, chacun de ces ions fixes doit être neutralisé par un contre-ion de charge opposée. Ce contre-ion est mobile et peut sortir de la résine ou y entrer.

Les résines échangeuses d'ions sont constituées par un squelette macro moléculaire de poids moléculaire élevé. Cette structure est souvent constituée, par des polymères de la famille des styrènes, des divinylbenzène ou encore de polymères acryliques, qui assurent l'insolubilité en eau de la résine et agissent comme support des groupes fonctionnels caractérisant ainsi les propriétés de la résine.

Ce squelette macro moléculaire donne également à cette résine des caractéristiques mécaniques de résistance au frottement, à la compression, à l'élasticité et à la résistance chimique et thermique permettant de supporter les diverses sollicitations au cours de leurs emploi. Les principales caractéristiques qui se dégagent entre les diverses qualités des résines d'échangeuses d'ions sont essentiellement :

- La qualité du groupe fonctionnel caractéristique.
- La nature d'un ion mobile.

Si une résine est appelée « échangeur cationique », l'ion mobile est un cation (en général Cl^- ou OH^-). A travers la connaissance du polymère employé et du groupe fonctionnel présent, il est ainsi possible de caractériser la résine.

2. Types de résine

Tableau 1 : Résine échangeuse de cations fortement acide.

Groupe fonctionnel	$-\text{SO}_3^- \text{H}^+$ Acide Sulfonique
Rôle	-Sous forme de sodium, élimine le calcium et Magnésium -Sous forme d'hydrogène, élimine tous les cations, utilisée comme des catalyseurs acides.
Exemples	-Amberjet TM 1000 Na (uniform). -Dowex TM Marathon C (uniform). -Lewatit TM Monoplus S100 (uniform). -Amberlite TM IR120 Na (conventional).
Capacité typique totale	1.9 to 2.2 eq/L [Na^+]

Tableau 2 : Résine échangeuse de cations faiblement acide.

Groupe fonctionnel	$-\text{COOH}$ Acide Carboxylique
Rôle	-Sous forme d'hydrogène, élimine les ions bivalents (calcium et magnésium).
Exemples	- Amberlite TM IRC86 - Dowex TM MAC3 - Lewatit TM CNP80
Capacité typique totale	3.7 to 4.5 eq/L [H^+]

Tableau 3 : Résine échangeuse d'anions fortement basique.

Groupe fonctionnel	$-\text{N}(\text{CH}_3)_3^+ \text{OH}^-$ Ammonium Quaternaire
Rôle	- Sous forme d'hydroxyle, élimine tous les anions. - Sous forme de chlorure, élimine les nitrates et les sulphates.
Exemples	<ul style="list-style-type: none"> - Amberjet™ 4200 Cl (uniform) - Amberlite™ IRA402 Cl (conventional) - Lewatit™ M500 (conventional)
Capacité typique totale	1.0 to 1.5 eq/L [Cl ⁻]

Tableau 4 : Résine échangeuse d'anions faiblement basique.

Groupe fonctionnel	$-\text{N}(\text{CH}_3)_2$ Amines
Rôle	Elimine les chlorures, sulphate, nitrate et les autres anions des acides forts, mais elle n'élimine pas les acides faibles (SiO ₂ and CO ₂).
Exemples	<ul style="list-style-type: none"> - Amberlite™ IRA96 - Dowex™ Marathon MWA - Lewatit™ Monoplus MP64
Capacité typique totale	1.1 to 1.7 eq/L [free base]

Tableau 5: Les Résines chélatantes et sélectives.

Groupe fonctionnel	Plusieurs types		
Rôle	Élimine les métaux, l'acide borique et les perchlorates.		
Exemples	Fonction	Type de résine	Ion éliminé
	Triethylammonium	Amberlite PWA5	NO ₃
	Thiol	Ambersep GT74	Hg, Cd...
	Amino phosphonique	Amberlite IRC747	Ca from brine
	Immuno diacétine	Amberlite IRC748	Ni, Cu...

3. Résine échangeuse d'anions (ammonium quaternaire)

La bille échangeuse d'anions a un squelette très semblable. Les groupes fonctionnels sont ici des ammoniums quaternaires, donc des cations, représentés par la formule N^+R_3 ; une formule plus précise serait $CH_2-N^+-(CH_3)_3$ qui constitue la matrice organique (le support de l'échangeur).

Les ions mobiles présents dans la bille d'échangeur d'anions sont ici des anions chlorure (Cl^-) (Figure 4). La forme chlorure est également la forme de livraison de beaucoup d'échangeurs d'anions. Tout ion pénétrant dans la résine produit la sortie d'un ion de même charge pour préserver l'électroneutralité. C'est ce que l'on appelle l'échange d'ions. Seuls les ions de même signe sont échangés. La porosité de la matrice est élevée, ce qui permet d'avoir une surface d'échange maximale. Des agents de réticulation permettent de donner plus de cohésion à la structure.

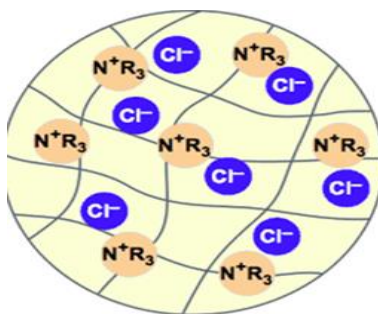
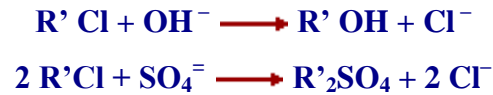


Figure 4 : Représentation schématique de billes de résines échangeuses d'anions.

Une résine échangeuse d'anions sous forme Cl^- peut éliminer tous les anions :



Où R' représente la résine échangeuse d'anions. Tous les anions sont remplacés par des ions hydroxyde (OH).

À la fin du processus d'échange, les billes de résine ont fixé tous les anions présents dans la solution et les ont remplacés par des ions OH^- ions. Les résines sont presque entièrement saturées.

II. Les colorants du sucre

La coloration est due à des produits qui peuvent provenir de :

- ✚ La matière première (canne à sucre),
- ✚ La formation au cours du processus de raffinage pour les raisons suivantes :
 - pH élevé : dégradation du saccharose en libérant la molécule du fructose et glucose.
 - Température élevée : caramélisation.
 - Les interactions entre les non sucres.

La coloration du sirop filtré est due aux impuretés contenues dans la commune filtrée qui peuvent être :

- ❖ Des matières colorantes.
- ❖ Des cendres et des sels dissous.
- ❖ Des matières colloïdales.

Ces colorants sont des composés organisés, se présentant sous forme de macromolécules polymérisées de haut poids moléculaire, ils sont principalement :

- ✚ Les caramels 30%.
 - ✚ Les mélanoides 18%.
 - ✚ Les P.D.A.H 50%.
 - ✚ Les flavonnes 0.5%.
 - ✚ Colorants divers 1.5%.
- **Les Caramels**

Ce sont des polymères colorés, aromatiques, neutres et faiblement acides, formés au cours du raffinage par les réactions de brunissement non enzymatiques (caramélisation), favorisées par les températures élevées.

Ces réactions ne font intervenir que les sucres réducteurs (glucose, fructose issus de l'inversion de saccharose), ces composés se dégradent, se condensent et se recombinent pour donner les caramels.

➤ **Les Mélanoïdes**

Ce sont des composés insolubles de couleur brun-noir chargés négativement, formés suite à la réaction de Maillard avec dégagement de CO₂. Elles résultent de l'action combinée entre un groupement carbonyle C=O, (d'un aldéhyde ou d'une cétone provenant d'un sucre réducteur), et un groupement amine NH₂ (d'un acide aminé ou d'une protéine).

➤ **Les PDAH : Produits de Dégradation Alcaline des Hexoses**

Ce sont des colorants chargés positivement résultant de la dégradation des monosaccharides (hexoses, pentoses, tétroses ou trioses) en milieu alcalin. Leur nom tient du fait qu'en sucrerie, les monosaccharides prédominants sont les hexoses. Cette dégradation entraîne la fabrication d'acide lactique, d'acide humique..., puis une coloration jaune-brunâtre.

Les PDAH sont aussi des amphotères ayant des propriétés d'acide fort et des propriétés de base faible.

➤ **Les Flavones**

Ce sont des colorants naturels composés anthocyaniques caroténoïdes, existant dans la cellule de la canne à sucre et que l'on retrouve dégradés en toute petite quantité.

Ces matières exercent un effet négatif sur le processus technologique et sur la qualité du produit fini. C'est pourquoi une opération de décoloration s'avère nécessaire.

III. Procédé de la décoloration

La COSUMAR dispose de deux stations de décoloration sur résines échangeuses d'ions, l'une a une capacité de 110 m³/h travaille en parallèle (Figures 5 et 6) et l'autre de 35m³/h travaillent en série (Figure 7). Chaque station contient trois colonnes et comporte deux compartiments contenant deux types de résines: une résine anionique forte et une résine inerte qu'on appelle copolymère et qui sert à éviter le blocage des crépines par la résine anionique. Leur alimentation en sirop se fait du bas vers le haut.



Figure 5 : Image des trois colonnes de la station 110 m³/h.

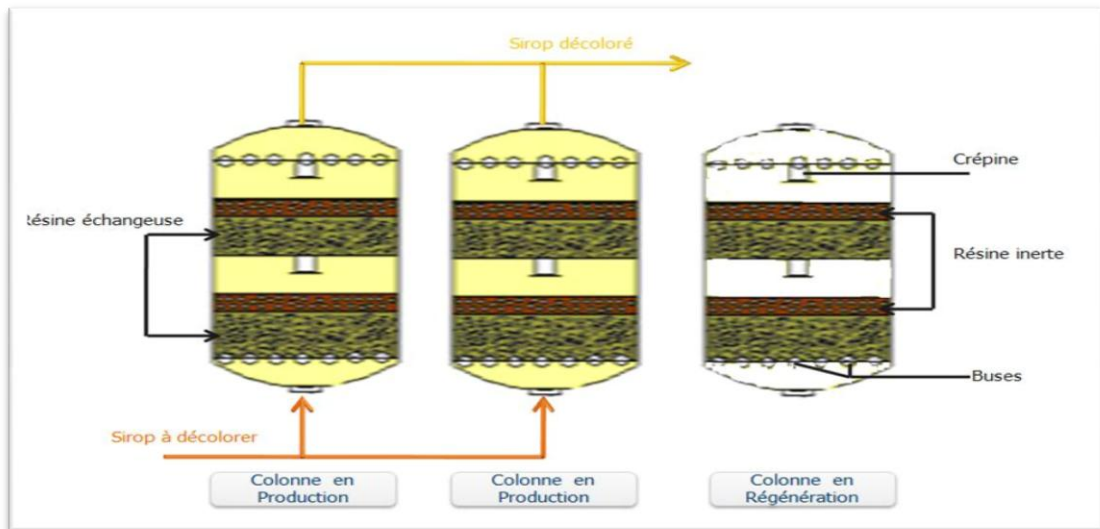


Figure 6 : Schéma de la chaîne de décoloration (colonnes 110).

