

Licence Sciences et Techniques (LST)

GENIE CHIMIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

Optimisation de la conduite de la station d'épuration

Présenté par :

◆ TAOUIL Mohamed

Encadré par :

- ◆ Mr EL AMRI MUSTAPHA (Société)
- ◆ Pr KANDRI ROUDI Youssef (FST)

Soutenu Le 09 Juin 2018 devant le jury composé de:

- Pr KANDRI RODI Youssef
- Pr CHAKROUNE Said
- Pr MISBAHI Houria

Stage effectué à COSUMAR (Zaio)

Année Universitaire 2017 / 2018

Dédicace

Aucun mot ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être.

Je vous remercie mes chers parents pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours.

À mon frère et ma sœur pour leur encouragement et leur bonté, à toute ma famille, mes amis, et ceux qui sont très chers.

Je les remercie pour leurs encouragements et leur soutien

A tous ceux qui, par un mot, m'ont donné la force de continuer ...

Remerciements

Avant tout développement, je souhaite commencer ce rapport de stage en remerciant ceux qui m'ont fait profiter à leur expérience professionnelle.

Tout d'abord, je tiens à remercier tout l'équipe de Sucrerie Raffinerie COSUMAR ZAIO, pour leur accueil et leur collaboration. Plus précisément, je tiens à remercier sincèrement :

- ✓ MR SIKILLI AHMEDAMINE directeur technique de l'usine, pour avoir m'accepter en tant que stagiaire dans l'entreprise, pour sa gentillesse, sa disponibilité, et aussi pour les informations précieuses.*
- ✓ MR EL AMRI MUSTAPHA, l'encadrant de l'entreprise responsable de la fabrication, qui m'a formé et accompagné avec beaucoup de patience et de pédagogie malgré ses occupations énormes, de son sacrifice et de son temps précieux,*

Je tiens à remercier : les gens du laboratoire d'analyse de COSUMAR qui ont contribué au bon déroulement du stage et la réussite de ce travail .Les gens de la station épuration qui n'ont pas cessé de me donner les conseils et les recommandations pour atteindre mon objectif.

Mes remerciements vont également à tout le corps enseignant de la FST, plus particulièrement à l'ensemble des enseignants du Département de Chimie, pour les efforts qu'ils n'ont pas hésité à déployer au profit de ma formation à la FST.

Je tiens aussi à remercier mon encadrant pédagogique monsieur KANDRI RODI Youssef pour son aide et ses remarques précieuses.

Que les membres de jury M^{me} MISBAHI Houria et Mr CHAKROUNE Saïd trouvent ici l'expression de ma reconnaissance pour l'honneur qu'ils m'ont fait en acceptant de juger ce travail.

Enfin, je remercie toute personne ayant contribué de près ou de loin à l'aboutissement de ce travail.

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste d'abréviations

INTRODUCTION	1
<i>Chapitre I : GÉNÉRALITÉS</i>	2
I. Présentation de la société d'accueil	3
1) Historique	3
2) Fiche technique	4
3) Organigramme	5
II. Généralités sur la betterave sucrière	5
1) Composition anatomique	5
2) Composition chimiques de la betterave sucrière	6
III. Propriétés physico-chimiques du saccharose	6
a. Caramélisation	7
b. Point de fusion	7
c. Pouvoir rotatoire	7
<i>Chapitre II : PROCESSUS DE FABRICATION DU SUCRE BLANC</i>	8
I. Réception des betteraves	10
II. Stockage, lavage et découpage des betteraves	10
1) Le stockage	10
2) Le lavage	10
3) Le découpage	11
III. Extraction par diffusion	11
IV. L'épuration	12
V. Evaporation	12
1) But de l'opération	12
2) Description de l'atelier d'évaporation à multiples-effets	12
VI. La cristallisation du sucre	13
1) But de la cristallisation	13
2) Le processus de la cristallisation	13
VII. Séchage, emballage et conditionnement	14

Chapitre III: <i>SUIVIE ET OPTIMISATION</i>	15
<i>DE L'ÉPURATION</i>	15
I. L'épuration calco-carbonique	16
1) Fabrication du lait de chaux et du gaz carbonique	16
2) Le pré-chaulage / chaulage	17
a. Pré-chaulage en sucrerie de betterave	17
b. Chaulage	18
3) Première carbonatation/ Décantation des boues	18
a. Première Carbonatation	18
b. Décantation des boues.....	19
1) Deuxième carbonatation/ filtration	20
2) Décalcification.....	20
II. Matériels et Méthodes	21
1) Détermination du Brix	21
2) Détermination de la teneur en saccharose (polarisation).....	21
3) La pureté	21
4) L'alcalinité.....	22
5) Epuration standard	22
6) Courbe de préchaufage	23
7) Contrôle des sels de chaux.....	24
III. Résultats & discussion	24
Conclusion générale	30
Références	32

Liste des figures

<i>Figure 1: Organigramme de la société.....</i>	<i>5</i>
<i>Figure2 : La betterave sucrière.....</i>	<i>6</i>
<i>Figure 3: la molécule saccharose.....</i>	<i>6</i>
<i>Figure 4: schéma générale du processus d'extraction de sucre.....</i>	<i>9</i>
<i>Figure 5: silo de stockage de la betterave.....</i>	<i>10</i>
<i>Figure 6: Schéma d'une cossette faitière</i>	<i>11</i>
<i>Figure 7: principe de la diffusion.....</i>	<i>11</i>
<i>Figure 8: Diffuseur RT4</i>	<i>12</i>
<i>Figure 9: évaporateur à multiples effets</i>	<i>13</i>
<i>Figure 10: appareil à cuisson BMA</i>	<i>14</i>
<i>Figure 11: préchauleur</i>	<i>18</i>
<i>Figure 12 : courbe de préchauler</i>	<i>26</i>
<i>Figure 13: courbe de préchauleur après le réglage.....</i>	<i>27</i>
<i>Figure 14: point optimum du deuxième carbonatation.....</i>	<i>28</i>
<i>Figure 15: le rendement de la décalcification en fonction du temps.....</i>	<i>29</i>

Liste des tableaux

Tableau 1: historique de la société Cosumar Zaio.....	4
Tableau 2: détermination de l'alcalinité.....	22
Tableau 3: caractéristique de jus de diffusion	24
Tableau 4: temps de séjour à l'épuration.....	25
Tableau 5: les résultats de l'épuration standard	25
Tableau 6: caractéristique du jus industriel.....	25
Tableau 7 : pH et alcalinité optimums	26
Tableau 8: pH et alcalinité au niveau de préchauffeur	26
Tableau 9 : la répartition de pH et l'alcalinité dans le préchauffeur après le réglage	27
Tableau 10: contrôle de la T° et l'alcalinité au niveau du chauffeur.....	27
Tableau 11: caractéristique du jus du deuxième carbonatation	28
Tableau 12: sels de chaux à l'entrée et à la sortie de décalcification	29

Liste des abréviations

- **SUCRAFOR** : Sucrerie Raffinerie de L'oriental.
- **RT** : Raffinerie Tirlemontoise.
- **1^{ère} CO₂** : Première carbonatation.
- **2^{ème} CO₂** : Deuxième carbonatation.
- **JAE** : Jus avant évaporation.
- **PDAH** : produit de dégradation alcaline des hexoses.
- **EDTA** : Éthylène diamine tétra acétique.
- **P_{je}** : Pureté de jus épuré.
- **P_{jd}** : Pureté de jus de diffusion.

INTRODUCTION

Le **sucré** (saccharose) est extrait à l'échelle industrielle, de la canne à sucre et de la betterave sucrière. Ces plantes possèdent la particularité d'avoir comme glucide de réserve le saccharose, résultant de la synthèse chlorophyllienne et de le stocker sous forme de solution aqueuse dans les cellules, sans en modifier la composition. Ces plantes accumulent le sucre, au niveau de la tige pour la canne à sucre et au niveau de la racine pour la betterave sucrière. Le Maroc est un gros consommateur de sucre. D'après les chiffres publiés par le ministre chargé des affaires générales, nous en consommons 1,211 million de tonnes par an, soit environ 35 kilos par personne, ce chiffre, nettement supérieur à la moyenne mondiale (20 kilos) a tendance à augmenter : le taux de croissance annuelle est environ de 1,2 %. La Compagnie Sucrière Marocaine de Raffinage, **COSUMAR** est l'unique producteur du sucre au Maroc depuis 2005, en produisant environ 3000 tonnes par jour.

Pour garder sa dominance, la COSUMAR s'engage dans l'amélioration continue de sa production par un contrôle des différentes opérations techniques et une bonne optimisation de sa consommation d'énergie, de la matière première et de l'eau.

L'objectif des sucreries est de partir d'une matière première la plus pure possible et de produire avec un rendement optimum, un sucre de bonne qualité. La sucrerie est donc principalement une industrie de séparation et de purification. Un grand nombre d'opérations unitaires de séparation sont ainsi mises en œuvre tel que l'épuration.

Le présent travail se propose d'apporter une contribution à l'amélioration de la qualité de Jus par le biais de la suivie de l'épuration industrielle de la sucrerie COSUMAR ZAIO.

La finalité vers laquelle tend cette étude consiste à rendre plus compréhensible l'effet de chaque étape de l'épuration sur le rendement épuration. Cette problématique constituera donc les axes autour desquels, s'articule notre travail. Une étude bibliographique nous a permis de connaître les réactions chimiques induites durant l'épuration.

Par ailleurs, puisque l'épuration de jus de diffusion de betterave sucrière a fait l'objet de notre étude, il nous était nécessaire en premier lieu de rappeler la composition chimique de la betterave, et les plus importantes étapes de l'industrie sucrière.

Chapitre I : GÉNÉRALITÉS

I. PRÉSENTATION DE LA SOCIÉTÉ D'ACCUEIL

1) Historique

La société **SUCRAFOR** a été créée en 1971, filiale du groupe **COSUMAR** (Compagnie Sucrière Marocaine et de Raffinage) est l'unique sucrerie dans la région de l'oriental, située au centre du périmètre de la basse Moulouya et implantée à ZAIO dans la province de Nador. Cette unité est spécialisée dans la transformation de la betterave à sucre et la production de sucre blanc granulé ensaché en 2kg et regroupé en fardeau de 20kg Sucre blanc granulé emballé en sac de 50 kg conditionnée sous la marque «LA GAZELLE » SUCRAFOR produit également les pellets et la mélasse, la production annuelle est :40 000 tonne de sucre: 50 kg, 2kg. 19 000 tonne de pellet .16 000 tonne de mélasse. Elle participe à hauteur de 10 % de la production nationale de sucre et au développement de l'élevage par l'utilisation des produits dérivés de sucre. Son activité soutenue au niveau agricole et industriel fait de SUCRAFOR l'un des promoteurs du groupe COSUMAR dans cette région. Après l'acquisition de SUCRAFOR par COSUMAR en 2005, cette dernière a lancé un projet intitulé « INDIMAGE 2012 » étalé sur sept ans. Concrétisé en 2006 par le lancement de 18 chantiers stratégiques (ressources humaines, finances et comptabilité, amont agricole, production, conditionnement, commercialisation etc..., ce programme avait pour objectifs essentiels : la mise à niveau de la filière sucrière, l'amélioration des performances agricoles et l'augmentation des performances de l'outil industriel, développement des nouvelles synergies au sein du groupe. Véritable projet d'entreprise ; INDIMAGE 2012 a mobilisé un investissement de 1.6 Milliard de dirhams ; devrait par ailleurs favoriser le développement de la production sucrière et augmenter la part de la production locale sur le marché national.

