

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Abderrahmane Mira de Bejaia



جامعة بجاية
Tasdawit n' Bgayet
Université de Béjaïa

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département des sciences alimentaires

Mémoire d'Ingénieur d'Etat en Contrôle de Qualité et analyse

Thème

Suivi de la répétabilité du process au
cours du raffinage du sucre blanc

« *CeVital* »



Membres de jury :

Présenté par :

M^r Djaouani Mahmoud

M^r Bourdjioua Ahmed

Président: M^r Bouaoudia. N

Promoteur : M^r Madani. K

Examinateur: M^r Boukhalfa. F

Examinatrice : M^{me} Ikhache. F

Promotion 2012-2013



Dédicaces

J'ai le plaisir de dédier ce travail à :

Ceux que j'ai tant aimé avec beaucoup d'affection et je suis très fière de les avoir et tout les mots du monde ne peuvent exprimer l'amour et le respect que je leur porte :

Mes très chers parents.

A mes adorables frères en particulièrement DJILALLI et sa femme(SABRINA)

Mes sœurs Naima, Nassima, Linda et Sabrina.

Ma fiancé Hlima et toute sa famille.

Mon cher binome MAHMOUD ainssi qu'à toute sa famille

Tous mes amis Nadjim, Fares, Abed Alghani, Nassim, Brahim, Moumene, Rbah, Lamine, Md Seghir, Omer,....

Toute la promotion CQA (2013)

Tout le personnel de Cevital surtout ceux de laboratoire (Samir, Karim et Fares).

A toutes celles et à tous ceux qui m'aiment.

AHMED,B





Dédicaces

J'ai le plaisir de dédier ce travail à :

Ceux que j'ai tant aimé avec beaucoup d'affection et je suis très fière de les avoir et tout les mots du monde ne peuvent exprimer l'amour et le respect que je leur porte :

Mes très chers parents.

A mon adorable frère en particulièrement Rafik

Mes sœurs SONIA, GHANIA EYMIRA

Mon cher binôme AHMED ainsi qu'à toute sa famille

Tous mes amis HAMOU, LOUNAS, Abed Alghani, Nassim, Brahim, , Rbah, NADIR,....

Toute la promotion CQA (2013)

Tout le personnel de Cevital surtout ceux de laboratoire (Samir, Karim et Fares).

A toutes celles et à tous ceux qui m'aiment.

MAHMOUD, D





Remerciements

Tout d'abord, je remercie Dieu, le Généreux qui a enseigné à l'Homme ce qu'il ne savait pas et aussi de m'avoir donné la force afin d'accomplir ce travail.

Ma profonde gratitude est exprimée à notre promoteur M^r MADANI KHODIR, qui nous a fait l'honneur de diriger ce travail et nous a guidé tout au long de sa réalisation, ainsi que pour la qualité de son encadrement, sa constante disponibilité, ses conseils et sa gentillesse.

Nous voudrions également remercier les membres du jury en l'accurrence M^r Boukhalfa F et M^{me} Ikhnache, d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Nous tenons à remercier vivement Mr bouaoudia qui nous fait un immense honneur de présider le jury.

Etant donné que ce travail a été réalisé au niveau du laboratoire d'Analyses Physicochimiques de la raffinerie du sucre de Cevital (Bejaia), je tiens à exprimer toute ma gratitude et mon respect :

Au responsable du laboratoire M^r Samir, et pour sa disponibilité avec une extrême bienveillance.

Sans oublier dans mes remerciements toute l'équipe du Laboratoire, en particulier KARIM, pour leurs conseils et leur aide.

Enfin, mes remerciements s'adressent à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.



Glossaire

- **Bagasse** : Résidu fibreux issu du broyage de la canne. Représente environ 20 à 30% de la masse de canne.
- **Boue** : Résidu provenant de la filtration du sirop de sucre épuré.
- **Canne** : Nom de diverses espèces de roseaux (plante aquatique à tige creuse).
- **Chaux** : Substance caustique solide, obtenue par calcination du calcaire et d'autres formes de carbonate de calcium. La chaux pure, est constituée d'oxyde de calcium (CaO).
- **Dextrogyre** : qui dévie à droite le plan de la lumière polarisée.
- **Graminée (graminacée)** : famille de plantes monocotylédone aux fleurs peu
- **Écumes** : Résidu résultant du traitement de la boue au niveau du filtre presse.
- **Egout** : Produit encore riche en sucre cristallisable ou saccharose. En sucrerie, la centrifugation permet de séparer les cristaux de sucre, du liquide qui les entoure. C'est ce liquide qui est appelé l'égout. Il est réutilisé dans la chaîne de fabrication afin d'en extraire au maximum le sucre.
- **Hygroscopique** : le caractère de ce qui a tendance à absorber l'humidité.
- **ICUMSA** : International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis
- **Invertase** : Enzyme catalysant l'hydrolyse du saccharose en fructose et en glucose.
- **Inverti** : Terme qualifiant le saccharose transformé en glucose et en fructose.
- **Magma** : Produit d'empattage du sucre roux et d'eau sucrée.
- **Mélasses** : Résidu incristallisable, visqueux, résultant de la cristallisation des bas produits.
- **Petit jus** : Eau sucrée récupérée lors de la filtration des boues.
- **Roux** : qui est d'un rouge tirant sur le jaune.
- **Shredders** : Appareil qui a pour but de parfaire la préparation et désintégration de la canne.
- **Vesou** : Appellation du jus de canne.