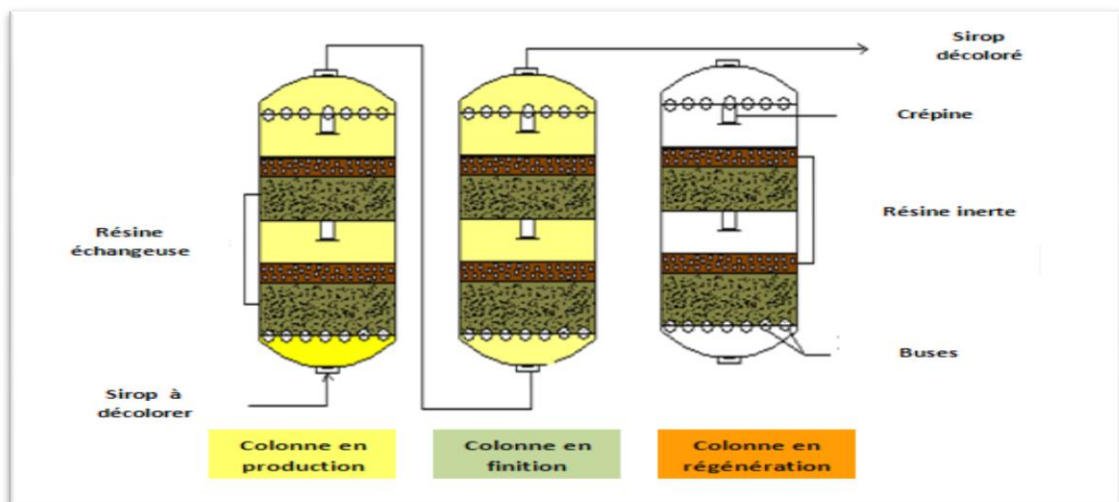


Figure 7 : Schéma de la chaîne de décoloration (colonnes 35.)

NB : Dans ce que suit on va s'intéressé seulement aux colonnes 110m³/h.

◆ La production

La commune filtrée passe à travers des colonnes afin de retenir les colorants jusqu'à la saturation des résines. La décoloration est une combinaison entre l'échange et l'adsorption.

Deux mécanismes interviennent :

- un phénomène d'adsorption par des interactions hydrophobes entre les chaînes carbonées du polymère et du colorant selon leurs poids moléculaires et la taille des pores des résines. Il s'agit de liaisons faibles.
- Echange d'ions ou échange entre les ions Cl^- initialement fixés sur la résine et les colorants (chargés négativement) présents dans la solution à traiter.

◆ La régénération

Pendant la phase de décoloration, la résine se charge en matières colorantes et en anions divers, elle se sature au cours du temps, donc il est nécessaire de les extraire en faisant à la fin de chaque cycle une régénération basique à contre courant par saumure, suivi de différentes phases de rinçage. Après environ dix cycles de fonctionnement, la résine est trop chargée en matières organiques, une régénération acide avec de l'acide chlorhydrique HCl est indispensable.

Cette régénération permet d'enlever toutes impuretés non retenues par les filtres, le fer issu de la saumure et retenu par la résine, ainsi que des colorants résistants à la régénération.

1. Etapes de la décoloration

La décoloration sur résine s'effectue comme suit :

- Le détassage :** C'est une opération qui consiste à faire entrer de l'eau chaude adoucie du bas vers le haut pour répartir d'une façon homogène la résine dans la colonne afin d'éviter les chemins préférentiels du sirop. L'eau sortie de la colonne, après le détassage, est renvoyée vers filtre à sable.
- Rinçage tuyau :** On rince tous les tuyaux avec 1 m^3 de l'eau chaude et la sortie sera récupérée autant qu'eaux sucrées utilisées lors de la fonte.
- Ensucrage 1 :** Il consiste à faire passer un volume de 10 m^3 de la commune filtrée pour chasser l'eau qui existe déjà dans la colonne, cette eau sera récupérée puis recyclée.
- Ensucrage 2 :** Il s'agit d'envoyer pour une 2ème fois la commune filtrée (60 m^3) et cette fois l'eau récupérée est de l'eau sucrée qui sera récupérée dans le bac des eaux sucrées.
- La Production :** C'est l'étape qui marque le début de la décoloration. Elle se fait par le passage d'un volume de 1400 m^3 du sirop, du bas vers le haut, à travers les deux compartiments de la colonne. Ainsi les impuretés seront retenues par la résine.

A la fin de cette opération, la résine sera saturée, il faut donc la régénérer, et le sirop résultant (sirop décoloré) sera envoyé vers l'évaporation.

f- Dessucrage :

❖ *Dessucrage 1* : à la fin de la production, la résine a été saturée par les matières colorantes. Il faut donc la régénérer mais avant, il faut dessucrer la colonne en passant de l'air comprimé afin de récupérer la commune filtrée (50m^3) restante dans la colonne.

❖ *Dessucrage 2*: on passe un volume de 65m^3 d'eau chaude pour chasser le sirop qui reste dans la colonne, les effluents résultants seront récupérés dans le bac des eaux sucrées.

g- Rinçage tuyau : On rince tous les tuyaux avec 1 m^3 d'eau chaude et la sortie sera récupérée dans le bac des eaux sucrées.

h- Soulèvement : Cette étape a pour but d'éliminer une partie des matières en suspension emprisonnées par la résine. Le soulèvement se réalise au niveau de chaque compartiment en deux temps. Nous avons ainsi un soulèvement faible qui se traduit par une injection d'un volume de 20m^3 d'eau recyclée à un débit de $34\text{m}^3/\text{h}$ (de bas en haut) et un soulèvement fort avec un volume de 55 m^3 et un débit de $60\text{ m}^3/\text{h}$.

i- Vidange partielle : on fait une vidange partielle avec l'air comprimé d'une pression de 1,5bar et un volume de 30 m^3 , qu'on va purger par la suite.

j- Régénérations : passe par trois étapes différenciées par le volume de la saumure introduite (15 , 20 et 15m^3). L'effluent résultant de la première régénération sera récupéré et le deuxième est envoyé vers l'égout, tandis que le dernier est envoyé vers la nano filtration.

k- Déplacement NaCl 1 : se fait avec un volume de 35 m^3 de l'eau recyclée.

l- Déplacement NaCl 2 : se fait avec un volume de 85m^3 avec de l'eau recyclée.

m- Rinçage : se fait avec un volume de 70m^3 avec de l'eau chaude.

Le tableau ci-dessous résume les étapes de décoloration avec les destinations des effluents (Tableau 6).

Tableau 6: Tableau récapitulatif des étapes de la décoloration.

Séquences	Volumes (m ³)	Débit (m ³ /h)	Durée (min)	Fluide entré	Destination
Détassage	17	60	17	eau chaude	Filtre à sable
Enssucrage 1	10	90	6,67	commune filtrée	Eau recyclée
Enssucrage 2	60	90	40	commune filtrée	Eau sucrée
Production	1400	70	1542,86	commune filtrée	Sirop décoloré
Dessucrage 1	50	--	--	air comprimé	Commune filtrée
Dessucrage 2	65	65	101,54	eau chaude	Eau sucrée
Soulèvement faible 1	15	34	26,47	eau recyclée	Filtre à sable
Soulèvement fort 1	40	60	40	eau recyclée	Filtre à sable
Soulèvement faible 2	15	34	26,47	eau recyclée	Filtre à sable
Soulèvement fort 2	40	60	26,47	eau recyclée	Filtre à sable
Vidange partielle	30	110	16,36	air	Eau recyclée
Régénération 1	15	45	16,36	saumure	Eau recyclée
Régénération 2	20	45	21,81	saumure	Rejet
Régénération 4	15	45	16,36	saumure	Nanofiltration
Déplacement NaCl 1	35	70	30	eau recyclée	Nanofiltration
Déplacement NaCl 2	85	70	72,86	eau recyclée	Rejet
Rinçage	70	70	60	eau chaude	Eau recyclée

2. Les équipements

@ Bacs de stockage :

La station de décoloration comporte 5 bacs de stockage :

- ❖ Bac eaux sucrées.
- ❖ Bac eau chaude.
- ❖ Bac commune filtrée.
- ❖ Bac sirop décoloré.
- ❖ Bac eaux recyclées.

© Les adoucisseurs :

La station est équipée d'adoucisseurs d'une façon alternative, lorsque l'un est en production l'autre sera en régénération. Ils sont utilisés pour traiter l'eau utilisée dans la station soit pour les rinçages, soit pour la dilution des solutions régénérantes.

© La fosse à saumure :

Elle est destinée à la préparation de la saumure fraîche et la saumure basique, en effet, une solution sursaturée est préparée dans le premier compartiment passe par débordement dans la deuxième où il y a l'accumulation de la saumure fraîche.

Celle ci passe dans le troisième compartiment, là on y ajoute de NaOH pour avoir une saumure basique. Et avant d'être envoyée vers les colonnes elle passe par un filtre à sable (Figure 8).