1970	- Construction de l'usine
1971	- Démarrage de l'usine avec une capacité nominale 3000 Tonnes betteraves/j et 1000 tonnes de cannes /j
1997	-Abandon de la culture de la canne à sucre
2004	- Augmentation de la capacité de la cristallisation à 750 tonnes de sucre blanc par jour
2005	- Acquisition de la SUCRAFOR par le groupe COSUMAR
2008	- Augmentation superficie sous betteraves à 6000 Ha
2009	- Obtention du certificat du SMI QSE
2010	- Augmentation de la capacité de 3600 à 4200 TB/J
2011	- Obtention du label RSE de CGEM
2012	- Renouvellement du certificat du SMI QSE
2013	- Cession de 27 % du Capital de COSUMAR à WILMAR INTERNATIONAL
2014	- Mécanisation totale de la culture de la betterave à sucre
2015	-Mise en service de la station de traitement des eaux
2016	-Migration vers le système SAP
2017	-Absorption de SUCRAFOR par la COSUMAR ainsi devient COSUMAR Sucrierie de ZAIO

Tableau 1:historique de la société Cosumar Zaio

2) Fiche technique

Dénomination sociale : Sucrierie et Raffinerie de l'Oriental

Date de construction : 22 février 1971

Activité : Fabrication de sucre de betterave granulé

Capacité de production : 4500 tonnes/jour

Statut juridique : Société anonyme

Capital : 66 200 000 DH

Registre de commerce : Casablanca – 31 079

Patente N° : 57304070

3) Organigramme

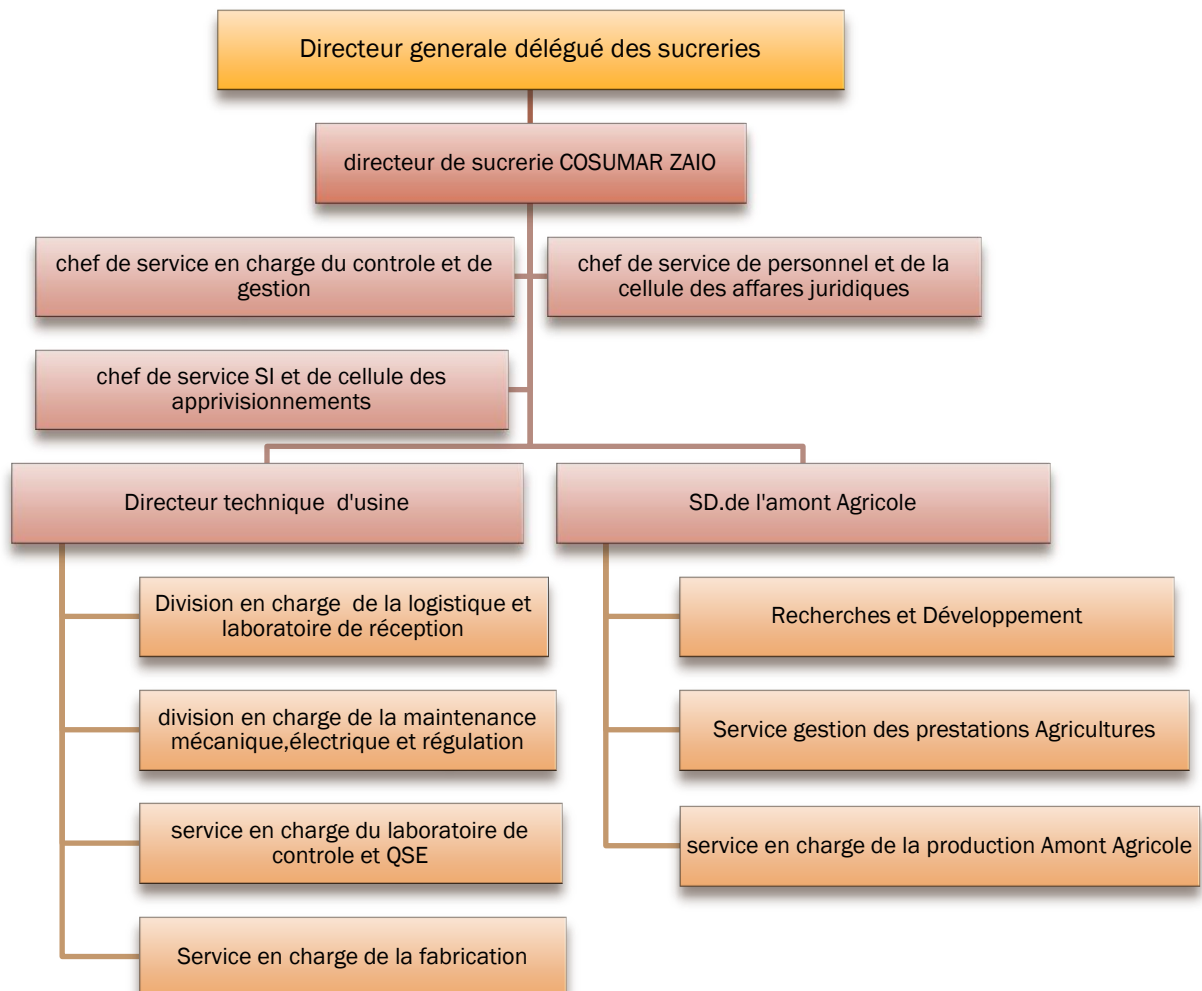


Figure 1: Organigramme de la société

II. GÉNÉRALITÉS SUR LA BETTERAVE SUCRIÈRE

1) Composition anatomique

On distingue quatre parties essentielles dans la betterave sucrière :

- Le bouquet foliaire
- Le collet

- La racine avec un ou deux sillons saccharifères.
- Les radicelles.

Son poids moyen est de l'ordre de 600 à 700 g, le sucre qu'il contient est de 16 à 20 % de sa masse. La zone la plus riche en sucre est le cœur, puis de part et d'autre du cœur, deux zones de richesse moyenne et en fin les deux extrémités, collet et radicelle n'en contiennent pratiquement pas.

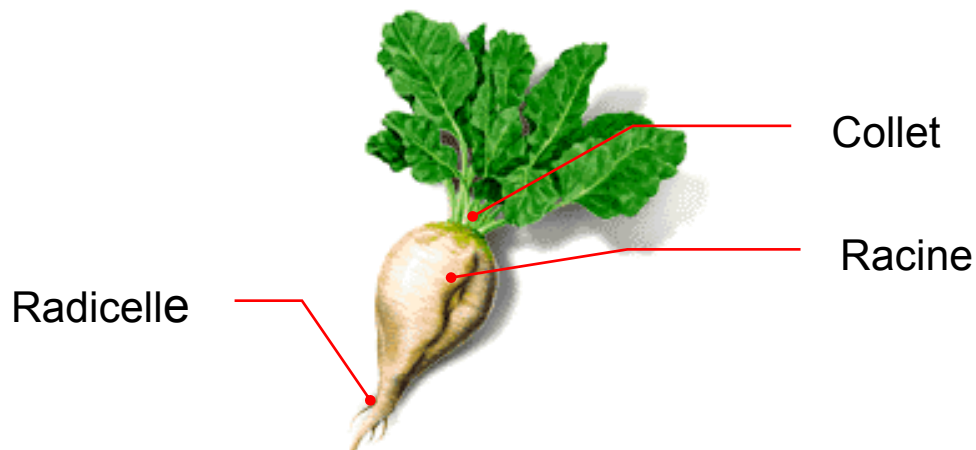


Figure2 : La betterave sucrière

2) Composition chimiques de la betterave sucrière

Du point de vue chimique, la betterave sucrière est composée environ de :

- 5 % d'armature cellulosique, qui se trouve éliminée dans les pulpes (le Marc)
- 75 % d'eau.
- 18 à 20 % de matières sèches dissoutes dans l'eau

La qualité de la betterave est un paramètre important, en effet, à côté du saccharose et de l'eau, la betterave contient des non-sucre qui limitent le rendement d'extraction. Parmi ces composés, on peut citer le potassium, le sodium, le glucose, et l'azote sous forme d'acide α -aminé (**annexe1**).

III. PROPRIÉTÉS PHYSICO-CHIMIQUES DU SACCHAROSE

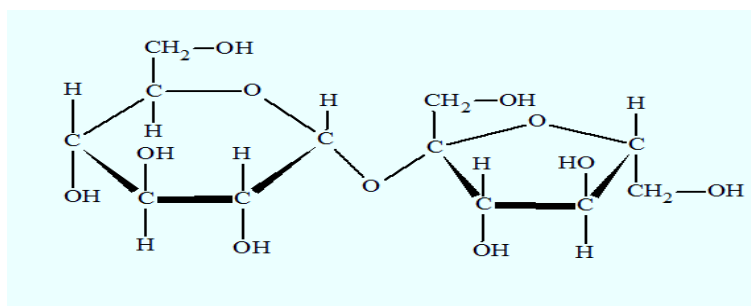


Figure 3: la molécule saccharose

Le saccharose est un sucre double (diholoside), constitué par la condensation de deux oses : une molécule de glucose et une molécule de fructose. La masse molaire du saccharose est 332 g/mol et sa densité $d=1,6$. Son nomenclature est

le **α -D-glucopyranosyl (1 $\rightarrow$ 2) β -D-fructofuranoside**. Il peut être symbolisé par *Glc-Fru*. C'est un glucide simple.

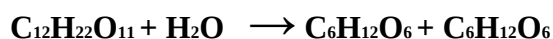
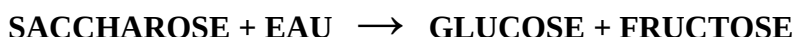
La molécule de saccharose se compose de deux parties réunies par un pont d'oxygène. C'est le point faible de la molécule. Ce pont peut se rompre par action de :

- Ferment : Le saccharose est fermentescible par des levures, en absence d'oxygène. au cours du process le sucre est susceptible de subir, certain nombre de fermentations, alcoolique, lactique, acétique, etc...