Liste des abréviations

- **AFISUC** : Association pour la formation et le perfectionnement dans les industries sucrières.
- **CEE** : Communauté Economique Européenne.
- **CV** : Coefficient de Variation.
- **E** : Eau.
- **JC** : Jus chaulé.
- **LS1** : Liqueur standard 1.
- **LS2** : Liqueur standard 2.
- **LS3** : Liqueur standard 3.
- **LSA** : Liqueur standard A.
- **LSB** : Liqueur standard B.
- **LSC** : Liqueur standard C.
- **MAG** : Magma.
- **MS** : Matière Sèche.
- **ms** : Quantité maximale de sucre dissoute.
- **NS** : Non sucres.
- **OM** : Ouverture Moyenne.
- **PDAH** : Produits de Dégradation Alcaline des Hexoses.
- **pH** : Potentiel d'Hydrogène.
- **R1** : Sucre blanc de premier jet.
- **R2** : Sucre blanc de deuxième jet.
- **S** : Sucre.
- **SC** : Sirop concentré.
- **SC1** : Sirop carbonaté 1.
- **SC2** : Sirop carbonaté 2.
- **SD1** : Sirop Décoloré 1.
- **SD2** : Sirop Décoloré 2.
- **SF** : Sirop Filtré.
- **SR** : Sirop de refente.

Liste des figures

Figure 1 : la canne à sucre.....	02
Figure 2 : répartition es constituants de la canne à sucre.....	03
Figure 3 : Structure moléculaire du saccharose.....	06
Figure 4 : schéma simplifié de la section décoloration au sein de la raffinerie.....	14
Figure 5 : Disposition de colonnes de la section de décoloration au sein du complexe « Cevital ».....	15
Figure 6 : Evaporateur.....	16
Figure7 : Atelier d'ensachage à « Cevital »	18
Figure 8 : Spectrophotomètre HELIOS gamma utilisé à « Cevital ».....	22
Figure 9 : Réfractomètre RFM340 utilisé à « Cevital ».....	22
Figure 10 : Evolution de la moyenne du °Brix au cours de raffinage du sucre.....	25
Figure 11 : Evolution de la moyenne de la pureté au cours de raffinage du sucre.....	26
Figure 12 : Evolution de la moyenne de la couleur au cours de raffinage de sucre.....	27
Figure 13 : Evolution de la moyenne du PH au cours du raffinage du sucre.....	28
Figure 14 : Evolution des écart-types du °Brix au cours de raffinage du sucre.....	29
Figure 15 : Evolution des écart-types de la pureté au cours de raffinage du sucre.....	30
Figure 16 : Evolution des écart-types de la couleur au cours de raffinage du sucre.....	31
Figure 17 : Evolution des écart-types du ph au cours de raffinage du sucre.....	32
Figure 18 : Evolution des erreurs standards du °Brix au cours de raffinage du sucre.....	33
Figure 19 : Evolution des erreurs standards de la pureté au cours de raffinage du sucre.....	34
Figure 20 : Evolution des erreurs standards de la couleur au cours de raffinage du sucre.....	35
Figure 21 : Evolution des erreurs standards du ph au cours de raffinage du sucre.....	36

Liste des figures en annexe

Figure 1 : Schéma récapitulatif des étapes de l'extraction du sucre de canne

Figure 2 : schéma synoptique de la cristallisation en 3 jets des hauts produits

Figure 3 : schéma synoptique de la cristallisation en 3 jets des bas produits

Figure 4 : Atelier du séchage au niveau de l'unité « **Cevital** »

Figure 5 : Schéma général de différentes sections du procès du raffinage du suce roux

Liste des tableaux

Tableau I : Principales réactions résumant le cycle de la chaux.....	13
Tableau II : Matériels utilisés au laboratoire du complexe « Cevital ».....	20
Tableau III : Échantillons prélevés des différentes sections et leurs paramètres étudiés.....	21

Liste des tableaux en annexe

Tableau I : Caractéristiques du sucre blanc selon la réglementation algérienne

Tableau II : Caractéristiques du sucre blanc selon les critères de la CEE

Tableau III : Normes Codex Alimentarius pour le sucre blanc (FAO/OMS)

Tableau IV : Mécanisme d'épuration calco-carbonique

Tableau V : Mode de l'épuration calco-carbonique

Tableau VI : Les principaux colorants présents en raffinerie de canne.

Tableau VII : Caractéristiques de la résine de décoloration utilisée au sein complexe « Cevital »

Tableau VIII : Résultats de l'évolution de la moyenne du °Brix au cours de raffinage du sucre

Tableau IX : Résultats de l'évolution de la moyenne de la pureté au cours de raffinage du sucre

Tableau X : Résultats de l'évolution de la moyenne de la couleur au cours de raffinage du sucre

Tableau XI : Résultats de l'évolution de la moyenne du pH au cours de raffinage du sucre

Tableau XII : Résultats de l'évolution des écart-types du °Brix au cours de raffinage du sucre

Tableau XIII : Résultats de l'évolution des écart-types de la pureté au cours de raffinage du sucre

Tableau XIV : Résultats de l'évolution des écart-types de la couleur au cours de raffinage du sucre

Tableau XV : Résultats de l'évolution des écart-types du pH au cours de raffinage du sucre

Tableau XVI : Résultats de l'évolution des erreurs standards du °Brix

Tableau XVII : Résultats de l'évolution des erreurs standards du la pureté

Tableau XVIII : Résultats de l'évolution des erreurs standards du la couleur

Tableau IXX : Résultats de l'évolution des erreurs standards du pH

Tableau XX : Résultats de l'analyse de corrélation de SD1

Tableau XXI : Résultats de l'analyse de corrélation de SD2

Sommaire

Introduction.....	01
--------------------------	-----------

Synthèse bibliographique

Chapitre I. Généralités	02
--------------------------------------	-----------

1. Canne a sucre.....	02
------------------------------	-----------

1. 1. Définition.....	02
-----------------------	----

1. 2. Composition.....	02
------------------------	----

1. 3. Culture de la canne à sucre.....	03
----------------------------------------	----