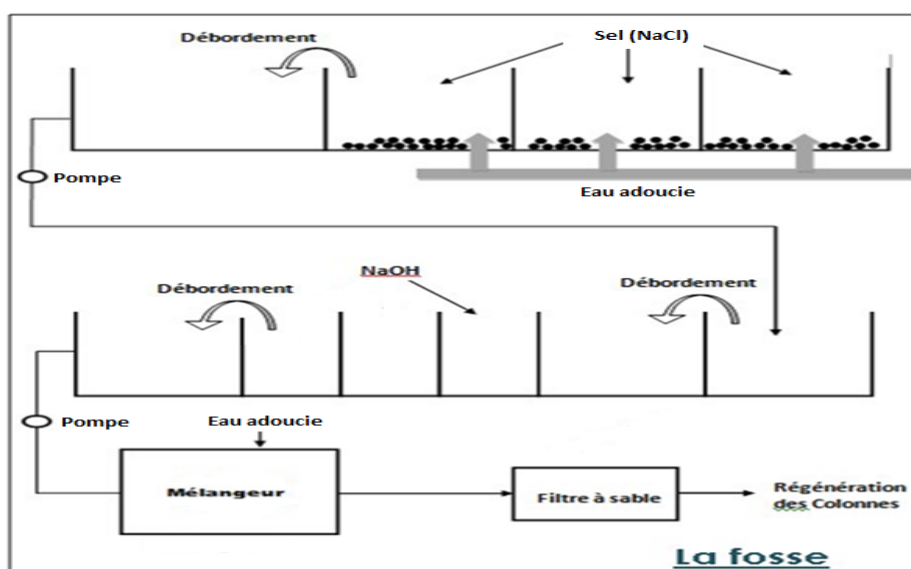


Figure 8: Schéma de la fosse à saumure.

© Filtre à sable :

Il est utilisé pour filtrer toutes les solutions de régénération qui vont vers les colonnes (saumure acide et saumure basique).

© La nanofiltration :

Afin de réduire au maximum les rejets, une unité de retraitement et de recyclage des saumures de régénération par nanofiltration est intégrée aux unités de décoloration.

3. La Nanofiltration

Le but de l'installation de nanofiltration est de récupérer la majeure partie du sel contenu dans les effluents de régénération. Pour cela, les éluats de la régénération sont filtrés pour séparer le sel des colorants (Figure 9).

La fraction saline pourra ensuite resservir à régénérer à nouveau les résines, permettant ainsi une économie de saumure basique et une réduction des rejets salins. La séparation des colorants d'une part et du sel d'autre part se fait par nanofiltration. Cette dernière est une technique de filtration tangentielle sur membranes qui permet de séparer des composés dissouts ou en suspension en fonction de leur poids moléculaire et de leur taille.

Sous l'effet de la pression, les composés les plus petits (l'eau et les ions Na^+ et Cl^-) passent à travers les pores de la membrane de nanofiltration : c'est le perméat. Les plus grosses particules (les colorants) sont quant à elles retenues dans le retentât (Figure 10).



Figure 9 : Unité de Nanofiltration.

A la fin du processus de filtration, les impuretés sont presque toutes concentrées dans le retentât dont le volume est alors le dixième du volume initiale d'effluent à traiter.

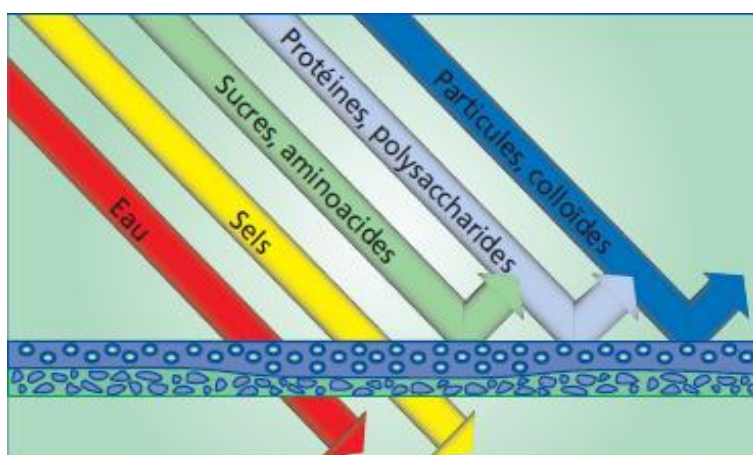


Figure 10: Principe de fonctionnement de la nanofiltration.

4. Régénération des stations

On distingue 3 types :

4.1. Régénération par saumure basique

La saumure est préparée par : - 210g/L NaCl

- 1% NaOH

- Eau adoucie

Avec un débit de 15 m³/h, la saumure est envoyée vers la colonne tout en se mélangeant avec l'eau adoucie chaude. Ensuite, on procède à un rinçage lent et un rinçage rapide en vue de dégager le NaCl et neutraliser la colonne avec un débit de 70 m³/h (tableau 7).

Tableau 7: Volumes de régénération et leurs destinations.

Etapes	Support	Volumes (m ³)	Débit (m ³ /h)	Destination
Régénération	Saumure	17	15	Rejet
Rinçage lent	Eau recyclée	130	50	Rejet
Rinçage rapide	Eau chaude	70	70	Eau recyclée

4.2. Régénération par nanofiltration

Après régénération basique, la saumure récupérée traverse la membrane de nano filtration (0.01-0.001 µm) sous une pression comprise entre 8 et 18 bars. On obtient ainsi le perméat qui sera utilisé lors d'une nouvelle régénération, et le retentât va être recyclé (tableau 8).

Tableau 8 : Volumes de régénération avec nanofiltration et leurs destinations.

Opération	Support	Volume (m ³)	Débit (m ³ /h)	Destination
Regénération1	Saumure	15	45	Eau recyclée
Regénération2	Saumure	20	45	Rejet
Regénération4	Saumure	15	45	Nanofiltration
Déplacement NaCl 1	Eau recyclée	35	70	Nanofiltration
Déplacement NaCl 2	Eau recyclée	85	70	Rejet
Rinçage	Eau chaude	70	70	Eau recyclée

4.3.Dépollution acide

Elle se fait après 10 cycles de fonctionnement de la résine en vue de débarrasser la colonne des composés qui y restent attachés tels que les ions ferriques et cuivriques. Elle est préparée par :

- Eau adoucie
- 1% HCl

Il s'ensuit une régénération basique pour neutraliser la colonne.

Introduction

L'unité de décoloration sur résine consomme une quantité importante d'eau, de réactifs et de saumure. Il est donc important d'effectuer des suivis afin d'aboutir à des solutions pouvant mener à une optimisation et par conséquent une réduction de la consommation en eau et en saumure lors de la régénération.

Avant de réaliser l'optimisation au sein de la station 110, il nous a fallu d'abord vérifier la stabilité du procédé de décoloration dans le temps, observer l'évolution de ses grandeurs caractéristiques et dégager les problèmes à traiter.

I. Méthodologie

Pour réaliser cette étude, nous avons effectué plusieurs essais sur trois étapes du procédé : l'ensucrage, le dessucrage, et la régénération. Pour se faire on procède par des prises d'échantillons dans les différentes étapes de la décoloration au niveau des 3 colonnes.

1. Procédure d'analyse

✚ Ensucrage et Dessucrage

- ✓ Prise d'échantillon.
- ✓ Mesure du Brix par le réfractomètre.
- ✓ Traçage de la courbe de $\text{Brix}=f(V)$ avec V = volume passé.

✚ Régénération

- ✓ Prise d'échantillon.
- ✓ Mesure de la concentration de NaCl et de NaOH de l'échantillon.
- ✓ Traçage de la courbe déterminant le cycle de régénération $[\text{NaCl}]=f(V)$

Avec V =volume passé.

2. Les analyses effectuées

✚ Détermination du Brix

Le Brix est le pourcentage de la matière sèche contenue dans 100 g de sirop « Échantillon », sa détermination se fait par la lecture directe sur le réfractomètre.

Pour les échantillons concentrés, il est nécessaire de procéder d'abord à une dilution de 50g de sirop dans 50g d'eau. Les valeurs obtenues avec ces échantillons dilués seront multipliés par le facteur de dilution.

$$\text{Brix} = \frac{\text{Matières Sèches}}{\text{Matières Sèches+Eau}}$$

✚ Détermination de la concentration de NaCl

- ✓ Prendre 1mL de la solution saumâtre et compléter à 100 mL avec de l'eau distillée.
- ✓ Prendre 5mL de la dilution, et ajouter 2 gouttes de chromate de potassium 5 %
- ✓ Titrer par la solution nitrate d'argent 5,814 g/l jusqu'à coloration rouge brique.

$$\text{NaCl (g/l)} = V_v * 40$$

✚ Détermination de la concentration de NaOH

- ✓ Prendre 10 ml de la solution à doser, et ajouter quelques gouttes de phénolphthaléine jusqu'à l'obtention d'une coloration violette.
- ✓ Dose la solution par HCl (1mol/l) jusqu'à la disparition de la coloration.

$$\% \text{ NaOH} = V_v * 0,4$$

☞ V_v : volume versé.

II. Résultats et Interprétations

Ce travail est effectué sur les étapes suivantes :

- Ensucrage.
- Dessucrage
- Régénération.

1. Ensucrage

Au cours de cette étape, on a réalisé plusieurs essais afin d'avoir une idée claire sur la variation du Brix en fonction du volume de la commune filtrée introduite lors de l'ensucrage (Figure 11).

La courbe ci-dessous montre l'évolution du Brix moyen des trois essais de l'ensucrage (Annexe I).

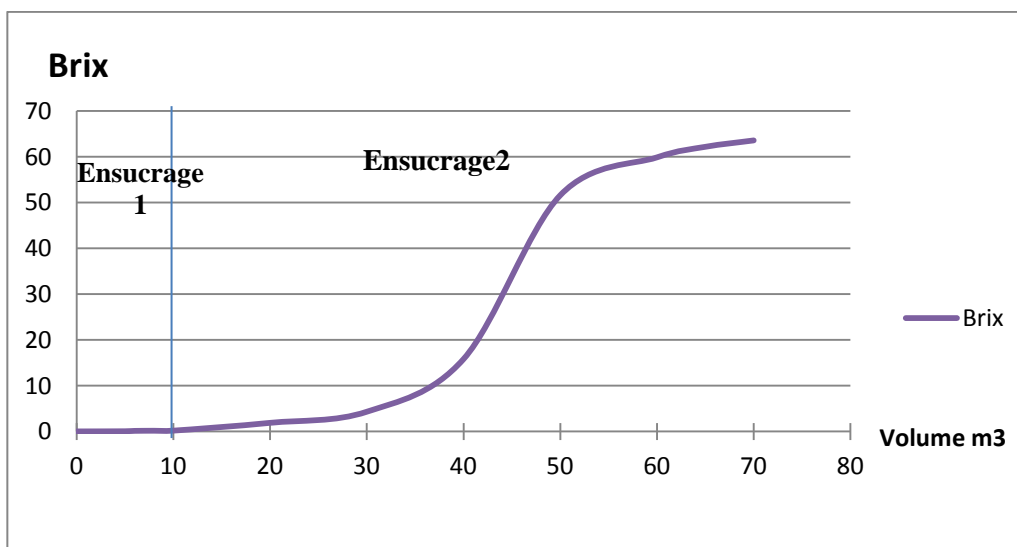


Figure 11: Evolution du Brix au cours de l'ensucrage.