Glucose ou fructose $\longrightarrow$ gaz carbonique + alcool éthylique

- Acidité : hydrolyse acide en cas de baisse de pH. La destruction du sucre est irréversible, les produits obtenus se nomment « sucre inverti ».



a. Caramélisation

Un chauffage non contrôlé du sucre mène au développement d'une coloration jaune brunâtre dont l'intensité augmente, avec l'augmentation de la température du chauffage. Les produits de décomposition sont des Caramels. Les caramels sont nuisibles par leur coloration en plus de sucre perdu. La formation des caramels en sucrerie est due à la déshydratation complexe du saccharose sous haute température. Le saccharose s'hydrolyse en sucre inverti (glucose et fructose). Ces sucres invertis subissent sous l'action de la chaleur, une série de réactions de déshydratation et de cyclisation, pour former des composés précurseurs de caramels.

b. Point de fusion

La valeur du point de fusion du saccharose généralement admise est de 186°C. Cette valeur peut varier entre 182°C et 192°C selon la pureté de l'échantillon.

c. Pouvoir rotatoire

Le saccharose a la propriété de dévier le plan de la lumière polarisée vers la droite, c'est une substance dextrogyre. Le pouvoir rotatoire dextrogyre du saccharose est à 20°C, $\alpha_D = +66,44$

Chapitre II : PROCESSUS DE FABRICATION DU SUCRE BLANC

Le sucre de la betterave s'obtient au terme d'un travail d'extraction. Il s'agit d'isoler le saccharose en éliminant, par étapes, les autres composants de la betterave. Cette séparation est rendue possible grâce à la succession d'un ensemble d'opérations unitaires décrites dans la figure suivante :

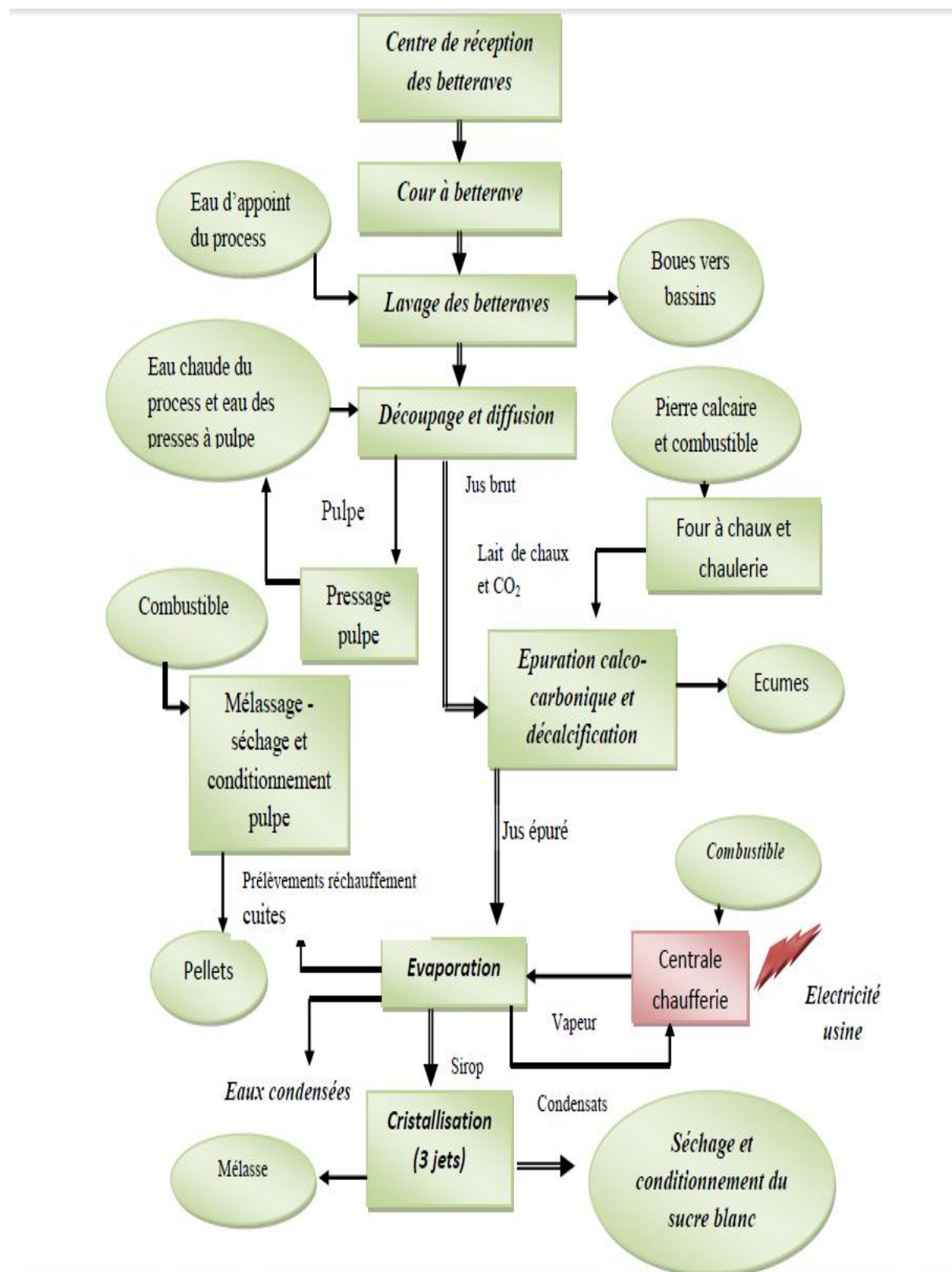


Figure 4: schéma générale du processus d'extraction de sucre

I. RÉCEPTION DES BETTERAVES

Une fois arrachées, les betteraves sucrières sont acheminées rapidement par camions à la sucrerie. Chaque camion chargé de betterave est pesé, la différence entre le véhicule chargé et son poids après déchargement, donne le poids total de la betterave livrée.

Un échantillon de 25 à 30 kg est alors prélevé par une sonde pour évaluer le poids net et la teneur en sucre. Cet échantillon permet de déterminer la qualité technologique de la betterave et les critères de paiement des agriculteurs. Les betteraves prélevées sont pesées pour déterminer leur poids brut, ensuite elles sont pesées une autre fois après lavage, nettoyage et décolletage pour déterminer leur poids net, la différence représente la tare-terre.

Pour connaître la richesse de la betterave en sucre, on procède à un dosage sur le même échantillon. La mesure saccharimétrique est effectuée sur un filtrat résultant de la digestion aqueuse de 26 de râpure et de 177 ml d'une solution aqueuse de sous-acétate de plomb à 30%. La richesse moyenne en sucre varie de 15 à 20% de son poids.

II. STOCKAGE, LAVAGE ET DÉCOUPAGE DES BETTERAVES

1) Le stockage

L'entreposage des betteraves dépend du pays (conditions climatiques) et de sa production, les betteraves peuvent donc être transformées dans les 24 heures suivant leur récolte. Les betteraves sont stockées dans des silos de stockage sous forme de tas dans un silo (55 à 61m de largeur et 6 à 7m de hauteur), cette réserve de betterave garantie une autonomie de 48 heures à l'usine.



Figure 5: silo de stockage de la betterave

2) Le lavage

Une fois dans l'usine, il faut séparer les racines de betterave de tous les corps étrangers. Les betteraves sont donc lavées dans un lavoir. D'abord, en présence de peu d'eau, par frottement entre elles, la terre s'en détache. Les betteraves sont alors acheminées vers une fosse d'eau boueuse. Elles flottent alors que les cailloux tombent au fond. Ces cailloux sont récupérés par une roue qui les amène vers l'extérieur. La betterave donc retire toutes les matières étrangères (terre, pierres, herbes, feuilles, etc. ...) par l'épierreur et le désherbeur, est ensuite dirigée vers la fabrication (la trémie à betterave).

3) Le découpage

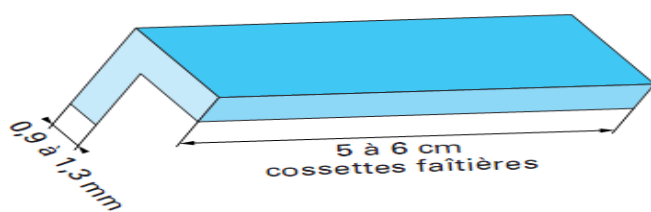


Figure 6: Schéma d'une cossette faitière

Les betteraves propres sortant du lavoir, sont stockées dans une trémie à betterave, tombent dans le coupe-racines dont les couteaux sont entraînés par un disque de grand diamètre découpant les racines en fines lanières assez rigides appelées cossettes. Les couteaux sont caractérisés par leur nombre de divisions et par leur largeur et dirigé sur des porte-couteaux logés dans les alvéoles. Les cossettes de forme faitière (en forme de V) ont une longueur de 5 à 6 cm et une épaisseur de 0.9 à 1.3mm, elles offrent ainsi une large surface très favorable à l'extraction du jus de diffusion.

III. EXTRACTION PAR DIFFUSION

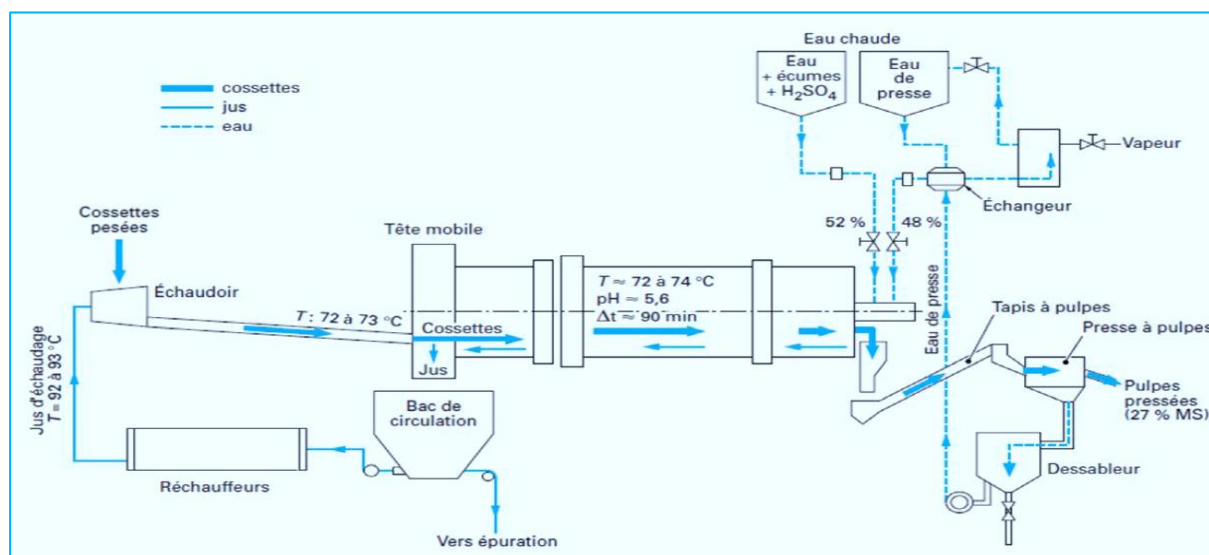


Figure 7: principe de la diffusion

L'extraction du sucre à partir des cossettes se fait par l'opération de transfert des composés solubles de la matière première vers l'eau, il s'agit de la diffusion. Les cossettes circulent à contre-courant avec de l'eau chaude de 70 à 75°C dans un diffuseur. Afin de dénaturer la membrane cytoplasmique de la cellule. Après dénaturation, les matières solubles du jus de la betterave passent en solution à travers la membrane cellulosique perméable selon les lois de la diffusion. On obtient à une extrémité du diffuseur, un « jus de diffusion », contenant en moyenne : 84.52% d'eau, 13.86% de saccharose et de 1.62% à 2 % d'impuretés minérales et organiques. Le diffuseur utilisé en COSUMAR ZAIO est de type « RT4 » (C'est un tambour horizontal, monté sur galets, qui tourne lentement sur lui-même ' 20 à 50 tour/heure').