1. 4. Récolte.....	03
--------------------	----

2. Sucre roux.....	04
---------------------------	-----------

2. 1. Définition.....	04
-----------------------	----

2. 2. Procédé d'extraction du sucre de canne.....	04
---------------------------------------------------	----

2. 2. 1. Préparation de la canne.....	04
---------------------------------------	----

2. 2. 2. Découpage et broyage	04
-------------------------------------	----

2. 2. 3. Extraction.....	04
--------------------------	----

2. 2. 4. Epuration.....	05
-------------------------	----

2. 2. 5. Évaporation et cristallisation.....	05
----------------------------------------------	----

2. 2. 6. Séchage.....	05
-----------------------	----

2. 2. 7. Emballage et entreposage.....	05
----------------------------------------	----

3. Saccharose.....	06
---------------------------	-----------

3. 1. Définition.....	06
-----------------------	----

3. 2. Propriétés	06
------------------------	----

3. 2. 1. Granulométrie	06
------------------------------	----

3. 2. 2. Aspect.....	07
----------------------	----

3. 2. 3. Solubilité	07
---------------------------	----

3. 2. 4. Température de fusion.....	07
-------------------------------------	----

3. 2. 5. Pouvoir rotatoire	07
----------------------------------	----

3. 2. 6. Densité.....	07
-----------------------	----

3. 2. 7. Inversion	08
--------------------------	----

4. Chimie sucrière.....	08
4. 1. Brix	08
4. 2. Polarisation	08
4. 3. Pureté	09
4. 4. Saturation.....	09
4. 5. Non Sucres.....	09
5. Norme et qualité	10
5. 1. Norme de qualité CEE.....	10
5. 2. Classification des sucres selon les différents textes réglementaires.....	10
5. 3. Qualité microbiologique du sucre.....	10
5. 4. Qualité organoleptique.....	10
Chapitre II. Raffinage du sucre roux de canne.....	11
1. Processus de raffinage du sucre roux.....	11
2. Différentes étapes du raffinage.....	11
2. 1. Affinage	11
2. 2. Refonte	11
2. 3. Epuration calco-carbonique (carbonatation).....	11
2. 3. 1. Préparation du lait de chaux.....	12
2. 3. 2. Chaulage.....	12
2. 3. 3. 1 ^{ère} carbonatation.....	12
2. 3. 4. 2 ^{ème} carbonatation.....	13
2. 3. 5. Mécanisme et mode d'épuration calco-carbonique	13
2. 4. Filtration	13
2. 5. Décoloration	14
2. 5. 1. Types de colorants présents dans le sucre.....	14
2. 5. 2. Résines échangeuses d'ions.....	15
2. 5. 3. Mécanisme d'action des résines.....	15

2. 5. 4. Régénération des résines	15
2. 5. 5. Facteurs intervenants dans la décoloration	16
2. 6. Concentration.....	16
2. 7. Cristallisation	16
2. 7. 1. Différentes étapes de cristallisation	17
a) Cuisson.....	17
b) Malaxage.....	17
c) Turbinage (essorage).....	17
2. 7. 2. Cristallisation des hauts produits	17
2. 7. 3. Cristallisation des bas produits	17
2. 8. Séchage	18
2. 9. Maturation	18
2. 10. Stockage et Conditionnement.....	18

Partie pratique

Chapitre III. matériels et méthodes.....	19
1. Présentation de l'organisme d'accueil "CEVITAL"	19
2. Matériel utilisés dans le laboratoire	20
3. Echantillonnages et prélèvements	20
4. Analyses physico-chimiques (protocoles expérimentaux).....	21
4. 1. Mesure de la couleur.....	21
4. 2. Mesure du pH.....	23
4. 3. Mesure de °Brix.....	23
4. 4. Mesure de la pureté des sirops.....	24
Chapitre IV. Résultats et discussions.....	25
1. Analyse descriptive.....	25
1. 1. Evolution des moyennes des différents paramètres	25
1. 1. 1. Evolution de la moyenne du °Brix	25
1. 1. 2. Evolution des moyennes de la pureté.....	26

1. 1. 3. Evolution des moyennes de la couleur.....	27
1. 1. 4. Evolution des moyennes du pH.....	28
1. 2. Evolution des écart-types des différents paramètres	29
1. 2. 1. Evolution des écart-types du °Brix	29
1. 2. 2. Evolution des écart-types de la pureté.....	30
1. 2. 3. Evolution des écart-types de la couleur	31
1. 2. 4. Evolution des écart-types du pH	32
2. Analyse des résidus.....	33
2. 1. Evolution des erreurs standards du °Brix	33
2. 2. Evolution des erreurs standards de la pureté.....	34
2. 3. Evolution des erreurs standards de la couleur.....	35
2. 4. Analyse des résidus du pH.....	36
3. Analyse de corrélation.....	37
Conclusion	38
Références bibliographiques	
Annexes	

INTRODUCTION

Introduction

Autrefois réservé aux familles les plus riches, le sucre est aujourd'hui omniprésent dans notre alimentation. Sa saveur unique, ses propriétés physico-chimiques et organoleptiques en font un ingrédient incontournable des industriels de l'alimentation qui ne cessent de l'incorporer dans les recettes de leurs produits (**Demoulin, 2009**)

Le sucre (saccharose) est produit à partir de la betterave sucrière ou de la canne à sucre. Ainsi, par exemple, la production mondiale, qui se chiffrait à 130,5 millions de tonnes en 2000-2001, se répartit pour environ 72 % à partir de la canne à sucre et 28 % à partir de la betterave. Dans les deux cas, du début de la filière à la production du sucre final, 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 qualité (**Decloux, 2003**).