Les résultats de l'ensucrage présentés sur la figure 11 montrent une nette augmentation du Brix lors de l'ensucrage 1, par la suite (ensucrage 2) l'augmentation du Brix devient considérable jusqu'à un volume d'environ 65m³ où on s'approche du Brix du sirop à décolorer. Ceci nous permet de conclure qu'aucune modification ne sera portée à cette étape.

2. Dessucrage

C'est une étape de préparation de la colonne à la régénération par entrée de 65m³ d'eau adoucie chaude à un débit variant de 95 m³/h afin d'évacuer le sirop vers le bassin des eaux sucrées. A la fin de cette étape, le degré du Brix doit tendre vers 0.

Au cours de cette étape, on a réalisé plusieurs essais afin d'avoir une idée claire sur la variation du Brix en fonction du volume de l'eau chaude introduite lors du dessucrage (tableau 9) (Figure 12) (Annexe II).

Tableau 9 : représente la moyenne des suivis de dessucrage.

Débit (m ³ /h)	95								
Volume (m ³)	0	10	20	30	40	50	55	60	65
Brix (essai1)	60,4	59,3	59,7	56,8	29,25	5,5	3,6	2,8	2,3
Brix (essai2)	60,9	60,4	59,4	40,75	16,8	5,8	3,8	3,45	2,5
Brix (essai3)	75	66,4	59,8	56,75	30,8	9,5	4,5	3,75	2,85
Brix (essai4)	75,8	65,9	56,85	26,15	9,95	3,25	2,7	2,12	1,95
Moyenne	68,02	63	58,94	45,11	21,7	6,01	3,65	3,03	2,4

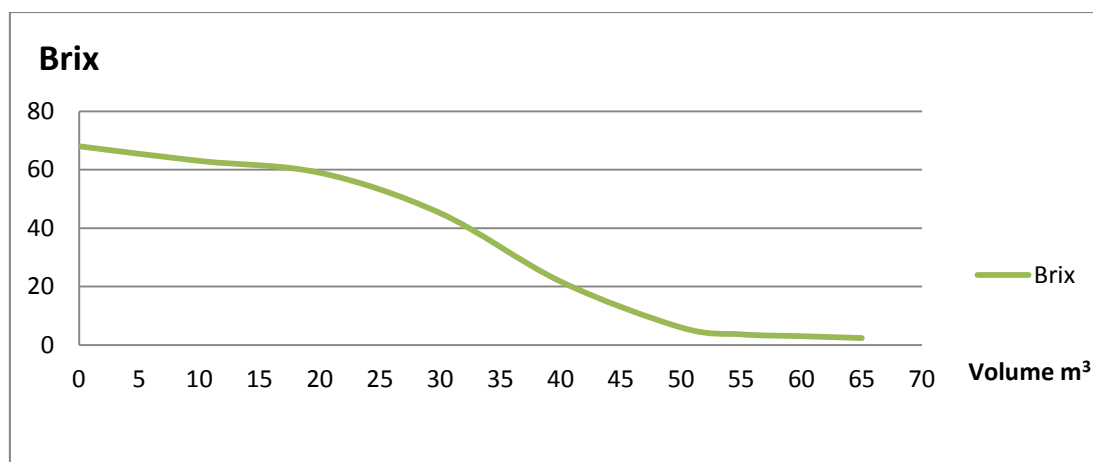


Figure 12: Evolution du Brix pendant le Dessucrage.

Les résultats présentés sur la figure ci-dessus montrent que le Brix à la sortie de la colonne est d'une valeur de 2.4 à 65 m³ d'eau utilisée pour le dessucrage (Figure 12), donc le volume d'eau chaude utilisé est insuffisant pour que la valeur du Brix tend vers 0.

On constate que la coloration des échantillons prises au cours de dessucrage diminue progressivement avec le volume d'eau chaude passé, cette coloration reste relativement élevée au cours des derniers 5m³ (Figure 13).



Figure 13 : Echantillons du Dessucrage.

3. Régénération

Dans Le tableau ci-dessous nous avons présenté la moyenne des trois essais de régénération : essai 1, essai 2 et essai 5 (Annexe III).

Tableau 10: Moyenne des essais de la régénération

Etape	Support	Débit (m ³ /H)	Perméat	NaCl:123,33g/L	NaOH : 1,4%	Destination
			Volume	NaCl (g/L)	NaOH (%)	
Régénération 1	Saumure	45	0	8	0	Eau recyclée
			5	8	0	
			10	8	0	
			15	8	0	
Régénération 2	Saumure	45	20	12	0	Rejet
			25	12	0	
			30	18,67	0	
			35	38,67	0,05	
Régénération 4	Saumure	45	40	61	0,37	Nanofiltration
			45	88,33	0,507	
			50	93,33	0,627	
Déplacement NaCl 1	Eau recyclée	70	55	99,33	0,69	Nanofiltration
			60	102,67	0,76	
			65	105,33	0,77	
			70	111,33	0,84	
			75	112,67	0,92	
			80	113,33	0,85	
			85	110	0,867	

Déplacement NaCl 2	Eau recyclée	70	90	100	0,707	Rejet
			95	83,67	0,467	
			100	62,67	0,29	
			105	41,33	0,147	
			110	24	0,107	
			115	17,33	0,067	
			120	12	0,067	
			130	10,67	0,08	
			140	10,67	0,08	
			150	9,33	0,067	
			160	9,33	0,05	
			170	8	0,05	
			Rinçage	Eau chaude	70	
190	8	0,04				
200	8	0,04				
210	4	0,04				
220	4	0,04				
230	4	0,04				
240	4	0,04				

Le tableau ci-dessus et les figures 14 et 16, représentent l'évolution de la concentration de NaCl et de NaOH au cours des étapes de la décoloration.

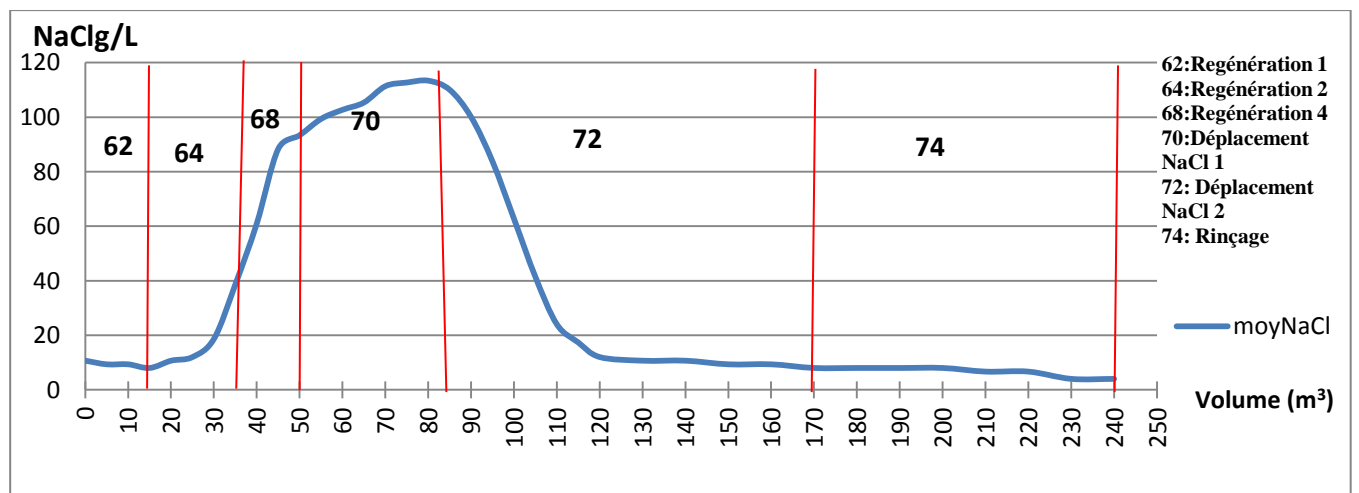


Figure 14 : Evolution de NaCl au cours de la régénération de la colonne

On remarque qu'au début de la régénération, la concentration de NaCl de la saumure basique qui pénètre la colonne est faible à cause de la présence de l'eau de rinçage (soulèvement) des colonnes de décoloration pour se débarrasser du sirop. Ensuite on constate l'augmentation progressive de la concentration en sel jusqu'à une concentration maximale,

au cours de cette augmentation se fait la régénération. Puis elle se diminue au cours des dernières étapes de la régénération à cause de l'injection d'eau dans les séquences de rinçage.

La figure ci-dessous montre la variation de la coloration des effluents de la régénération (Figure 15).