Figure 8: Diffuseur RT4

A la sortie de la diffusion, les cossettes épuisées appelées pulpes humides, ont une teneur élevée en eau de 88 à 92 %, et de 8 à 12 % de matière sèche. Elles sont pressées, séchées et agglomérées en pellets pour servir à l'alimentation du bétail.

IV. L'ÉPURATION

Le but de l'épuration est d'éliminer le maximum des impuretés contenues dans le jus de diffusion. Le jus sortant des diffuseurs contient de sucre et toutes les impuretés solubles contenues dans les betteraves. Pour éliminer les impuretés, il faut soumettre le jus à une purification. L'agent d'épuration employé est la chaux, produite par calcination de pierres calcaires dans un "four à chaux", puis transformée en lait de chaux. Ce lait, mélangé au jus de diffusion, amorce la séparation des impuretés, mais ne permet pas leur décantation. Le "jus chaulé" doit encore être soumis, dans des appareils à carbonater, à l'action du gaz carbonique récupéré par aspiration au sommet du four à chaux. La chaux précipite alors sous forme de carbonate de calcium, dont les grains entraînent les impuretés les plus fines. Impuretés et chaux sont éliminées par filtration. La chaux chargée d'impuretés, appelées écumes. (On va détailler le processus de l'épuration dans le chapitre qui suit).

V. ÉVAPORATION

1) But de l'opération

L'atelier de l'évaporation permet de concentrer le Jus avant évaporation de 13-14% de Brix jusqu'à l'obtention d'un sirop à une concentration proche de la saturation, soit 68.5% de Brix.

2) Description de l'atelier d'évaporation à multiples-effets

L'évaporation a eu lieu dans 5 évaporateurs à multiples effets, C'est la vapeur issue du jus concentré dans chaque évaporateur qui sert au réchauffage du jus entrant au corps suivant sous pression pour les quatre premiers (125 à 130°C) et sous vide pour le dernier (85°C) pour éviter la caramélisation du sucre. Rappelons en effet que la température d'ébullition d'un liquide diminue avec sa pression. C'est ce principe qui est appliqué dans le système d'évaporation à multiples effets. Seul le premier effet utilise la vapeur vive produite dans une chaudière à fuel et ramenée à trois bars après passage dans un turbo-alternateur qui génère l'électricité nécessaire à l'usine.

La seule remarque à signaler est que dans cette installation, on rencontre deux catégories de caisses d'évaporation : les caisses à grimpages et les caisses à descendages.

Le jus entre de façon continue dans la partie inférieure de la caisse à grimpage et se répartit uniformément entre les tubes. Le jus monte en bouillant dans les tubes sous forme d'une émulsion de jus et de vapeur sous l'effet de la vapeur chauffante. Cette émulsion sort dans la partie supérieure des tubes 'la calandre ' dans laquelle s'effectue la séparation de la vapeur et du jus concentré. Le jus passe par le tube central pour passer à l'effet suivant et ainsi de suite jusqu'à la dernière caisse d'évaporation, à la sortie le sirop va passer alors vers la cristallisation.



Figure 9: évaporateur à multiples effets

VI. LA CRISTALLISATION DU SUCRE

1) But de la cristallisation

La cristallisation est une opération de séparation et de purification. Elle a pour but d'extraire, avec un rendement aussi élevé que possible, le sucre dissous dans le sirop sous forme cristallisée. Les non sucre sont concentrés dans une solution épuisée : la **mélasse**.

La cristallisation se fait dans des appareils à cuire appelés **cuites** fonctionnant sous vide pour empêcher la recoloration de sucre, où le sirop circule dans les tubes et la vapeur de chauffage circule dans l'espace inter-tubulaire.

2) Le processus de la cristallisation

La cristallisation en usine est généralement réalisée en trois étapes appelées jets. En général on se limite à un rendement en cristaux de 55% de masse cuite en premier jet et on réalise une cristallisation fractionnée en trois jets. Cette opération commence tout d'abord par une alimentation du premier jet par la liqueur standard (sirop qui vient de l'évaporation). La liqueur va subir, en premier lieu, une cuisson ce qui va induire la formation des cristaux. Pour déclencher la cristallisation, on introduit des grains de sucre très petits (10 μm), c'est **l'ensemencement**. Il est à noter que dès que l'on est en présence de cristaux en suspension dans un sirop, on parle de masse cuite et le sirop prend le nom **d'eau-mère**. La masse cuite sera

refroidie lentement dans des malaxeurs puis centrifugée dans desessoreuses pour en séparer les cristaux de l'eau mère qui va prendre après cette opération le nom d'**égout pauvre**. Ensuite la surface des cristaux est lavée par pulvérisation d'eau, on parle de « **clairçage** ». Cette étape entraîne une légère redissolution du sucre cristallisé et le sirop issu du lavage est donc nettement plus pur que le précédent égout, d'où son nom

« **Égout riche** » qui sera ajouté au sirop qui alimente le jet dont il est question. A partir du premier jet, on obtient du sucre humide qui sera séché et refroidi puis acheminé vers une unité de stockage dans des immenses silos et un égout pauvre qui subira deuxième cuisson puis une troisième. Le sucre du deuxième jet est ajouté à celui obtenu du premier jet et peuvent être directement commercialisés. En ce qui concerne le troisième jet, c'est un jet d'épuisement où l'on obtient un sucre roux qui est recyclé et une eau-mère, appelée **mélasse**, dans laquelle sont concentrées toutes les impuretés introduites dans l'atelier de cristallisation.



Figure 10: appareil à cuisson BMA

VII. SÉCHAGE, EMBALLAGE ET CONDITIONNEMENT

Le sucre blanc cristallisé est évacué du fond de la turbine sur un transporteur à secousse, encore chaud et humide, il est alors séché puis refroidi dans un sécheur-refroidisseur, qui contient un dépoussiéreur qui collecte la poussière sucrée qui refondu et réincorporée dans le cycle de production. Le sucre séché se dirige vers l'atelier de conditionnement. Alors elles sont ensuite emballées dans des sacs de 50 kg destinée aux usines de grandes consommation du sucre, ou dans des sachets de 2 kg qui sont plus commercialisés.

Chapitre III: SUIVIE ET OPTIMISATION DE L'ÉPURATION

DESCRIPTION DE LA PROBLEMATIQUE

Notre étude sera pour objectif le suivie de l'épuration du jus de diffusion provenant de la betterave sucrière, nous nous sommes efforcés d'apporter une contribution à la connaissance de la station d'épuration, et comprendre l'effet des étapes de l'épuration sur le rendement. Ainsi la recherche des paramètres optimums de certaines étapes de la fabrication, et nous essayons de l'atteindre par la réalisation de l'épuration standard au niveau du laboratoire afin de comprendre l'état de l'épuration à l'échelle industriel et essayer de trouver des solutions aux problèmes liés à l'épuration.

I. L'ÉPURATION CALCO-CARBONIQUE

L'épuration est une étape importante et dont la conduite est particulièrement délicate en technologie sucrière. Le jus brut de betterave est plus ou moins chargé en impuretés minérales et organiques. Une épuration bien conduite permet un gain de pureté de 3 % à 4 % à partir d'un jus brut extrait des betteraves et dans des conditions normales d'exploitation. Rappelons que le gain de pureté de 1% augmente le rendement de sucre blanc de 2 %. Plusieurs raisons expliquent la nécessité d'une épuration du jus de diffusion avant concentration puis cristallisation :

*Le jus de diffusion est d'un aspect noir, grisâtre et opalescent. Il contient des particules en suspension auxquelles adhèrent des flocons de matières protéiques coagulées, et il est difficile de filtrer ces particules car elles collent aux filtres et le jus filtré ne serait pas clair.

*Le jus de diffusion est acide pH (5.6 - 6.1) et le chauffage en évaporation provoquent une hydrolyse du saccharose avec la production de sucres réducteurs qui eux-mêmes se dégradent en formant des matières colorantes...

La chaux est l'agent de défécation depuis 1849, à partir du procédé ROUSSEAU qui consiste à séparer le précipité formé au préchaulage par décantation. Ce procédé entraînait des difficultés et des pertes importantes et malgré de nombreuses recherches, il n'est pas suffisamment amélioré.

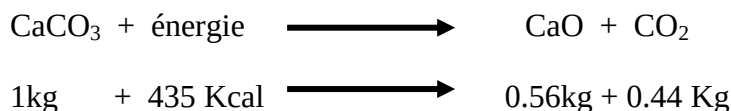
Le processus actuel découle du procédé proposé en 1859 par deux chimistes Français Perrier et Possoz et consistant à réaliser une double carbonatation avec un chaulage à 20 g de Ca O / litre. (Épuration calco - carbonique). Ce procédé, d'adjonction de la chaux au jus brut suivie d'un double carbonatation, constitue le principe de base autour duquel gravitent tous les schémas d'épuration appliqués en technologie sucrière.

1) Fabrication du lait de chaux et du gaz carbonique

La chaux vive est fabriquée dans un four à lit fixe ou la pierre à chaux est dissociée par la combustion de coke, comme combustible. Il faut que la coke et le calcaire soient uniformément

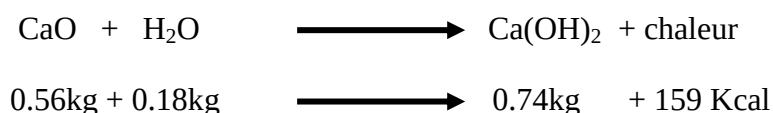
répartis en tout lieu afin d'assurer un rapport d'énergie thermique égal à chaque pierre. Théoriquement, pour dissocier 1kg de calcaire, il faut 54g de coke pur et sec. La quantité réelle à utiliser est en fait plus importante car le coke n'est jamais ni sec, ni pur.

La réaction chimique qui s'opère dans le four est la suivante :



La mise en œuvre de la chaux exige sa transformation en lait de chaux. L'extinction de la chaux vive extraite du four est réalisée avec un mélange de jus sucré et d'eau car la chaux n'est pratiquement pas soluble dans l'eau pure.

La réaction chimique qui s'opère pour la production de lait de chaux est la suivante :



L'action de la chaux et du gaz carbonique sur les impuretés s'exerce par les quatre mécanismes physico-chimiques suivants :

✓ **Précipitation**

Acides : carbonique, oxalique, lactique, tartrique, citrique, etc.

Cations : calcium, aluminium, fer,

Anions : hydroxydes, sulfates, phosphates

✓ **Floculation – Coagulation**

Protéines - Saponines - Colorants poly phénoliques - Etc.

✓ **Dégradation**

Amides – Amines – Sucres réducteurs.

✓ **Adsorption**

Colorants mélanoidines – Acides organiques – Produits de condensation, PDAH ...