En Algérie, cette dernière reste inexploitée, d'ailleurs jusqu'à ce jour, il n'existe pas de sucrerie sur le territoire national. En effet, les matières premières, la betterave et la canne à sucre ne sont pas cultivées d'où le recours à l'importation pour répondre à la demande.

Ainsi, en Algérie, le raffinage de sucre a vu le jour avec la création de CEVITAL, seul complexe industriel à réaliser le raffinage de sucre roux.

L'objectif de la raffinerie CEVITAL, est d'assurer l'obtention d'un produit fini de bonne qualité. Pour y parvenir, il est nécessaire de maintenir le bon fonctionnement du process de raffinage du sucre en assurant notamment sa stabilité. Cette dernière dépend de plusieurs paramètres devant être continuellement contrôlés. A cet effet notre travail consiste à suivre l'évolution des paramètres physico-chimiques et la répétabilité du process de raffinage.

SYSTHESE
BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I

GENERALITES

Chapitre I : Généralités

1. Canne à sucre

1. 1. Définition

La canne à sucre « *Saccharum officinarum* » est une grande plante noble du fait de sa richesse en sucre. Elle est de la famille des graminées, cultivée dans les régions tropicales ou subtropicales ; le saccharose, élaboré dans les feuilles par la photosynthèse, s'accumule dans les tiges de la plante (Siret, 2008 ; Vercambre et Langellier, 2008).

Ces tiges peuvent atteindre entre 2,5 et 4 m de hauteur et 1,5 à 6 cm de diamètre, selon les variétés utilisées. Leur écorce épaisse et lisse va du jaune au violet selon les variétés. Les tiges sont structurées en tronçons de 10 à 20 cm (les entre-noeuds), séparés par des noeuds où les feuilles prennent naissance. L'apparition de la floraison marque la fin de la croissance de la plante et le début d'une augmentation sensible de formation de saccharose qui se déclenche sous l'action de la sécheresse et de la fraîcheur nocturne (Arzate, 2005).

1. 2. Composition.

La canne à sucre contient jusqu'à 16 % de Saccharose dans ses tiges, dont jusqu'à 96 % peut être extrait lors d'un processus industriel (Siret, 2008 ; Arzate ; 2005).



Figure 1 : photographie de la canne à sucre (Encarta, 2009)

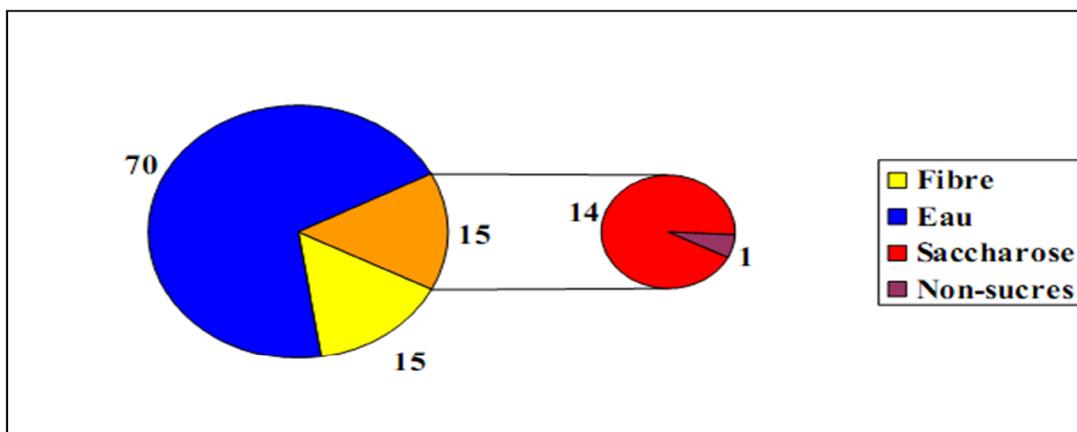


Figure 2 : Répartition des constituants de la canne à sucre (Corcodel et Hoareau , 2007)

1. 3. Culture de la canne à sucre

La culture de la canne à sucre s'étend dans les régions situées de part et d'autres de L'équateur, entre les latitudes 35° Nord et 30° Sud (régions tropicales et subtropicales). Sa croissance végétative est favorisée par des températures élevées, entre 26 °C et 34 °C. Par contre elle ne croît plus à des températures inférieures à 20 °C et elle ne tolère pas le gel. La plantation se fait au début de la saison des pluies. Selon les pays, elle est manuelle ou mécanisée. La canne à sucre demande un sol aéré, assez riche et bien irrigué. La chaleur, la luminosité et l'ensoleillement sont également les facteurs clés pour une bonne récolte (Arzate, 2005).

1. 4. Récolte

La récolte a lieu au moment où la canne atteint une teneur en sucre suffisante. La canne à sucre est coupée au ras du sol car sa partie inférieure est la plus riche en sucre. Son sommet appelé « bout blanc » ou « chou » est coupé lui aussi et laissé au champ (Poser, 2005).

La durée et la période de la campagne varient selon les pays, les climats et les traditions locales. L'usine est en général située à proximité des lieux de culture. Le transport à la sucrerie doit se faire le plus vite possible, car une fois coupée, la canne se détériore rapidement et perd son sucre. Une perte du sucre emmagasinée dans les tiges peut aller jusqu'à 10% (Arzate, 2005).