Figure 15 : Prises des échantillons de régénération

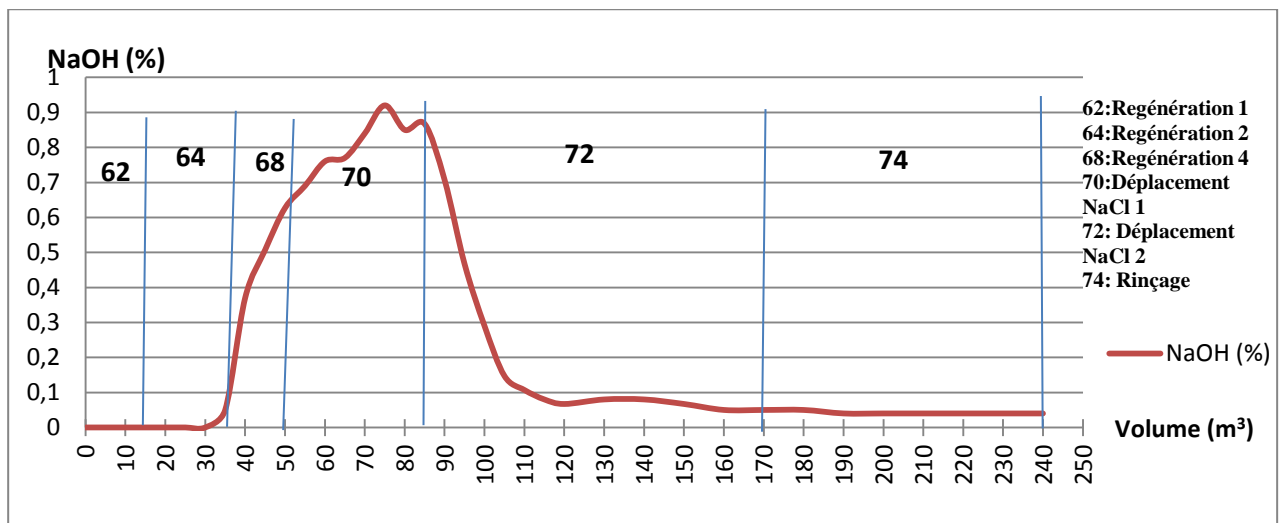


Figure 16 : Evolution de NaOH au cours de la régénération de la colonne

D'après la courbe de régénération on remarque une augmentation progressive de pourcentage de NaOH en fonction du volume. A ce moment là s'effectue la régénération des résines (consommation de NaOH) jusqu'à un pourcentage maximal (correspondants au % d'entrée de saumure basique), suivi d'une diminution de ce dernier à la fin de cette étape, à cause de l'injection d'eau dans les séquences de déplacements et de rinçage.

☞ D'après les suivis effectués sur la régénération par nanofiltration on constate un décalage de la zone de récupération des effluents vers la nanofiltration.

III. Optimisation du fonctionnement

1. Dessucrage

D'après le premier suivi de dessucrage nous avons observé qu'à la fin de cette étape, le Brix de la solution est trop élevé ce qui signifie que le volume d'eau chaude est insuffisant pour vider la colonne du sirop après production.

En vue de minimiser les pertes en sucre pendant le dessucrage, nous avons proposé d'augmenter le volume d'eau chaude de 5 m³ pour que le Brix tende vers 0 avec un débit de 95 m³/h.

Calcul du gain :

Brix = 2.4 c'est à dire 2.4 g/100g de solution

- Nous estimons que l'ajout de 5 m³ d'eau est suffisant pour avoir un Brix de 0,75

$$1.65\text{g} \cdot 1\text{kg}/100\text{g} = 0,0165 \text{ Kg}$$

- Pour calculer la masse d'eau nécessaire, on sait que :

La masse volumique de l'eau $\rho = 1\text{g}/\text{cm}^3$

$$= 1000\text{Kg}/\text{m}^3$$

$$\rho = m/V \quad \text{donc } m = \rho \cdot V$$

$$m = 1000 \text{ Kg}/\text{m}^3 \cdot 5 \text{ m}^3 = 5000 \text{ Kg}$$

- On aura $5000 \cdot 0,0165 = 82.5 \text{ Kg}$ de sucre par cycle
- Donc $82.5 \cdot 2 = 165 \text{ Kg}$ de sucre par jour
- $165 \cdot 30 = \mathbf{4950 \text{ Kg de sucre par mois}}$
- Sachant que le prix d'un tonne de sucre brut est de 5000 Dhs, nous aurons un gain de :

$$4.95\text{T} \cdot 5000 = 24750 \text{ Dhs}$$

- En revanche, le coût de l'eau adoucie ajoutée est : (60 cycles par mois)

$$5 \text{ m}^3 * 14.2\text{Dhs} * 60 = 4260 \text{ Dhs / mois}$$

- Comme gain net nous aurons : $24750 - 4260 = \mathbf{20\ 490 \text{ Dhs / mois}}$.

☞ La proposition du dessucrage a permis à l'entreprise de gagner 20 490Dhs/mois, Ainsi les eaux sucrées obtenues après le dessucrage ont un Brix faible qui répond aux exigences de mon client interne qui demande un Brix de 0.8 au maximum.

2. Régénération

D'après la courbe 1 on remarque que durant les premiers 20 m^3 du déplacement² l'effluent est encore riche en NaCl (concentration dépassant 40g/l). On peut donc changer la destination de ce volume de l'effluent vers l'unité de nanofiltration telle que :

- ☞ Le volume du 1^{er} déplacement devient 55 m^3 au lieu de 35 m^3 .
- ☞ Le volume du 2^{ème} déplacement devient 65 m^3 au lieu de 85 m^3 .

Comme les premiers 5 m^3 de régénération 4 sont pauvres en NaCl, on peut changer la destination de ce volume vers les rejets tels que :

- ☞ Le volume de régénération 2 devient à 25 m^3 au lieu de 20 m^3 .
- ☞ Le volume de régénération 4 devient 10 m^3 au lieu de 15 m^3 .

Calcul du gain en sel:

- calculons la quantité de sel optimisé en Kg :

On a récupéré les premiers 20 m^3 du déplacement 2 ayant une concentration moyenne de 71,92g/L

Donc la quantité de sel optimisé est de 1438,4Kg.

- Calculons la quantité de sel récupérée en Kg :

Sachant que le taux de récupération du sel moyennant la nano filtration est de : 90%, la quantité de sel récupéré est : 1294,6Kg.

- Calculons le gain mensuel en sel :

Connaissant le prix d'un kilogramme de sel qui est de : 300Dh/Tonne, on déduit le prix

unitaire d'un kilogramme : 0.3Dh.

- On aura $0.3 \times 1294,6 = 388.4$ Dh par cycle.
- Donc $388.4 \times 2 = 776.8$ Dh de sel récupéré par jour (2 cycles).
- $776.8 \times 30 = 23304$ Dh de sel récupéré par mois.

Comme gain net nous aurons : **23 304Dhs/mois.**

Calcul du gain généré en eau recyclée:

D'après la courbe de la figure 13 et en se basant sur les analyses du pH (également les concentrations en sel) des effluents de la phase de déplacement 2, on peut éliminer les derniers 15 m^3 d'eau recyclée utilisée durant cette étape. Comme après l'ajout de cette quantité d'eau, l'effluent est pauvre en NaCl (concentration inférieure à 10g/L) alors on peut changer les paramètres comme suit :

- ⊗ Le volume du déplacement 2 devient 50 m^3 au lieu de 65 m^3 .
- ⊗ Le volume du rinçage reste 70 m^3 .

Sachant que le prix unitaire de l'eau est de 14.2Dh/ m^3 .

- On aura $15 \times 14.2 = 213$ Dh par cycle.
- Donc $213 \times 2 = 426$ Dh d'eau recyclée par jour (2 cycles).
- $426 \times 30 = 12780$ Dhs d'eau par mois.

Comme gain nous aurons : **12 780Dhs/mois.**

Le tableau ci-dessous résume le gain mensuel total de la régénération au sein de la station 110.

Tableau 11: Gain total de la régénération.

Gain en saumure (Dh/mois)	Gain en eaux recyclée (Dh/mois)
23 304	12 780
Gain (Dh/mois)	36 084

- ☞ Les propositions de la régénération ont permis à l'entreprise de gagner 36 084Dhs/mois, également d'apporter un bénéfice important à savoir la réduction de la consommation de l'eau

et de réactifs, et donc réduire la quantité des effluents destinés vers les rejets ce qui va minimiser la pollution de l'environnement.

3. Validation des propositions

La validation des propositions consiste à faire un essai (annexe IV) avec des nouveaux paramètres (Tableau 12) :

Tableau 12 : Volumes actualisés des étapes de régénération avec nanofiltration.

Opération	Support	Volume (m ³)		Débit (m ³ /h)	Destination
		Avant	Après		
Regénération1	Saumure	15	15	45	Eau recyclée
Regénération2	Saumure	20	<u>25</u>	45	Rejet
Regénération4	Saumure	15	<u>10</u>	45	Nanofiltration
Déplacement NaCl 1	Eau recyclée	35	<u>55</u>	70	Nanofiltration
Déplacement NaCl 2	Eau recyclée	85	<u>50</u>	70	Rejet
Rinçage	Eau chaude	70	70	70	Eau recyclée

Après modification, nous avons obtenu les courbes suivantes :

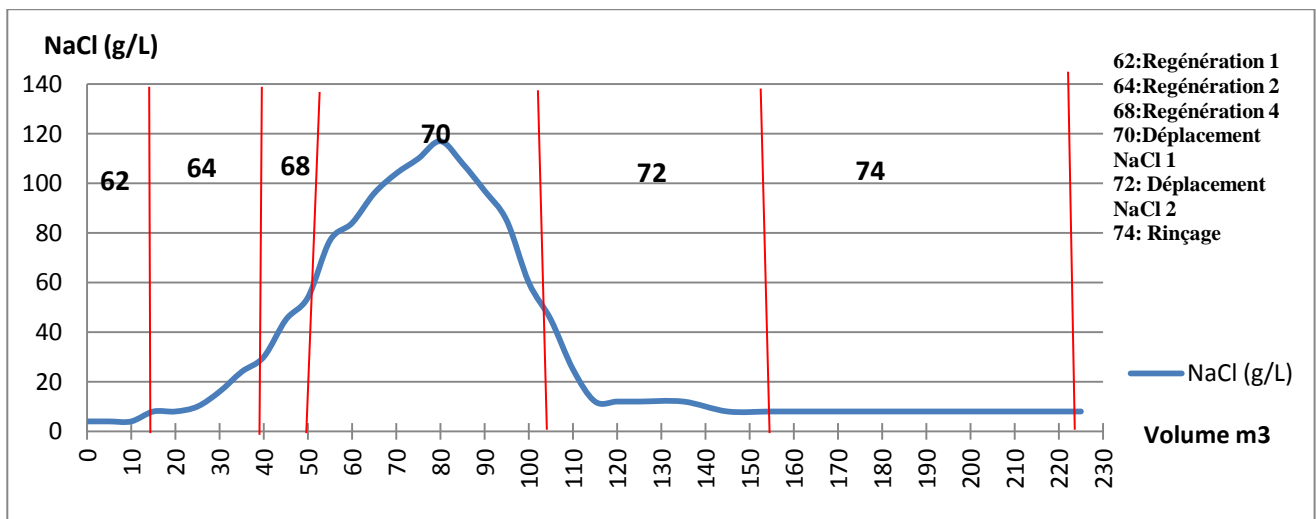


Figure 17 : Evolution de NaCl au cours de la régénération de la colonne après modification.