2) Le pré-chauffage / chauffage

a. Pré-chauffage en sucrerie de betterave

L'objectif du pré-chauffage est d'éliminer les colloïdes et d'assurer en même temps la précipitation des acides donnant des sels insolubles. Le taux d'épuration des colloïdes peut atteindre plus de 90% si le pré-chauffage est bien conduit.

La condition impérieuse du bon fonctionnement d'un pré-chauffeur, afin d'assurer l'irréversibilité des complexes formés (travaux de Dedek, Vastako et Brieghel-Muller), consiste en :

- *Une augmentation progressive de l'alcalinité d'un compartiment à l'autre par l'entrée de chaux
- * Un temps de séjour suffisant afin d'assurer une bonne floculation, précipitation et décoloration.

Le préchauteur, de par sa construction compartimentée assure cette progressivité. Le jus passe progressivement du pH d'origine au pH de 11,2 et à une alcalinité finale d'ordre de 2.9 à 3.3 gramme de CaO/L.

Le préchauteur utilisé est de type (Brieghel-Muller) c'est un bac cloisonné composé de 6 compartiments horizontaux.

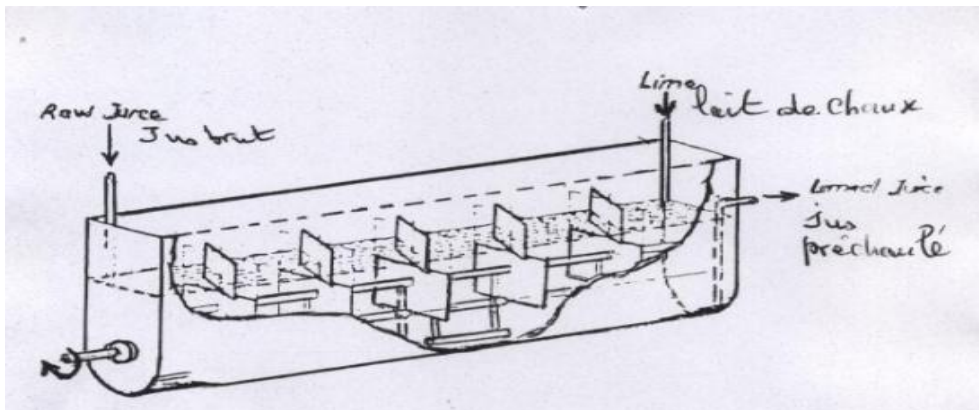


Figure 11: préchauteur

b. Chaulage

Les Floculats volumineux et gélatineux du pré-chaulage sont difficilement filtrables.

Le premier rôle du chaulage est d'apporter la chaux qui produira le carbonate de calcium. Ce dernier adsorbera des impuretés et constituera un adjuvant de filtration minéral. Le deuxième rôle du chaulage est de perfectionner l'épuration commencée au pré-chaulage en poursuivant les réactions de dégradation. Le chaulage massif et brutal portant l'alcalinité entre 11 à 15 g CaO/L. Pour que ces réactions soient optimales, le chaulage massif est immédiatement suivi d'un réchauffage entre 84 à 86°C et un temps de séjour dans un bac de contact de l'ordre de 15 min afin de mieux assurer les réactions de dégradation.

Le bac de chaulage (chauteur) a la plus petite dimension possible en fonction de la régulation et de la nécessité d'obtenir une homogénéité du jus sans agitation violente.

3) Première carbonatation/ Décantation des boues

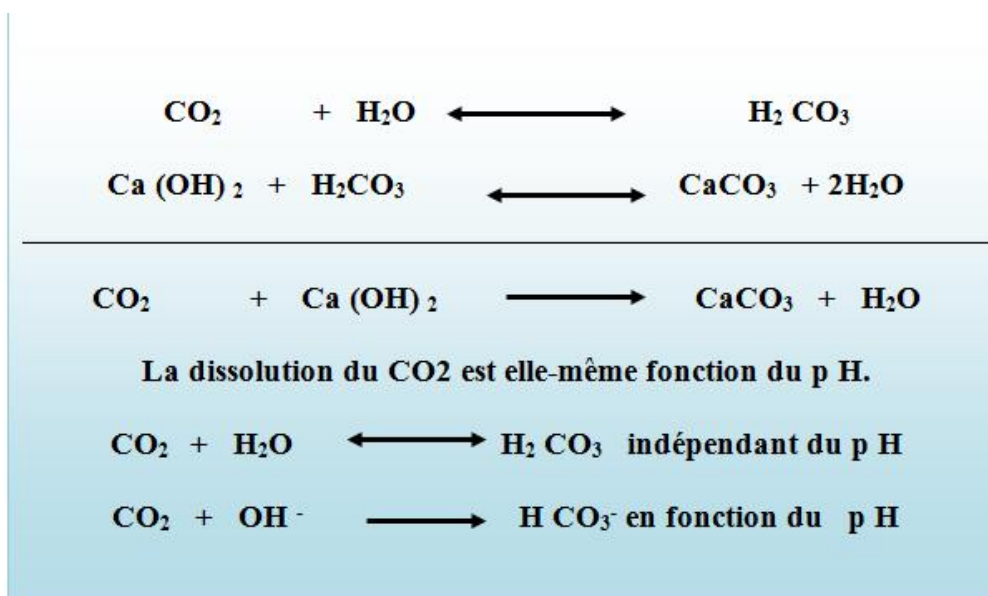
a. Première Carbonatation

La première carbonatation a pour objectif l'élimination de la chaux excédentaire, mais elle est surtout destinée à perfectionner l'épuration en formant du CaCO_3 dans le jus trouble et dont le pouvoir adsorbant est particulièrement actif sur les matières colorantes. Ainsi la neutralisation de l'alcalinité excédentaire jusqu'au pH du pré-chaulage (11.2) qui constitue l'optimum de

coagulation des colloïdes, un pH inférieur provoquerait une redissolution du précipité déjà formé. L'alcalinité correspondant à ce pH est appelée point optimum de 1^{ère} CO₂.

On réalise l'opération par barbotage du gaz du four à chaux à 30 à 40 % de CO₂ en volume dans le jus chaulé afin d'obtenir un jus clair.

Les réactions mises en jeu lors de la carbonatation sont :



La quantité de CaCO₃ formée est en fonction de la vitesse de dissolution de CO₂. La carbonatation est une réaction exothermique qui provoque un dégagement de vapeur d'eau qui se mélange aux gaz en excès.

b. Décantation des boues

Après la 1^{ère} CO₂, le jus troubles doivent être décanté pour séparer le précipité du jus clair par différence de densité. L'ajout d'un adjuvant de décantation, qui est un poly-électrolyte moyennement anionique de haut poids moléculaire sur la base d'acrylamide et d'acrylate de sodium, c'est un flocculant qui accélère la décantation.

Les boues résultantes de la décantation contiennent encore du sucre dont il faut minimiser les pertes, elles doivent être filtré dans des filtres à presse de type « PKF », afin de récupérer le jus sucré, le jus de lavage des boues, dit « petit jus » est utilisé pour dissoudre la chaux vive dans le four à chaux et former le lait de chaux. Ainsi une petite partie des boues de décanteur va subir un recyclage par pompage vers le quatrième compartiment du préchaaleur. L'introduction dans le

jus brut une phase solide dont le constituant principal est le CaCO_3 , a un effet positif sur le rendement de l'épuration avec une bonne filtrabilité et une bonne aptitude à la sédimentation.

1) Deuxième carbonatation/ filtration

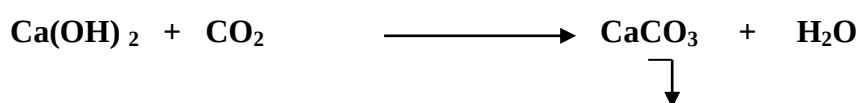
- ✓ Le jus clair du 1^{ère} CO_2 passe par deux réchauffeurs à vapeur qui augmentent sa température jusqu'à 92 à 95 °C, une haute température du jus du 2^{ème} CO_2 est la meilleure méthode pour limiter la solubilité des bicarbonates. Le jus chauffé est véhiculé ensuite vers une caisse du 2^{ème} CO_2 .

La 2^{ème} CO_2 a pour objectif de précipiter l'excès de chaux jusqu'au minimum de sels de chaux, l'élimination totale des sels de chaux est impossible car certains sels de calcium ne précipitent pas (acétates, lactates, butyrates ...), et aussi de neutraliser l'excès de l'alcalinité.

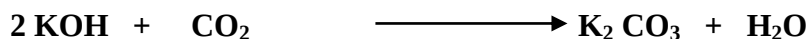
L'alcalinité ou pH correspond à une précipitation maximale de la chaux mais sans formation de bicarbonate de calcium s'appelle le point optimum du 2^{ème} CO_2 .

Réactions physico-chimiques du deuxième carbonatation.

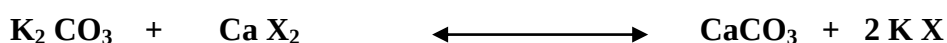
Le CO_2 agit d'abord sur la chaux pour former le CaCO_3 .



Mais également sur les bases libres KOH et NaOH pour les transformer en carbonates.



Ces carbonates solubles restent dans le jus et constituent l'alcalinité naturelle. C'est un paramètre important dans le contrôle de la 2^{ème} carbonatation. C'est cette alcalinité qui permet de déplacer le calcium de ses combinaisons solubles (lactate, acétate, etc...).



Le jus est d'autant plus décalcifié que son alcalinité naturelle est élevée.

- ✓ Après la 2^{ème} CO_2 , le jus soumis à une filtration appelé « filtration de sécurité » qui a pour rôle de séparer le précipité de CaCO_3 , les filtres utilisés sont de type (Grand-pont).

2) Décalcification

L'objectif de la décalcification est d'éliminer le calcium restant dans le jus afin qu'il ne puisse pas précipiter sur les tubes de l'évaporateur au moment de la concentration. En effet, ce dernier doit fonctionner toute la campagne sans nettoyage et il est important qu'il ne s'encrasse pas.

Les sels de calcium sont remplacés par des sels de sodium plus solubles. Le jus passe à travers un lit de résines poreuses (anioniques) d'un diamètre de 0.3 à 0.6 mm qui ont la propriété d'échanger les ions calcium avec les ions sodium.



Les procédés de décalcification se différencient par le mode de régénération des résines.

II. MATÉRIELS ET MÉTHODES

Afin d'atteindre notre objectif, il est nécessaire de procéder à des analyses physico-chimiques pour comprendre la voie de l'épuration. Les principaux produits de sucrerie que nous avons étudié sont issus de la station d'épuration de la sucrerie, à l'exception de jus de diffusion qui été collectés à la sortie de diffuseur RT4. Nous avons utilisé les méthodes d'analyse proposées par l'institut sucrier d'études, de recherche et de formation.

1) Détermination du Brix

Le Brix est le rapport entre la quantité de matières sèches contenues dans la solution, et la quantité de solution. Le Brix est généralement exprimé en pourcentage, soit en poids (gramme de MS % gramme de solution) est déterminé par réfractométrie.

$$\text{Brix} = \frac{\text{Quantité de matière sèches}}{\text{quantité de Solution}} \times 100$$

MATÉRIEL :

- Réfractomètre électronique thermostaté à 20°C à l'aide d'un thermocryostat.