2. sucre roux

2. 1. Définition

C'est un saccharose partiellement purifié, cristallisé à partir de jus de canne. Il est caractérisé par des cristaux de saccharose recouverts d'une pellicule de mélasse de canne. (**Codex Stan 212, 1999**). Il constitue la matière première au niveau des raffineries de sucre ou il va subir plusieurs étapes de transformations pour aboutir à un produit final qui est le sucre blanc, commercialisable (**Mathlouthi et Barbara, 2001**).

2. 2. Procédé d'extraction du sucre de canne

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 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 (**Decloux et al., 2002**). Le schéma récapitulatif des étapes de l'extraction du sucre de canne est représenté en annexe I (**Figure 1**).

2. 2. 1. Préparation de la canne

La canne à sucre est reçue puis préparée à travers des bandes transporteuses: elle est pesée, analysée pour déterminer sa richesse en saccharose, à l'aide d'un échantillonnage effectué au sein des camions et engins de chargement et d'acheminement, ainsi que sa pureté. Elle est ensuite lavée afin d'éliminer la terre (**Amrani, 2006**).

2. 2. 2. Découpage et broyage

Compte tenu de sa composition, la canne à sucre doit être déchiquetée pour pouvoir en extraire le sucre. Cette opération est réalisée dans des « Schredders ». Les morceaux de canne ont une taille de l'ordre de 10 cm et un diamètre de 4 mm. Cette étape de broyage est déterminante et facilite considérablement le processus d'extraction (**Mathlouthi et Barbara, 2004**).

2. 2. 3. Extraction

À l'issue de la préparation, aucun jus n'a encore été extrait : la fibre se comporte comme une éponge et peut retenir jusqu'à 7 fois son poids de jus. L'atelier d'extraction a pour fonction d'extraire ce jus au maximum. Les morceaux de canne à sucre passent dans une série de trois moulins cylindriques montés en triangle et tournant lentement (4 à 6 tr/min). La canne subit deux

broyages dans chaque moulin donnant ainsi un liquide sucré, le « vesou ». La « bagasse », résidu fibreux qui sort des moulins, sert de combustible à la chaudière qui alimente toute l'usine en vapeur. Les moulins permettent d'extraire 92 % à 96 % du saccharose contenu dans les tiges de canne (**Lameloise, 2007 ; Arzate, 2005**).

2. 2. 4. Epuration

Le procédé de clarification est conçu à enlever les impuretés solubles et insolubles et la grande partie des difficultés en épuration proviennent des matières minérales (**Rousseau, 2002 ; Jetto, 2000**). Pour respecter les normes alimentaires, le sucre doit avoir une pureté minimale d'au moins 99,8 % en saccharose. Ceci veut dire que le sucre brut doit passer par plusieurs étapes de purification avant qu'il soit comestible (**David, 2010**).

Les sucreries de canne ne réalisent pas d'épuration calco-carbonique proprement parler mais plutôt une alcalinisation progressive du jus jusqu'à un ph supérieur à 8. Après le chaulage, les jus sont portés à ébullition à (105 °C) dans des réchauffeurs afin de favoriser l'insolubilisation du flocculat. Le jus décanté et les impuretés noires ou « boues » se déposent au fond. Le jus clair obtenu en surface contient de nombreux sucres réducteurs car l'épuration ne les a pas détruits (**Mathlouthi et Barbara, 2004**).

2. 2. 5. Évaporation et cristallisation

Le jus léger qui est ensuite concentré en évaporant autant d'eau que possible pour produire un jus épais qui contient environ 70% de solide. On évapore d'avantage le jus épais dans des appareils de cuisson à vide, ce qui produit des cristaux de sucre en suspension dans le sirop. On introduit ensuite le mélange dans une centrifuge, un grand panier circulaire qui tourne à haute vitesse pour séparer les cristaux du sirop (**Morrison, 2008**).

2. 2. 6. Séchage

On ralentit la détérioration et on réduit les pertes en diminuant l'humidité du sucre. La teneur en eau du sucre roux est d'environ 0,5 à 2 % à la sortie des centrifugeuses. L'ultime opération de séchage des cristaux permet de descendre jusqu'à 0,1 voir 0,2 %, ce qui assure une meilleure conservation du sucre (**Hugot, 1987**).

2. 2. 7. Emballage et entreposage

Pour la consommation locale dans les pays producteurs, le sucre brut obtenu est souvent

vendu et consommé tel quel. Les cristaux de sucre sont donc mis dans des sacs. Pour l'exportation, le sucre roux est entreposé en piles, jusqu'à ce qu'il soit chargé sur les navires (Arzate, 2005).

3. Saccharose

3. 1. Définition

Le sucre ou le saccharose est donc une molécule organique composée de carbone (C), d'hydrogène (H) et d'oxygène (O). Sa formule chimique brute est $C_{12}H_{22}O_{11}$, avec une masse molaire de 342,30 g/mol. Plus précisément, le saccharose est constitué de deux molécules, une de fructose et une de glucose. Son nom officiel (et international) est le D-glucopyranosyl-D-fructofuranose (Bounie, 2004).