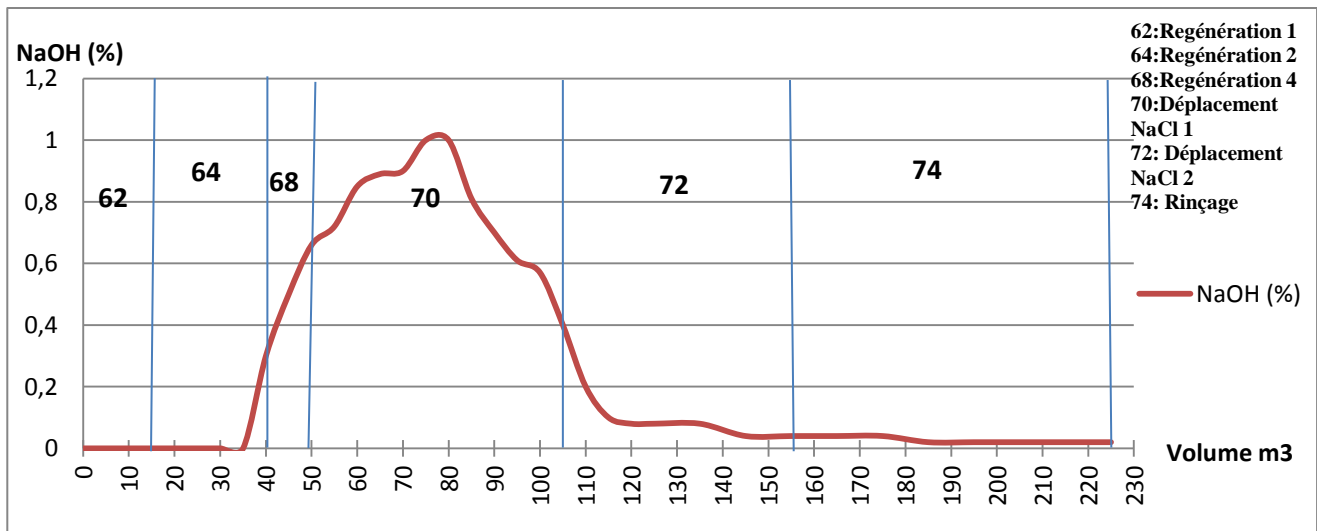


Figure 18 : Evolution de NaOH au cours de la régénération de la colonne après modification.

D'après les courbes ci-dessus nous constatons que les fortes concentrations en NaCl et NaOH sont centrées dans la zone de récupération (la régénération 4 et le déplacement 1).

IV. Bilan matière de NaCl et de NaOH

1. Bilan matière de NaCl et de NaOH lors la régénération des résines des colonnes de décoloration

D'après les valeurs du tableau 10 on calcule :

➤ La masse de NaCl consommée lors de la régénération:

Dont :

- [NaCl] (sortie) = 99.74 g/l et le volume récupéré est de 50m³

Donc la masse de sel : $m(\text{NaCl})_{\text{sortie}} = 99.74 \times 50000 = 4987\text{Kg}$

- [NaCl] (entrée) = 123.4 g/l

Et le volume (régénération 1+2+3) : $V = 50 \text{ m}^3$

La masse de sel : $m(\text{NaCl})_{\text{entrée}} = 123.4 \times 50000 = 6170\text{Kg}$

Donc la masse de NaCl consommée par la résine:

$$m(\text{NaCl})_{\text{consommée}} = m(\text{NaCl})_{\text{entrée}} - m(\text{NaCl})_{\text{sortie}}$$

AN: $m(\text{NaCl})_{\text{consommée}} = 6170 - 4987 = 1183\text{Kg}$.

La masse de NaCl consommée par la résine lors de la régénération est de **1183Kg** (Figure 19).

➤ La masse de NaOH consommé lors de la régénération:

- Le % de NaOH entré : % NaOH = 1.4 %
- Le % de NaOH sortie : % NaOH= 0.72
- Donc le % de NaOH consommé :

$$\%(\text{NaOH})_{\text{consommée}} = \%(\text{NaOH})_{\text{entré}} - \%(\text{NaOH})_{\text{sortie}}$$

$$\text{AN : } \%(\text{NaOH})_{\text{consommée}} = 1.4 - 0,72 = 0.68 \%$$

➤ Le volume qui a traversé la colonne durant la régénération 1.2 et 4 est 50 m^3 :

$$50\text{m}^3 = 50000 \text{ L} = 50000 \text{ Kg}$$

- La masse de NaOH consommée est :

$$\text{On a } \% \text{NaOH} = m(\text{NaOH}) / m(\text{solution})$$

$$\text{Donc } m(\text{NaOH}) = \% \text{NaOH} \times m(\text{solution})$$

$$\text{AN: } m(\text{NaOH}) = 0,68/100 * 50000 = 340 \text{ Kg}$$

La masse de NaOH consommée durant les régénérations 1,2 et 4 est de **340Kg** (Figure 20).

2. Bilan matière de NaCl et NaOH de Nano filtration

➤ La masse de NaCl présente dans le retentât:

Dont :

- [NaCl] (entrée Nano) = 99.74 g/l et le volume récupéré est de 50m^3

$$\text{Donc la masse de sel : } m(\text{NaCl})_{\text{entrée Nano}} = 99.74 * 50000 = 4987\text{Kg}$$

- [NaCl] (sortie= perméat) = 99.74g/l

$$\text{Et le volume de perméat : } V = 46 \text{ m}^3$$

$$\text{La masse de sel : } m(\text{NaCl})_{\text{perméat}} = 99.74 * 46000 = 4588\text{Kg}$$

Donc la masse de NaCL présente dans le rétentat:

$$m(\text{NaCl})_{\text{rétenant}} = m(\text{NaCl})_{\text{entrée Nano}} - m(\text{NaCl})_{\text{perméat}}$$

$$\text{AN: } m(\text{NaCl})_{\text{rétenant}} = 4987 - 4588 = 399\text{Kg}.$$

La masse de NaCL présente dans la rétentat est de **399Kg** (Figure 19).

➤ La masse de NaOH présente dans le retentât:

- Le % de NaOH entrée de Nanofiltration : % NaOH = 0.72 % et $V = 50\text{m}^3$

Donc la masse de NaOH est :

$$\text{On a } \% \text{NaOH} = m(\text{NaOH}) / m(\text{solution})$$

$$\text{Donc } m(\text{NaOH}) = \% \text{NaOH} \times m(\text{solution})$$

$$\text{AN: } m(\text{NaOH}) = 0,72/100 * 50000 = 360 \text{ Kg}$$

- Le % de NaOH sortie de Nano filtration : % NaOH= 0.72 et le volume de perméat est de 46m³

Donc la masse de NaOH présente dans le perméat est :

$$m(\text{NaOH}) = \% \text{NaOH} \times m(\text{solution})$$

$$\text{AN: } m(\text{NaOH}) = 0.72/100 * 46000 = 331.2 \text{ Kg}$$

Donc la masse de NaOH présente dans le rétentat est:

$$m(\text{NaOH})_{\text{rétentat}} = m(\text{NaOH})_{\text{entrée Nano}} - m(\text{NaOH})_{\text{perméat}}$$

$$\text{AN: } m(\text{NaOH})_{\text{rétentat}} = 360 - 331.2 = 22.8 \text{ Kg.}$$

La masse de NaOH présente dans la rétentat est de **22.8Kg** (Figure 20).

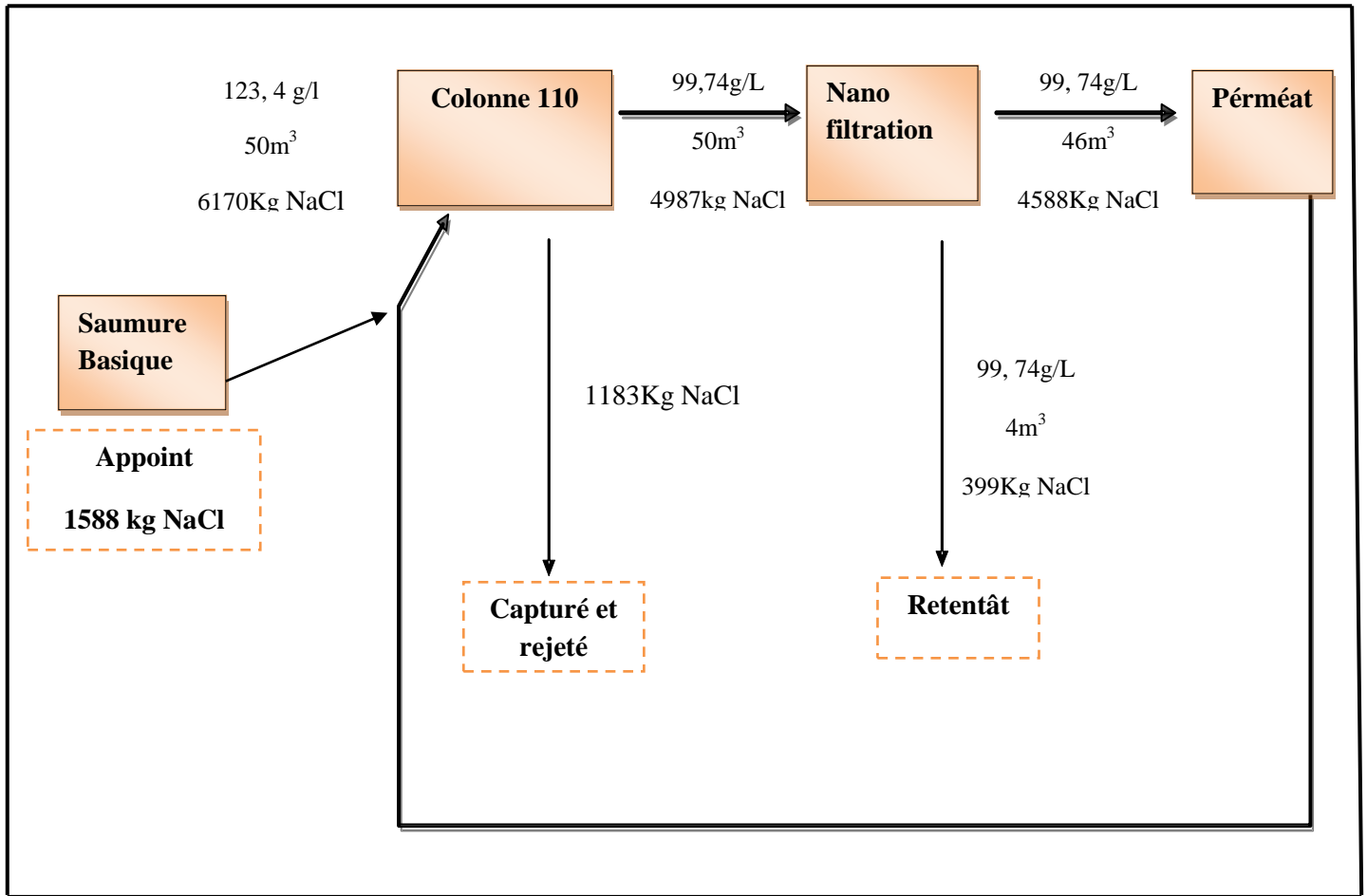


Figure 19 : Schéma du bilan de matière de NaCl

Avec :

- 99,74g/L Quantité de sel sans appoint
- 46m³ : Volume de péméat sans appoint
- 4588Kg NaCl sans appoint.