2) Détermination de la teneur en saccharose (polarisation)

La teneur en saccharose d'une solution est le rapport entre la quantité de sucre contenue dans la solution et la quantité de solution, déterminée par polarimétrie.

Généralement exprimée en pourcentage :

$$\text{teneur en sucre} = \text{pol} = \frac{\text{Quantité de sucre}}{\text{Quantité de solution}} \times 100$$

MATÉRIELS :

- Saccharimètre électronique thermostaté à 20°C.

Mode opératoire :

- Peser 26g de produit à analyser, ajouter quelques gouttes d'acétate de plomb à 30%, compléter à l'aide d'eau distillée à 100 ml et filtrer. Placer le produit dans le bain thermostaté à 20°C et attendre qu'il atteigne cette température.
- Verser l'échantillon dans le saccharimètre et relever la valeur affichée.

3) La pureté

La pureté définit la quantité de sucre (S) contenue dans la matière sèche (MS). Elle est généralement exprimée en %. La pureté se calcule par la formule suivante:

$$\text{pureté} = \frac{\text{quantité de sucre}}{\text{quantité de MS}} \times 100 = \frac{\text{polarisation}}{\text{Brix}} \times 100$$

4) L'alcalinité

C'est la quantité de chaux CaO contenue dans le jus, elle s'exprime en gramme de CaO/litre

Réactif :

Solution d'acide chlorhydrique ayant pour normalité selon besoin :

Soit N/1,4 (ou encore 0,714N) ou N/14 (ou encore 0.0714N)

Mesure :

Par titrage acidimétrique, neutralisation de la chaux par l'acide chlorhydrique en présence de la phénolphthaléine comme indicateur de fin de titrage, réaction exothermique :



En fonction du volume de la prise d'essai et de la concentration de l'acide utilisé au titrage, on a l'alcalinité en g/litre. On note V le volume d'acide versé

EXPRESSION DES RÉSULTATS :

Tableau 2: détermination de l'alcalinité

	Volume de la prise d'essai (ml)	Concentration de l'acide utilisé (g/l)	Alcalinité (g/l)
Préchaulage	20	2,607	V×0.1
Chaulage	20	26,071	V×1
1 ^{ère} CO ₂	20	2,607	V×0.1
2 ^{ème} CO ₂	50	0,65	V×0.01

5) Epuration standard

Objectif :

Apprécier la qualité de l'épuration chimique de l'atelier de l'épuration. On compare les jus obtenus industriellement avec ceux que donne une épuration du laboratoire.

Description de l'opération :

Préchaulage :

- Préparer une solution de lait de chaux.
- Amener la température de jus de diffusion à 72°C - 73°C
- Ajouter progressivement le lait de chaux par additions successives de 5ml chaque minute d'où environ 10 additions successives.
- Vérifier l'alcalinité (3 à 3.3 g de CaO/L)

Chaulage :

- chauffer le jus jusqu'à 80°C environ pendant 5 min
- Ajouter une quantité de lait de chaux environ 260 ml mesurée à l'éprouvette jusqu'à l'alcalinité désirée (20 g/L).

1^{ère} carbonatation :

- Chauffer le jus jusqu'à 88°C, la température est maintenue entre 85°C - 87°C
- Ouvrir la vanne de la bouteille de gaz carbonique et faire barboter lentement le CO₂ pendant 5 à 6 min maximum.
- Arrêter le bullage dès que le pH atteint la valeur désirée pour la 1^{ère} CO₂ (11.1 à 11.4)
- Filtrer sur papier filtre. Le premier filtrat est souvent trouble, et refiltrer alors sur le même gâteau.

2^{ème} carbonatation :

- Le jus filtré est récupéré puis réchauffé, jusqu'à 92°C pendant 5 min.
- Faire buller le CO₂ jusqu'à pH optimum de la deuxième carbonatation (9,1 à 9,2)
- Ne pas pousser jusqu'à la décoloration sinon on brule le jus et l'alcalinité finale devient très basse. L'alcalinité désirée est de l'ordre de 0.1 à 0.15 g/l.
- Filtrer le jus sur papier filtre plissé. Le jus obtenu est le jus clair du deuxième carbonatation.

Faire les analyses du jus clair et comparer avec celui de l'usine. On compare souvent la pureté de jus filtré avec la pureté de jus avant évaporation (J.A.E) de l'usine, les résultats obtenus au laboratoire sont généralement de 0.1% à 0.5% près, ceux de l'usine. Sinon il y a lieu de revoir les points de réglage sur l'épuration.

Rendement de l'épuration :

$$r(\%) = \frac{(P_{je} - P_{jd}) \times 10^4}{P_{je}(100 - P_{jd})}$$

6) Courbe de préchauffage

Dans le préchauffage, on ajoute au jus de diffusion une quantité appropriée de chaux, de façon progressive, lente et continue. On vérifie cette quantité et cette progressivité en déterminant l'alcalinité et le pH dans chaque compartiment du préchauffeur. Les résultats sont portés sur un diagramme dont l'examen permettra, si besoin, le réglage du préchauffeur.

Les courbes sont tracées en portant en abscisses les numéros des compartiments et en ordonnées l'alcalinité et le pH. La courbe de pH doit partir d'environ de 7,5 dans le premier compartiment et arriver à 11,4 dans le dernier. Si elle ne l'est pas, on corrige à l'aide des volets la répartition de la chaux dans les compartiments.

7) Contrôle des sels de chaux

La détermination des sels de Calcium, encore appelé « sels de chaux » en sucrerie, se fait par titration avec une solution d'EDTA qui forme des complexes solubles peu dissociés avec les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} . En présence des deux cations, l'E.D.T.A réagit avec le calcium, et en suite avec le magnésium.

RÉACTIFS :

- Le complexon III (EDTA) : dissoudre 6.65 g dans un litre d'eau (0,01M).
- Patton et Reeder (indicateur coloré).
- Soude NaOH 5N.
- Solution diéthylthiocarbamate : dissoudre 5 g dans 100 ml d'alcool à 95°.

Mode opératoire :

- Introduire une quantité connue de produit à analyser dans un Erlenmeyer de 250 ml.
- Diluer avec 50 ml d' H_2O , ajouter 5 ml de NaOH 5N et une pincée d'indicateur coloré.
- Ajouter 4 gouttes de diéthylthiocarbamate.
- Titrer par EDTA jusqu'au virage du violet au bleu-vert.

EXPRESSION DES RÉSULTATS :

Produits	Prise d'échantillon	mg CaO %Brix
Jus clair 1	10 ml	$\frac{V \times 1000}{\text{Brix volume}}$
Jus clair 2	50 ml	$\frac{V \times 200}{\text{Brix volume}}$
JAÉ	50 ml	$\frac{V \times 200}{\text{Brix volume}}$

III. RÉSULTATS & DISCUSSION

CARACTÉRISTIQUE DE JUS DE DIFFUSION

Le tableau ci-dessous illustre les résultats de la composition de jus de diffusion prélevé durant 6 jours.

Jours	1	2	3	4	5	6
Brix	18,5	18,65	19,45	19,3	19,40	19,35
Polarisation	17,30	16,65	17,80	17,8	17,50	17,85
Pureté	91,78	89,28	91,52	92,23	90,21	92,25
pH	6,2	6,15	6,65	6,35	6,50	6,25
T°C	74,5	72	75	73	72	72,5

Tableau 3: caractéristique de jus de diffusion

Les résultats obtenus ont montré que les puretés de jus de diffusion présentées ci-dessus sont bonnes avec une moyenne de 91.21 ce qui nous renseigne sur la qualité d'extraction par diffusion. Les paramètres opératoires influençant cette dernière au niveau de diffuseur « RT4 »

semblent maîtrisés et optimisés tel que : la température à 72°C le temps de diffusion qui ne dépasse pas 90 min, et le pH.

ESTIMATION DE DU TEMPS DE SÉJOUR À L'ÉPURATION

Pour mener bien cette étude, nous avons calculé le temps de séjour du jus à chaque étape de l'épuration. Pour cela, connaissant les volumes utiles des appareils et les débits en circulation, nous avons calculé le temps de séjour pour un traitement de 187.5 t/h.

Appareils	Débit en m ³ /h	Volume en m ³	Temps de séjour en min
Préchauteur	210	55,5	15,87
Chauteur	247,36	45	10,92
Réchauffer	210	0,937	0,27
1 ^{ère} CO ₂	247,36	62	15,04
Décanteur	339	152,6	27
Réchauffeur avant 2 ^{ème} CO ₂	339	0.937	0,17
2 ^{ème} CO ₂	332,4	33	5,96
Bac de maturation	332,4	49	8,84

Tableau 4: temps de séjour à l'épuration

L'ÉPURATION STANDARD

La reproduction au laboratoire de l'épuration calco-carbonique est appelée « l'épuration standard », elle permet d'évaluer le taux d'épuration et l'efficacité de cette étape pour l'élimination des non-sucres. Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau suivant :

	Jus de diffusion	Jus préchauffé	Jus chaulé	1 ^{ère} CO	2 ^{ème} CO	Jus filtré
Brix	18,95	-	-	-	-	22,3
Pol	17,20	-	-	-	-	20,80
Pté	90,76	-	-	-	-	93,27
Alcalinité	-	3,20	20,10	1,2	0,18	-
pH	6,15	11,50	-	11,2	9,10	9,10
Rendement	29.12%					

Tableau 5: les résultats de l'épuration standard

	Jus de diffusion	Jus épuré
Pureté	90,19	91,99
Rendement	19,95%	

Tableau 6: caractéristique du jus industriel

INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS :

La comparaison entre la pureté de jus épuré « **93,27** » de l'épuration standard, avec celle de jus avant évaporation de l'industrie « **91,99** » donne une différence de **1,28**. D'après les consignes

du laboratoire, cet écart doit être inférieur à **0,5**. Nous avons donc un problème au niveau de la station d'épuration. Il est temps de revoir les points de réglage sur l'épuration ou chercher d'autres causes de détérioration de la qualité de jus.

OPTIMISATION DU PRÉCHAULEUR

L'analyse de Ph et de l'alcalinité en chaque compartiment du préchauleur donne les résultats présentés dans le tableau(8), l'autre tableau donne le pH et l'alcalinité qu'il faut atteindre dans chaque compartiment pour assurer une bonne floculation des impuretés.