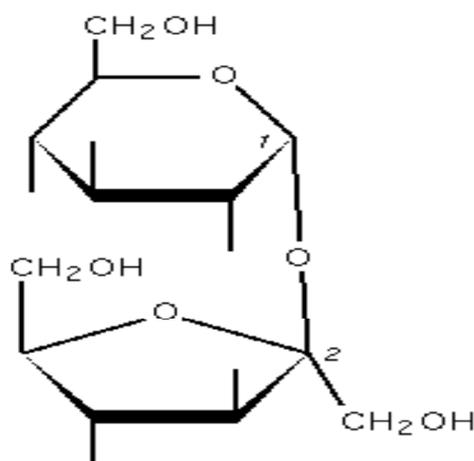


Figure 3 : Structure moléculaire du saccharose (Decloux, 2001)

3. 2. Propriétés

3. 2. 1. Granulométrie

Le sucre cristallisé est disponible commercialement selon des granulométries, qui sont adaptées à différentes applications alimentaires (Mathlouthi et Reiser, 1995). La granulométrie est exprimée au moyen de deux chiffres : l'ouverture moyenne qui caractérise la dimension moyenne des cristaux (OM) et le coefficient de variation (CV) qui caractérise la dispersion des cristaux autour de cette valeur moyenne (Doucet, 1992).

3. 2. 2. Aspect

Le sucre du commerce se présente sous la forme d'une matière cristalline blanche et brillante (prismes rhomboïdes) non hygroscopique. Il est inodore et de saveur caractéristique. Son humidité est très faible, de l'ordre de 0,05%, et sa stabilité au stockage très grande (**Beck, 1999**).

3. 2. 3. Solubilité

L'une des propriétés fondamentales du saccharose est sa grande solubilité dans l'eau, cette dernière croît significativement avec la température, mais elle est également fonction de la quantité et de la nature des autres molécules présentes en solution (**Mathlouthi, 2004**). Dans les solvants organiques, le saccharose présente une solubilité sensiblement plus faible que dans l'eau (**Bubnik et Kadlec, 1995**).

3. 2. 4. Température de fusion

La valeur de la température du point de fusion du saccharose généralement admise est de 186°C. Cette valeur peut varier entre 182° et 192°C selon la pureté de l'échantillon. Chauffé lentement à sec, le sucre commence à fondre vers 190° C, en donnant un résidu de « charbon de sucre » (**Doucet, 1992 ; Mathlouthi, 2004**).

3. 2. 5. Pouvoir rotatoire

Le saccharose en solution est une molécule optiquement active, elle dévie le plan de la lumière polarisée vers la droite. C'est une substance dextrogyre. Il s'agit d'une propriété permettant d'identifier sa présence et un paramètre fiable permettant d'évaluer sa pureté en solution. Son pouvoir rotatoire spécifique est [$\alpha^{20}_D = + 66.59^\circ$] (**Mathlouthi et Barbara, 2001**).

3. 2. 6. Densité

La densité d'un seul cristal de saccharose est de 1,588. Pour un ensemble de cristaux, tel qu'une pile de sucre cristallisé, la densité apparente change légèrement selon la taille des cristaux et la distribution de cette taille en fonction du degré de tassement des cristaux. L'intervalle de cette variation est étroit et se situe autour de 0,8. Ceci se traduit par une masse volumique globale de 0,8 à 0,9 g/cm³ pour la majorité des produits (**Arzate, 2005**).

3. 2. 7. Inversion

L'hydrolyse du saccharose, appelée «inversion», provoque la transformation du saccharose en un mélange équimolaire de glucose et de fructose. La solution obtenue prend le nom d'inversion de sucre inversi en raison du changement de signe de la mesure polarimétrique du positif vers le négatif, ceci sous l'effet de l'hydrolyse (Clarke, 1995).

Le sucre inversi est obtenu par hydrolyse du saccharose en milieu aqueux, plus ou moins acide, et sous l'action combinée de la température. L'enzyme invertase, dans le métabolisme humain, peut catalyser la même réaction (Bourré, 1997 ; Doucet, 1992).

4. Chimie sucrière

4. 1. Brix

Lorsqu'on chauffe une solution, l'eau (E) s'évapore et, lorsqu'elle est totalement évaporée il reste la matière sèche (MS). Une solution est donc composée d'une matière sèche et d'eau.

$$\text{Solution} = \text{MS} + \text{E}$$

Le Brix est le rapport entre la masse de matière sèche et la masse total de produit, est généralement exprimé en pourcentage par la formule suivante (Decloux, 2003).

$$\text{Brix} = \frac{\text{Masse de matière sèche (g)}}{\text{Masse total de produit(g)}} \times 100 (\%)$$

4. 2. Polarisation

La polarisation rotatoire est la propriété de certaines substances notamment le saccharose de faire tourner le plan de polarisation d'une onde polarisée rectilignement qui le traverse. Cette propriété est exploitée pour la détermination de la teneur apparente en saccharose d'une solution sucrée exprimée en pourcentage de masse selon la formule ci-après (Ait-Amar, 1981).

$$\text{Polarité(\%)} = \frac{\text{Quantité de sucre (g)}}{\text{Quantité de la solution (g)}} \times 100$$

4. 3. Pureté

La pureté définit la quantité de sucre (S) contenue dans la matière sèche (MS) (**Rachedi, 2002**). Elle est généralement exprimée en pourcentage (%).

$$\text{Pureté} = \frac{\text{Quantité de sucre (g)}}{\text{Quantité de matières sèches (g)}} \times 100 (\%)$$

4. 4. Saturation

Une solution de sucre est dite saturée à une température donnée lorsque, mise en présence de cristaux de sucre, ces derniers ne se dissolvent et ne grossissent pas. En dessous de cette concentration en sucre, la solution est dite sous-saturée, les cristaux peuvent se dissoudre (**Mathlouthi et Barbara, 2004**). La Saturation est mesurée par la formule suivante :

$$\text{Saturation} = \frac{\text{Quantité maximale de sucre dissoute (ms)}}{\text{Quantité d'eau}}$$

4. 5. Non Sucres

Les non-sucres sont constitués de cendres et de matières organiques Si l'on procède à l'évaporation totale de l'eau, il reste la matière sèche (MS), c'est-à-dire ;

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

Si l'on continue à chauffer, le sucre et les matières organiques se consomment :

- à 128°C, l'ensemble donne du caramel.
- à 600°C, le sucre et les matières organiques ont complètement disparu. Il ne reste que les cendres. (Afisuc, 2002).