✚ Rendement de régénération par nanofiltration :

$$\frac{QR}{QR+QP} \times 100$$

Avec :

- **QR** : quantité récupérée (péméat).
- **QP** : quantité d'appoint.

AN: $[4588 / (4588+1588)] \times 100 = 74.28\%$

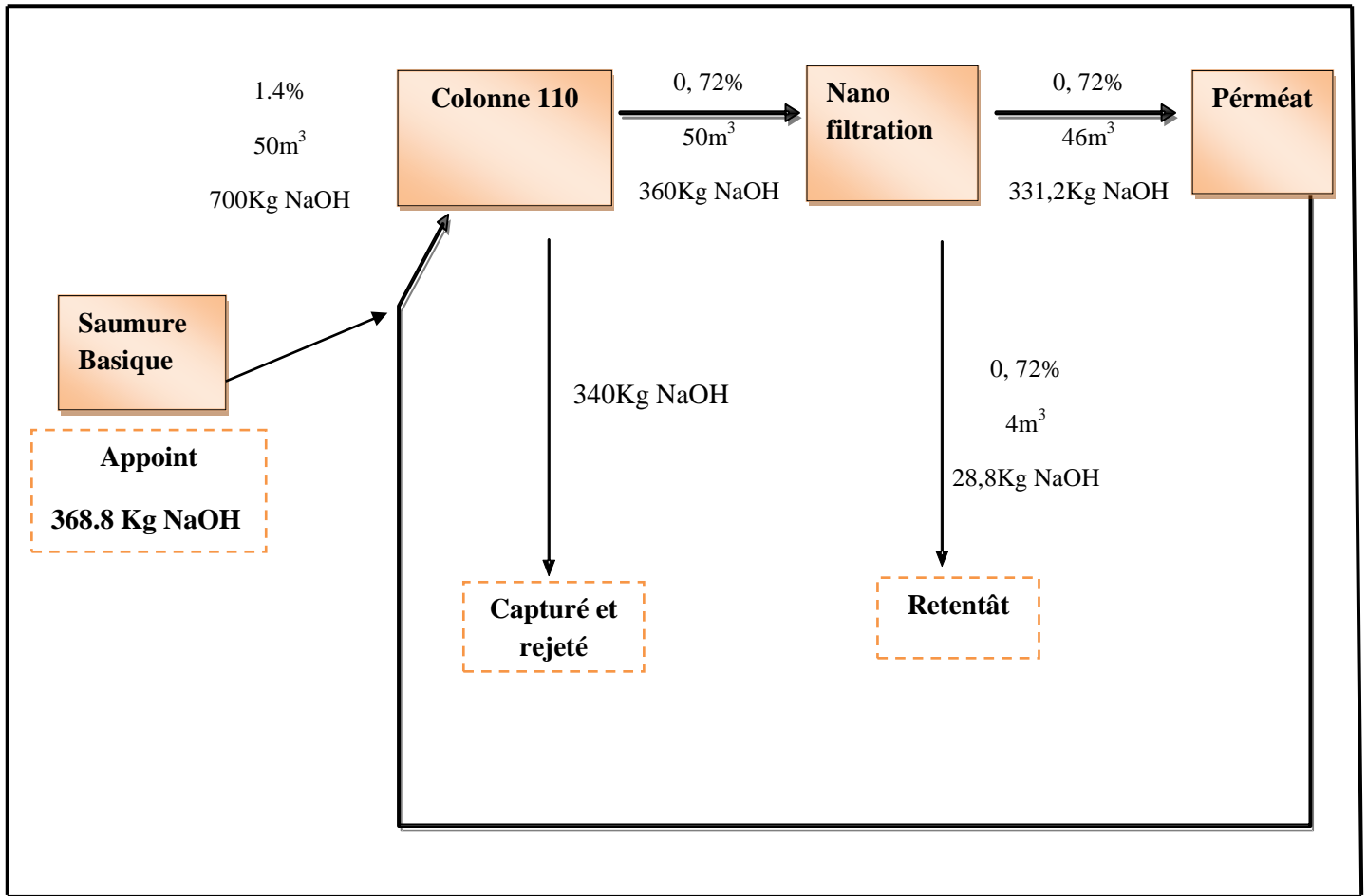


Figure 20 : Schéma du bilan de matière de NaCl

Avec :

- 0,72% Quantité de NaOH sans appoint
- 46m³ : Volume de péméat sans appoint
- 331,2Kg NaOH sans appoint.

✚ Rendement de régénération par nano filtration :

$$\frac{QR}{QR+QP} \times 100$$

Avec :

- **QR** : quantité récupérée (péméat).
- **QP** : quantité d'appoint.

AN: $[331, 2 / (331, 2 + 368, 8)] \times 100 = 47.31\%$

Conclusion générale

Au terme de ce projet que nous avons effectué à COSUMAR-raffinerie de Casablanca, nous avons pu analyser le processus de décoloration sur résines échangeuses d'ions en analysant ses effluents de la régénération. Ce processus consomme des quantités importantes en eaux, en sels et en réactifs.

Une telle analyse nous a permis d'identifier les problèmes rencontrés au niveau de la décoloration et qui peuvent être résumés comme suit :

- La grande consommation du sel et de l'eau pour la régénération des résines.
- Le décalage de la zone de récupération des rejets vers la nanofiltration.

Le présent rapport a donné en se basant sur les résultats des analyses et des suivis quelques propositions qui vont permettre de réduire ces consommations et d'économiser un gain journalier d'environ **36 084Dh/mois**, un gain en commune filtrée et en temps.

Cependant, l'alimentation de la station de décoloration a un impact important sur le déroulement des opérations : un sirop bien filtré permet d'éviter plusieurs problèmes au niveau de la décoloration.

Références bibliographiques

- **BAHIR Ahlam**, Rapport Annuel COSUMAR ; décembre **2012**. 75p.
- Documents internes de la COSUMAR.
- Guide d'exploitation raffinerie description de l'atelier de décoloration.
- **ICUMSA** "International Commission For Uniform Methods of Sugar Analysis, **2011**.
- **K. DRISS**, Perfectionnement raffinerie, Cosumar, chapitre 2, page 131- 154, **2008**.
- **M. DECLoux**, Technique de l'ingénieur Procédés de transformation en sucrerie partie 2, chapitre 2, page 6-12, **2008**.
- **M. Reiser**, Le saccharose, propriétés et applications, éditions polytechnica paris, page 106-120, **1995**.
- PERFECTIONNEMENT RAFFINERIE (document interne).
- Perfectionnement Raffinerie : Séminaire animé à la COSUMAR.
- **R. SCHICK**, Technologie sucrières, les procédés de l'industrie sucrière, chapitre 6, page 168-226, **2011**.

ANNEXE I

© Résultats des suivis de l'ensucrage :

Tableau 13 : Evolution du Brix au cours de l'ensucrage de l'essai 1.

	Débit (m ³ /h)	Volume (m ³)	Brix
Ensucrage1	60	0	0,1
		5	0,1
		6	0,15
		8	0,25
		10	0,3
Ensucrage2	80	20	1,85
		30	2,9
		40	4,5
		50	47
		60	61,5
		65	62,3
		70	63,7

Tableau 14 : Evolution du Brix au cours de l'ensucrage de l'essai 2.

	Débit(m ³ /h)	Volume(m ³)	Brix
Ensucrage1	60	0	0,0
		5	0,1
		6	0,2
		8	0,2
		10	0,2
Ensucrage2	80	20	2
		30	7,1
		40	33
		50	57,2
		60	60,5
		65	63
		70	64

Tableau 15: Evolution du Brix au cours de l'ensucrage de l'essai 3.

	Débit (m ³ /h)	Volume (m ³)	Brix
Ensucrage1	60	0	0
		5	0
		6	0,1
		8	0,1
		10	0,1
Ensucrage2	80	20	1,9
		30	3
		40	10
		50	50,6
		60	57,6
		65	61,2
	70	63	

Tableau 16 : représente la moyenne des suivis de l'ensucrage.

	Débit (m ³ /h)	Volume (m ³)	Brix
Ensucrage1	60	0	0,033
		5	0,07
		6	0,15
		8	0,18
		10	0,2
Ensucrage2	80	20	1,9
		30	4,33
		40	15,83
		50	51,6
		60	59,87
		65	62,17
	70	63,57	

ANNEXE II

@ Résultats des suivis de déssucrage :

Tableau 17 : Evolution du Brix en fonction du volume d'eau chaude du premier essai.

Débit (m ³ /h)	90								
Volume (m ³)	0	10	20	30	40	50	55	60	65
Brix	60.4	59.3	59.7	56.8	29.25	5.5	3.6	2.8	2.3

Tableau 18 : Evolution du Brix en fonction du volume d'eau chaude de deuxième essai.