Compartiment	Alcalinité	pH
1	0.00	7,10
2	0,00	7,85
3	0,20	8,70
4	1,00	9,50
5	1,90	10,50
6	2,70	11,20

Tableau 8: pH et alcalinité au niveau de préchauleur

Alcalinité	Ph
0,00	7,50
0,00	8,20
0,60	9,20
1,00	10,00
2,30	11,30
3	11,40

Tableau 7 : pH et alcalinité optimums

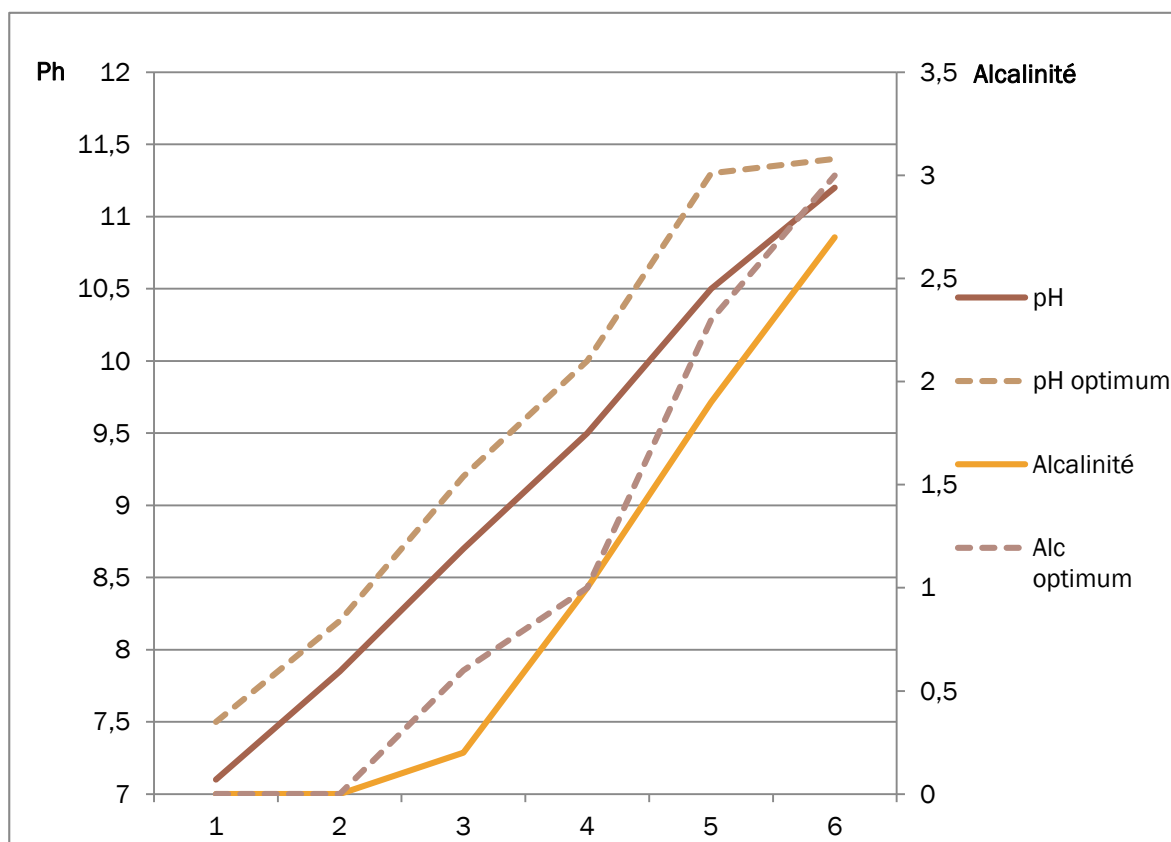


Figure 12 : courbe de préchauler

D'après courbe de préchaulage on constate que le pH au niveau des compartiments N°:1,2,3 et 5 est relativement faible, ainsi l'alcalinité des compartiments N°3,5 et 6 aussi. Cela est dû à une

mauvaise répartition de chaux bien que la quantité totale de celle-ci soit suffisante. Les volets sont un peu fermé et surtout ceux du troisième et le cinquième compartiment.

Après le réglage des volets de préchauteur, nous avons refait les analyses de pH et l'alcalinité de chaque compartiment et retracer la courbe de préchauffage.

Compartiment	1	2	3	4	5	6
pH	7,25	7,95	9,00	10,10	11,20	11,50
Alcalinité	0,00	0,00	0,50	1,00	2,00	3,00

Tableau 9 : la répartition de pH et l'alcalinité dans le préchauteur après le réglage

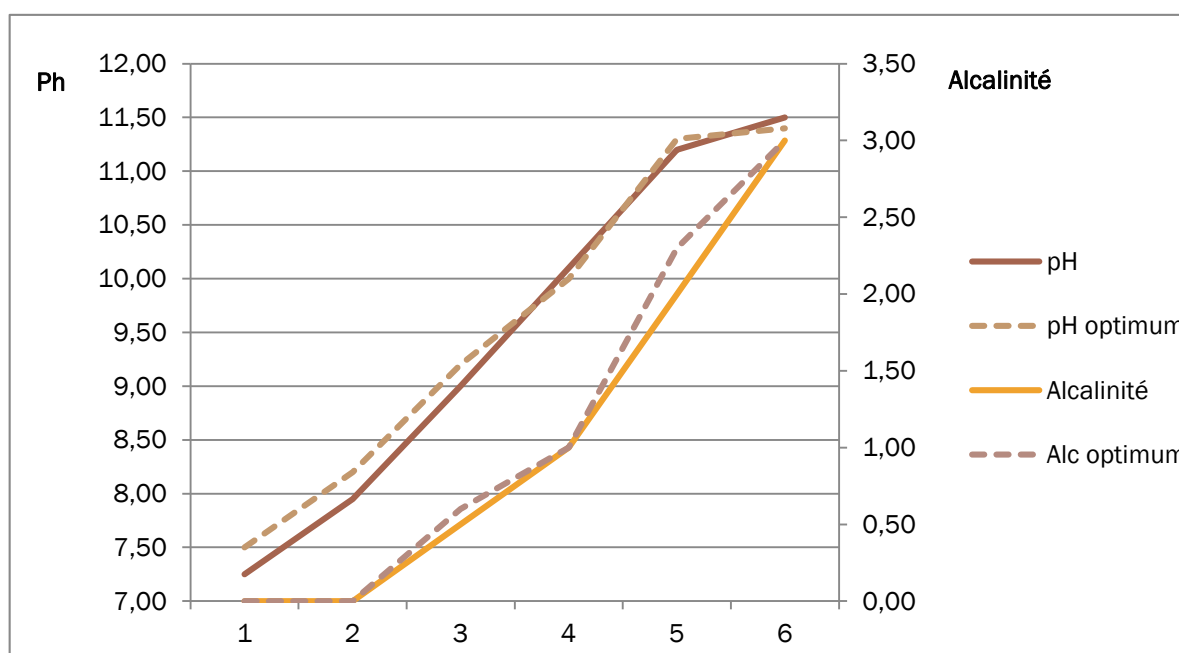


Figure 13: courbe de préchauffeur après le réglage

Les résultats obtenus après le réglage des volets les résultats sont proches de celles standard.

CONTRÔLE DU CHAULEUR

Durant le processus d'épuration de jus de diffusion, il s'avère que l'alcalinité de jus influence sur le rendement de l'épuration. Le tableau (8), donne l'alcalinité du jus chaulé et sa température.

Echantillon	1	2	3	4	5	6	7	Moyen
T°C	86,5	85	84,7	86	86	84	83	84,95
Alcalinité (g/l)	13,30	12,80	13,90	12,40	13,10	12,70	12,50	12,71

Tableau 10: contrôle de la T° et l'alcalinité au niveau du chaaleur

L'alcalinité de jus chaulé ainsi que la température se trouve dans les normes. Le fonctionnement du chaaleur est bien optimisé. L'alcalinité de jus chaulé dépend aussi de la qualité de la betterave.

CONTRÔLE DU PREMIÈRE CARBONATATION

L'analyse de pH et d'alcalinité des échantillons à la sortie de la première carbonatation chaque heure est représentée dans le tableau suivant :

Alc	0,99	0,98	1	1,1	1,25	0,95	0,75	0,99	0,78
pH	11,05	11	11,1	11,1	10,9	11	11	11,05	11

Tableau 11: caractéristique du jus du deuxième carbonatation

Le pH moyen de la première carbonatation (11,02) est un peu inférieur à celle du préchauffage il faut les augmenter jusqu'à 11,2 à 11,3 pour empêcher la redissolution des précipités déjà formés.

POINT OPTIMUM DU DEUXIÈME CARBONATATION

La recherche du point optimum du deuxième carbonatation a été effectuée à partir du jus de 1^{ère} CO₂ qui a été carbonaté à différent pH. Le pH correspond au minimum de sels de chaux est le point optimum du deuxième CO₂.

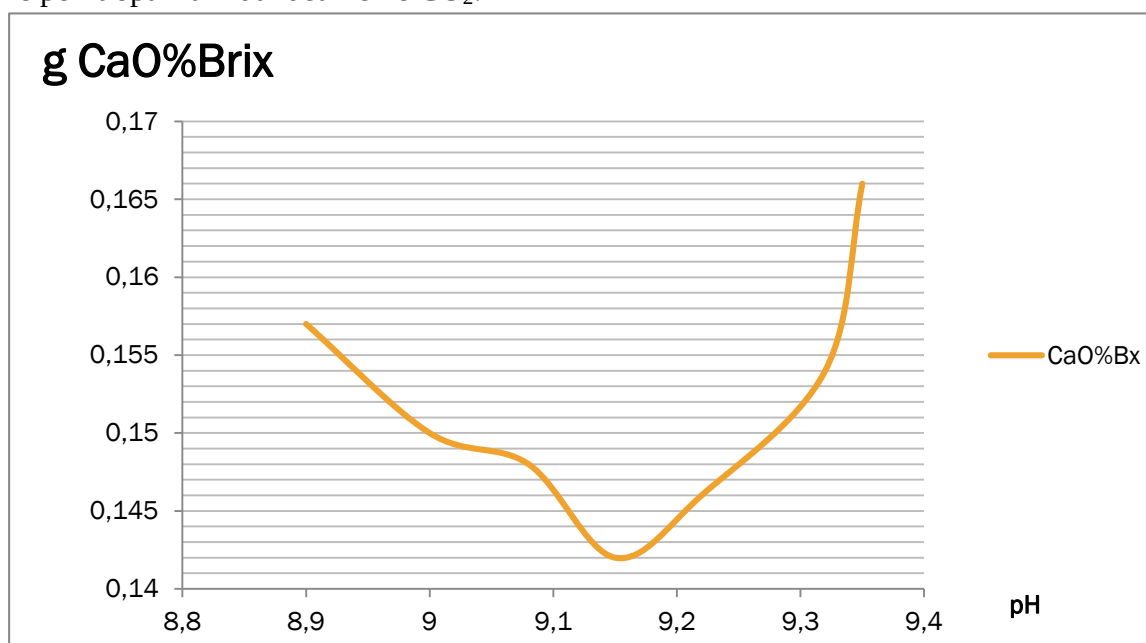


Figure 14: point optimum du deuxième carbonatation

D'après la courbe le Ph optimum du deuxième carbonatation se situe autour de **9, 15**, la valeur minimale de sel de chaux obtenue pour ce pH est d'environ 0,142 g CaO%Brix (gramme de sel de chaux par 100 ml). Pour que ce pH soit atteint il suffit de régler le débit du gaz carbonique entrant dans la chaudière du deuxième carbonatation.