5. Norme et qualité

5. 1. Norme de qualité CEE

La qualité du sucre est évaluée chez tous les fabricants européens par un certain nombre de mesure et de tests effectués selon des méthodes précises. (Doucet, 1992). La qualité du cristal de saccharose exprimée en points européens dépend de trois critères : l'aspect du cristal, sa pureté (corrélée à la teneur en cendres) et sa coloration (Courtois, 2002).

5. 2. Classification des sucres selon les différents textes réglementaires

- Les différents critères permettant le classement des sucres, selon la réglementation algérienne sont représentés en annexe II (Tableau I).
- Les critères du sucre blanc selon les critères de la CEE sont illustrés en annexe II (tableau II).
- les critères de qualité du sucre blanc, selon les normes du Codex Alimentarius sont représentés en annexe II (Tableau III).

5. 3. Qualité microbiologique du sucre

La contamination par des souches pathogènes est un risque très faible. On trouve en particulier des moisissures et des levures, qui peuvent se développer en surface et contaminer progressivement toute la masse par suite de mouvements de convection. L'application régulière des mesures de propreté éliminera les causes de contamination (Mathlouthi et Reiser, 1995 ; Lescure, 1995).

5. 4. Qualité organoleptique

Le sucre inverti a une saveur légèrement plus sucrée que celle du saccharose. La mesure des pouvoirs sucrants fait appel à des méthodes très sophistiquées, qui s'appuient sur des tests organoleptiques à l'aide de panels et de dégustateurs expérimentés (Ait Amar, 1981).

CHAPITRE II

RAFFINAGE DU SUCRE

ROUX DE CANNE

Chapitre II : Raffinage du sucre roux de canne

1. Le processus de raffinage du sucre roux

Le processus de raffinage du sucre, sous sa forme la plus simple, est conçu pour épurer ou raffiner le sucre brut, son premier objectif est le déplacement de la couleur, entre d'autres impuretés, afin de produire un sucre pur et un cristal de basse couleur. La couleur détermine la catégorie du sucre cru ou blanc qui est le souci principal de l'acheteur et des consommateurs (Kingsman, 2004 ; Cortes, 2007). Le raffinage de sucre roux au niveau de Cevital se fait suivant les étapes schématisées en annexe I (Figure 2).

2. Différentes étapes du raffinage

2. 1. Affinage

Le sucre roux est déversé dans un malaxeur et mélangé par un brassage à un sirop chaud légèrement sous-saturé (favorise la dissolution superficielle des cristaux). La couche superficielle des cristaux, la plus impure, sera alors dissoute. La masse cuite ainsi formée est essorée avec clairçage, le sucre obtenu est un sucre d'affinage (Mathlouthi et Barbara, 2004 ; Arzate, 2005).

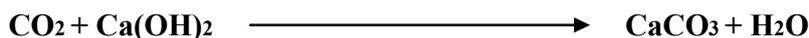
2. 2. Refonte

Le sucre affiné est refondu à une température de 85°C avec une eau sucrée, d'une manière à avoir un brix de 70% ce qui aboutit à la formation d'un sirop de refonte qui sera envoyé vers le bac de contact pour subir l'étape de chaulage et carbonatation (Assadi, 2007).

2. 3. Epuration calco-carbonique (carbonatation)

Cette étape provoque d'une part la précipitation de la chaux excédentaires sous forme de carbonate de calcium, support d'adsorption des impuretés, d'autre part, elle permet de neutraliser le milieu. Elle est suivie de décantation et de filtration pour éliminer le carbonate de calcium et les matières colorées adsorbées. Elle a pour but d'éliminer le maximum les non sucres solubles et insolubles dans le sirop tout en évitant la destruction du saccharose (Decloux *et al.*, 1999 ; Belhamri, 2005).

L'épuration calco-carbonique contient deux carbonatations successives qui précipitent la chaux en excès à l'aide du dioxyde de carbone (Bounie, 2004). La réaction est alcaline. Le précipité formé est granuleux et filtré aisément, comme la montre la réaction suivante (Hugot, 1987) ;



La chaux, sous l'action du gaz carbonique, se transforme en carbonate de calcium et piège les impuretés responsables de la couleur (**Decloux et al., 1999**).

2. 3. 1. Préparation du lait de chaux

La mise en œuvre de la chaux exige sa transformation en lait de chaux. Elle est très peu soluble dans l'eau mais soluble en milieu sucré et c'est grâce à cette particularité remarquable, que la chaux, doit sa propriété épurante car la chaux active est celle qui est en solution. Cette chaux sera apportée au jus sous forme de lait de chaux (**Decloux, 2003 ; Burzawa, 1999**).

Elle est mélangée modérément avec le petit jus, puis le mélange est homogénéisé et agité afin d'éviter sa décantation. Le sirop obtenu est mélangé au lait de chaux dans des réacteurs de carbonatation (**Asadi, 2007 ; Decloux et al, 1999**).

2. 3. 2. Chaulage

L'alcalinité totale est portée ici à 10-12 g/l. Le chaulage assure les réactions de dégradation et apporte une charge suffisante de chaux qui, carbonatée, servira de support de filtration. Le chaulage est immédiatement suivi d'un réchauffage à 85 °C et d'un temps de contact de l'ordre de 15 minutes afin d'assurer au mieux les réactions de dégradation (**Burzawa, 1999**).