Débit (m ³ /h)	95								
Volume (m ³)	0	10	20	30	40	50	55	60	65
Brix	60,9	60.4	59.4	40.75	16.8	5.8	3.8	3.45	2.5

Tableau 19 : Evolution du Brix en fonction du volume d'eau chaude de troisième essai.

Débit (m ³ /h)	95								
Volume (m ³)	0	10	20	30	40	50	55	60	65
Brix	75	66.4	59.8	56.75	30.8	9.5	4.5	3.75	2.85

Tableau 20 : Evolution du Brix en fonction du volume d'eau chaude du quatrième suivi.

Débit (m ³ /h)	95								
Volume (m ³)	0	10	20	30	40	50	55	60	65
Brix	75.8	65.9	56.85	26.15	9.95	3.25	2.7	2.12	1.95

ANNEXE III

© Résultats des suivis de la Régénération :

Tableau 21 : Concentration de NaCl et de NaOH du premier suivi avec un perméat de : NaCl (g/L)= 130g/L et NaOH (%)=1.2%.

Etape	Débit (m ³ /H)	Volume	NaCl (g/L)	NaOH (%)
62	45	0	8	0
		5	8	0
		10	8	0
		15	8	0
64	45	20	12	0
		25	12	0
		30	20	0
		35	56	0
68	45	40	75	0,76
		45	85	0,84
		50	100	0,92
70	70	55	114	0,92
		60	120	1,08
		65	128	1,08
		70	130	1,12
		75	130	1,2
		80	128	1
		85	118	1,08
72	70	90	100	0,8
		95	75	0,32
		100	32	0,16
		105	20	0,08
		110	12	0,08
		115	12	0,04
		120	8	0,04
		130	8	0,08
		140	8	0,08
		150	8	0,04
		160	8	0,04
74	70	170	8	0,04
		180	8	0,04
		190	8	0,04
		200	8	0,04
		210	8	0,04
		220	8	0,04
		230	4	0,04
240	4	0,04		

**Tableau 22 : Concentration de NaCl et de NaOH du deuxième suivi avec un perméat de :
NaCl (g/L)= 170g/L et NaOH (%)=1.4%.**

Etape	Débit (m ³ /H)	Volume	NaCl (g/L)	NaOH (%)
62	45	0	8	0
		5	8	0
		10	8	0
		15	8	0
64	45	20	12	0
		25	12	0
		30	12	0
		35	32	0
68	45	40	72	0,16
		45	116	0,32
		50	124	0,48
70	70	55	130	0,68
		60	128	0,72
		65	136	1,04
		70	140	0,88
		75	138	0,88
		80	156	0,84
		85	140	0,88
72	70	90	148	0,84
		95	168	0,84
		100	132	0,64
		105	64	0,36
		110	32	0,2
		115	20	0,12
		120	12	0,08
		130	12	0,04
		140	12	0,08
		150	8	0,08
		160	8	0,08
74	70	170	8	0,04
		180	8	0,04
		190	8	0,04
		200	8	0,04
		210	8	0,04
		220	8	0,04
		230	4	0,04
240	4	0,04		

**Tableau 23 : concentration de NaCl et de NaOH du troisième suivi avec un perméat de :
NaCl (g/L)= 180g/L et NaOH (%)=1.76%.**

Etape	Débit (m ³ /H)	Volume	NaCl(g/L)	NaOH%
62	45	0	8	0
		5	8	0
		10	8	0
		15	8	0
64	45	20	12	0
		25	12	0
		30	12	0
		35	20	0,08
68	45	40	40	0,28
		45	60	0,4
		50	76	0,88
70	70	55	108	1,04
		60	108	1,12
		65	132	1,44
		70	132	1,44
		75	140	1,48
		80	128	1,48
		85	136	1,52
72	70	90	172	1,52
		95	168	0,88
		100	120	0,72
		105	56	0,36
		110	24	0,2
		115	20	0,12
		120	12	0,12
		130	12	0,08
		140	12	0,08
		150	12	0,08
		160	8	0,08
74	70	170	8	0,04
		180	8	0,04
		190	8	0,04
		200	8	0,04
		210	4	0,04
		220	4	0,04
		230	4	0,04
		240	4	0,04

**Tableau 24 : Concentration de NaCl et de NaOH du quatrième suivi avec un perméat de :
NaCl (g/L)= 120g/L et NaOH (%)=1.4%.**

Etape	Débit (m ³ /H)	Volume	NaCl (g/L)	NaOH (%)
62	45	0	8	0
		5	8	0
		10	8	0
		15	8	0
64	45	20	12	0
		25	12	0
		30	16	0
		35	28	0
68	45	40	48	0,2
		45	80	0,28
		50	80	0,44
70	70	55	84	0,56
		60	84	0,52
		65	84	0,56
		70	100	0,64
		75	100	0,76
		80	104	0,72
		85	92	0,72
72	70	90	92	0,64
		95	88	0,56
		100	88	0,36
		105	60	0,16
		110	40	0,16
		115	24	0,12
		120	16	0,08
		130	12	0,08
		140	12	0,08
		150	8	0,08
		160	8	0,08
74	70	170	8	0,08
		180	8	0,08
		190	8	0,04
		200	8	0,04
		210	8	0,04
		220	8	0,04
		230	4	0,04
240	4	0,04		

**Tableau 25 : Concentration de NaCl et de NaOH du cinquième suivi avec un perméat de :
NaCl (g/L)= 120g/L et NaOH (%)=1.6%.**

Etape	Débit (m ³ /H)	Volume	NaCl (g/L)	NaOH (%)
62	45	0	8	0
		5	8	0
		10	8	0
		15	8	0
64	45	20	12	0
		25	12	0
		30	20	0
		35	32	0,16
68	45	40	60	0,16
		45	100	0,4
		50	100	0,52
70	70	55	100	0,6
		60	104	0,68
		65	104	0,68
		70	104	0,76
		75	108	0,8
		80	108	0,84
		85	120	0,8
72	70	90	108	0,68
		95	88	0,52
		100	68	0,36
		105	44	0,2
		110	20	0,08
		115	16	0,08
		120	12	0,08
		130	12	0,08
		140	12	0,08
		150	12	0,08
		160	12	0,04
74	70	170	8	0,04
		180	8	0,04
		190	8	0,04
		200	8	0,04
		210	4	0,04
		220	4	0,04
		230	4	0,04
		240	4	0,04

**Tableau 26 : Concentration de NaCl et de NaOH du seizième suivi avec un perméat de :
NaCl (g/L)= 155g/L et NaOH (%)=1%.**

Etape	Débit (m ³ /H)	Volume	NaCl (g/L)	NaOH (%)
62	45	0	8	0
		5	8	0
		10	8	0
		15	8	0
64	45	20	12	0
		25	12	0
		30	20	0
		35	24	0,08
68	45	40	44	0,2
		45	48	0,4
		50	112	0,6
70	70	55	134	0,68
		60	138	0,72
		65	138	0,8
		70	140	0,84
		75	148	0,88
		80	155	1
		85	155	0,92
72	70	90	148	0,88
		95	146	0,8
		100	120	0,4
		105	48	0,2
		110	24	0,08
		115	16	0,08
		120	16	0,08
		130	16	0,08
		140	12	0,08
		150	12	0,08
		160	12	0,04
74	70	170	8	0,04
		180	8	0,04
		190	8	0,04
		200	8	0,04
		210	4	0,04
		220	4	0,04
		230	4	0,04
240	4	0,04		

ANNEXE IV

© Résultats de validation des propositions :

Tableau 27: Résultats du suivi de la régénération après modification des paramètres.

Etape	Débit (m ³ /H)	Volume	NaCl (g/L)	NaOH (%)	Destination
62	45	0	4	0	Eau recyclée
		5	4	0	
		10	4	0	
		15	8	0	
64	45	20	8	0	Rejet
		25	10	0	
		30	16	0	
		35	24	0	
		40	30	0,3	
68	45	45	45	0,5	Nanofiltration
		50	54	0,66	
70	70	55	77	0,72	Nanofiltration
		60	84	0,85	
		65	96	0,89	
		70	104	0,9	
		75	110	1	
		80	117	1	
		85	108	0,81	
		90	97	0,7	
		95	85	0,61	
		100	60	0,57	
		105	45	0,4	
72	70	110	25	0,2	Rejet
		115	12	0,1	
		120	12	0,08	
		125	12	0,08	
		135	12	0,08	
		145	8	0,04	
		155	8	0,04	
74	70	165	8	0,04	Eau recyclée
		175	8	0,04	
		185	8	0,02	
		195	8	0,02	
		205	8	0,02	
		215	8	0,02	
		225	8	0,02	



Filière Ingénieurs Industries Agricoles et Alimentaires



Résumé

Nom et prénom : AHLAM ELBAZ

Année Universitaire : 2014-2015

Titre : Etude et Optimisation des étapes de régénérations des résines de décoloration du sirop de sucre

Le présent rapport est le résultat d'un travail réalisé au sein de la COSUMAR (Compagnie Sucrière Marocaine de Raffinage) de Casablanca et précisément dans le service sirop dans la station de la décoloration.

Actuellement, le monde entier est en train de subir les conséquences de la crise financière et cherche à la surmonter avec un minimum de dégâts. Au Maroc, l'industrie du sucre n'a pas été épargnée par cette crise. Et c'est dans cette perspective, que la COSUMAR a remis en cause son système de production et les méthodes de la fabrication. Par conséquent, l'optimisation des ressources devient une nécessité. D'où l'intérêt de ce projet de fin d'étude.

Il consiste à étudier et optimiser les étapes de la décoloration du sirop du sucre sur résine afin de réduire les couts de l'opération de décoloration. Vu que cette dernière consomme des quantités énormes d'eaux et de réactifs lors de la régénération de cette résine, la minimisation de ces consommations était toujours un objectif recherché par les raffineries de sucre.

Mon travail a permis d'établir des suivis de l'opération de décoloration et d'analyser les effluents de ses étapes. Les résultats obtenus ont permis une réduction de la consommation d'eau et de renvoyer le maximum possible d'effluents vers l'unité de nanofiltration pour récupérer de la saumure régénérante. Cette optimisation a permis à l'entreprise COSUMAR de générer des gains estimés à **36 084 Dhs/mois**.

MOTS-CLES : COSUMAR ; Décoloration ; Sucre ; Optimisation ; Résine ; Régénération ; Nanofiltration.