CONTRÔLE DE LA DÉCALCIFICATION

Le tableau(10) donne la concentration de sel de calcium en g CaO%Bx à l'entrée et à la sortie de décalcification chaque heure. Le rendement de la décalcification est donné par l'équation suivante :

$$\text{rendement} = \frac{\text{sel de CaO éliminé}}{\text{sel de CaO à l'entrée}} \times 100$$

Tableau 12: sels de chaux à l'entrée et à la sortie de décalcification

CaO%Bx Entre	0.143	0.172	0.192	0.170	0.154	0.114	0.142	0.163	0.196
CaO%Bx Sort	0.102	0.135	0.171	0.149	0.142	0.100	0.130	0.152	0.185
Rendement %	28.67	21.51	10.93	12.35	7.8	12.28	8.45	6.75	5.61

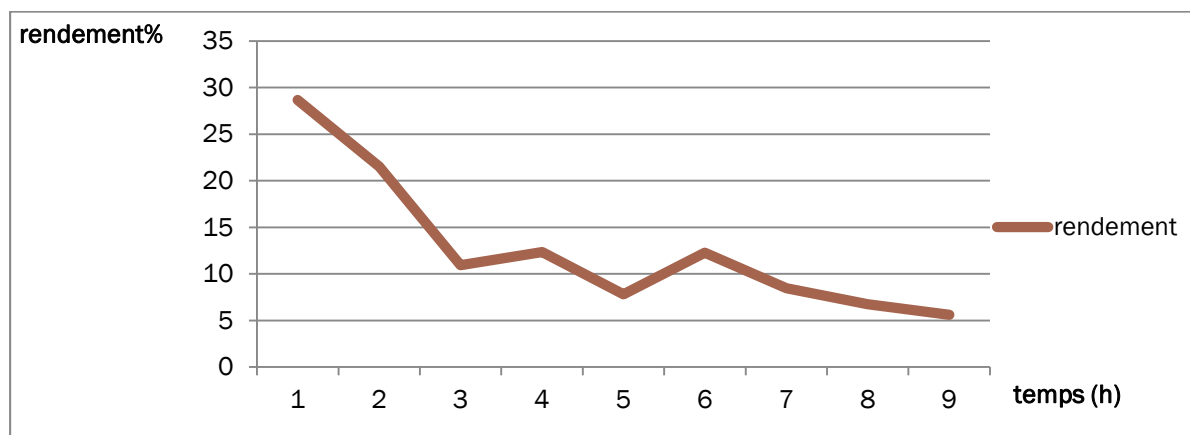


Figure 15: le rendement de la décalcification en fonction du temps

D'après cette courbe on constate que le rendement de la décalcification diminue en fonction du temps, avec une chute brutale dès les premières minutes il se stabilise aux alentours de 12 %, puis il recommence la diminution jusqu'à 5 %. On peut conclure que la résine est saturée, car sa capacité d'échange ne dépasse pas en moyenne 15%. Donc il est nécessaire de régénérer la résine. La régénération s'effectue à 40°C avec une concentration de soude (40 g/L) à une vitesse lente pendant une heure. Ensuite un lavage par « JAE » à contre-courant.

- ✓ Après le réglage des différentes unités de l'atelier de l'épuration. Nous avons effectué l'épuration standard pour une deuxième fois.

	Jus de diffusion	Jus préchauffé	Jus chaulé	1 ^{ère} CO	2 ^{ème} CO	Jus filtré
Brix	18,65	-	-	-	-	22,20
Pol	16,95	-	-	-	-	20,65
Pté	90,88	-	-	-	-	93,02
Alcalinité	-	3,20	14	1,1	0,19	-
pH	6,25	11,55	-	11,15	9,15	9,15
Rendement	25,23%					

	Jus de diffusion	Jus épuré
Pureté	90,99	92,80
Rendement	21,65%	

A partir des résultats de l'épuration standard l'écart de pureté trouvé après le réglage égale à 0,22 il est inférieur à 0,5. Donc on a réalisé un gain de 1,06 % de pureté, si on compare avec le premier écart(1,28).

Conclusion générale

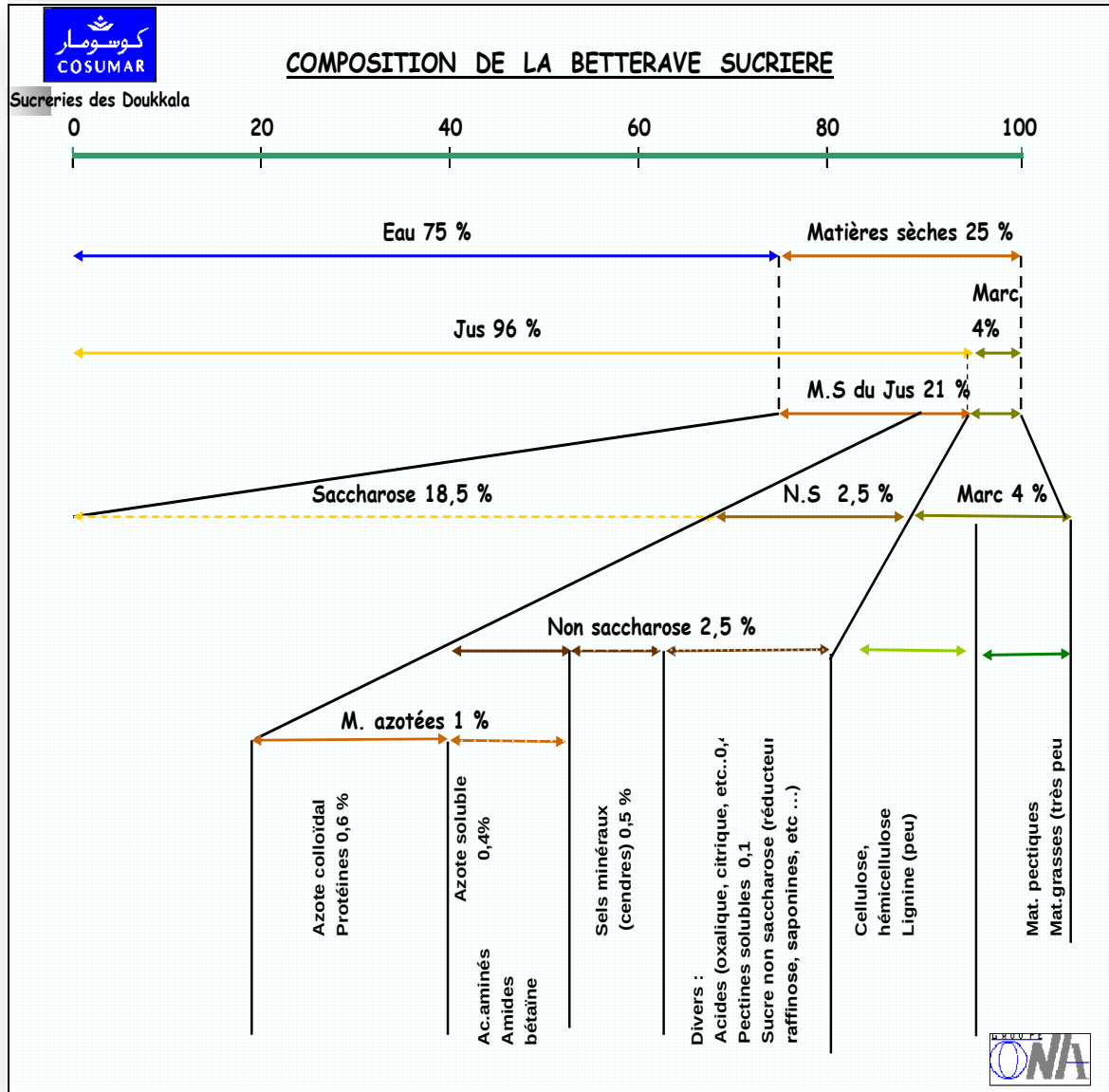
Mon stage au sein de la société COSUMAR a constitué une véritable expérience professionnelle, d'une part, il m'a permis non seulement de bien connaître les procédés de fabrication du sucre blanc mais aussi d'appliquer mes connaissances théoriques pour l'étude d'un problème pratique et de faire passer de l'échelle laboratoire à l'échelle industriel. Afin d'adapter ma formation aux besoins industriels et donc s'initier à la recherche scientifique. D'autre part j'ai appris à assumer une responsabilité au sein de l'entreprise et d'apprendre le travail en équipe.

La maîtrise de l'épuration de jus de diffusion est une tâche difficile .car elle dépend de plusieurs Paramètres à savoir tel que la qualité de la betterave qui n'est pas fixé, aussi la pureté de la pierre calcaire utilisée pour la fabrication de lait de chaux. La station d'épuration nécessite alors un suivi périodique par la réalisation des analyses physico-chimique dans le laboratoire de contrôle, et les interpréter pour savoir la démarche de l'épuration.

Au terme de ces investigations, nous sommes parvenus à la conclusion que le rendement de l'épuration industrielle reste à améliorer, ainsi que le rendement de la décalcification si on réfère au taux des sels de calcium qui passe avec le jus épuré.

Annexes

Annexe 1 : la composition chimique de la betterave sucrière.



Annexe 2 : les normes de marche de l'épuration betterave.

- Normes de marche de l'épuration betterave:

- Temps de séjour à l'épuration (schéma SERG – GTS).

Libellé	Durées optimales en mn		Alc gr CaO/l	pH à $\approx 20^{\circ}\text{C}$	T°C	Observations
	extrema	GTS				
Préchauffage	15	16	2.8 à 3	11.2 à 11.4	72	F (T°C)
Chaulage	5 à 6	7	14 à 17		72	F (qlté bett.)
Maturation	11	12			85 à 87	Suivant réducteurs et amides
1 ^{ère} CO ₂	15	15	0.8 à 1	11.0 à 11.2	82 à 84	F(fk et col). haut barb 4m
JT 1	6 à 9	10				CO ₂ dissous et réserve pour filtres
JC 1	6 à 9	9				
2 ^{ème} CO ₂	10 à 12	12	0.16 à 0.22	9.1 à 9.3	93 à 95	F(sels CaO et alc. effect. Haut barb 3,75m
JT 2	12 à 15	15				CO ₂ dissous et réserve filtres
JC 2	6	8	0.16 à 0.22	9.1 à 9.3	93 à 95	Suivant déca.
JAÉ	30	30				Sécurité évaporation et dilutions

Références

- ❖ **Martine DECLOUX(2003)**, Procédés de transformation en sucrerie, technique de l'ingénieur (partie 2).
- ❖ **Epuration standard du jus de betterave et suivi de l'épuration industrielle à la SUCRAFOR campagne 1986-1987**, institut sucrier d'études, de recherche et de formation.
- ❖ **Romain Jeantet, Thomas Croguenne, Pierre Schuck, Gérard Brulé(2006)**, stabilisation biologique et physico-chimique, science des aliments tom1.
- ❖ **IRIS** : institut de recherche industrielle pour les sucreries.
- ❖ www.cosumar.co.ma
- ❖ www.wikipedia.org