2. 3. 3. 1^{ère} carbonatation

L'objectif de cette étape est de précipiter l'excès de chaux, principalement présente en suspension dans le jus. La chaux précipite sous forme de carbonate de calcium (CaCO₃). Sur la surface des particules, s'adsorbent certains non-sucres qui se trouvaient en solution, surtout les colloïdes provenant de la décomposition du sucre inverti (**Decloux, 2003**). Le point de 1^{ère} carbonatation doit se situer au pH le plus élevé possible (11.3-11.4) afin d'assurer l'élimination de la silice et de se prémunir contre toute resolubilisation des impuretés précipitées (**Burzawa, 1999**).

2. 3. 4. 2^{ème} carbonatation

Son rôle sera d'enlever le maximum de calcium encore en solution dans les jus clairs filtrés de 1^{re} carbonatation. Le point de la 2^{ème} carbonatation est déterminé de façon précise chaque année pour chaque usine. Il se situe en général entre pH 9.1 et 9.3. Tout dépassement de ce point conduira à la formation de bicarbonate de calcium soluble avec risque d'entartrage lors de l'évaporation. Afin d'assurer une bonne filtrabilité du jus trouble de 2^{ème} carbonatation, on recycle en général une partie des boues de 2^{ème} carbonatation qui serviront d'amorce, grossissant ainsi les cristaux de carbonate (**Burzawa, 1999**).

Tableau I : Principales réactions résumant le cycle de la chaux (**Burzawa, 1999**).

Préparation du lait de chaux	$\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{Ca(OH)}_2 + 159 \text{ kcal}$
Chaulage	$\text{Saccharose} + \text{lait de chaux} \longrightarrow \text{Saccharate de chaux}$
1 ^{ère} et 2 ^{ème} carbonatation	$\text{Saccharate de chaux} + \text{CO}_2 \longrightarrow \text{CaCO}_3 + \text{Saccharose} + \text{H}_2\text{O} + 276 \text{ kcal}$

2. 3. 5. Mécanisme et mode d'épuration calco-carbonique :

D'après **Burzawa (1999)** l'épuration du jus sera assurée grâce à quatre types de réactions dont certaines sont complexes et encore aujourd'hui incomplètement définies. Le (**tableau IV**) annexe II montre ces différentes réactions et le mode d'épuration calco-carbonique est illustré en annexe II (**tableau V**).

2. 4. Filtration

Le carbonate de calcium enveloppe les non-sucre et permet ainsi leur séparation dans des filtres à boue et filtres-presses. Le produit filtré est un jus léger, de couleur jaune clair. (**Munchener, 2004**). D'après **Bounie (2004)** la filtration a pour but :

- ✓ D'obtenir un jus clair en retenant dans le filtre les impuretés précipitées par la chaux et adsorbées sur le carbonate de calcium.
- ✓ De laver à l'eau le dépôt retenu par la filtration (écumes) pour en récupérer le jus sucré dont il est imprégné, dit « petit jus ».

Il est ensuite utilisé pour dissoudre la Chaux vive et former le lait de chaux. Les écumes de sucrerie issues de l'épuration du jus de canne à sucre constituent une source organique intéressante à épandre dans les champs. Riches en calcium, ces résidus de l'industrie sucrière présentent un double intérêt : organique et minéral (Courteau, 2005).

2. 5. Décoloration

L'objectif de la décoloration est la réduction du taux de la coloration du sirop jusqu'à 80%, dont le but est d'améliorer le rendement de la cristallisation. La figure ci-dessous montre un schéma simplifié de la section de décoloration au sein d'une raffinerie.

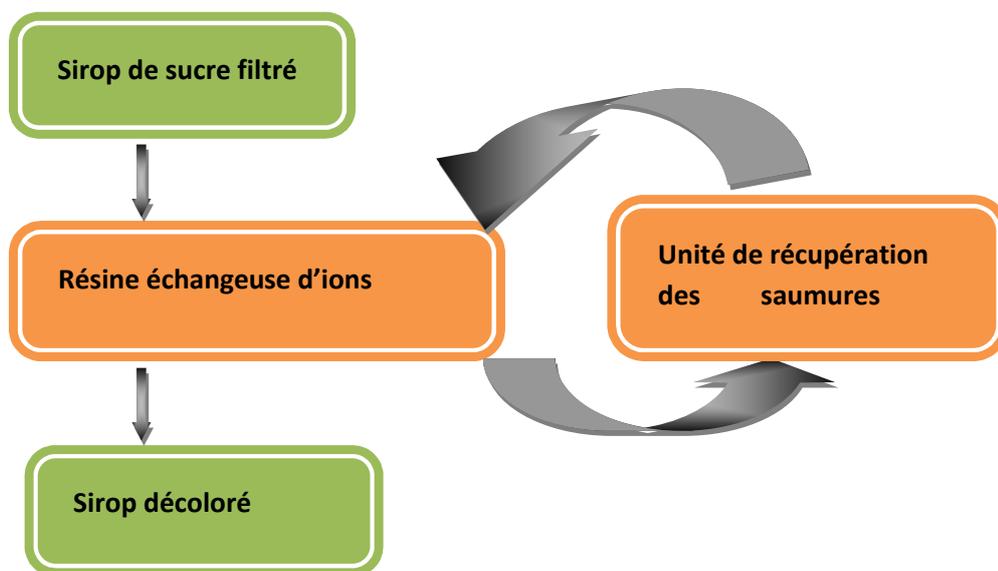


Figure 4 : schéma simplifié de la section décoloration au sein de la raffinerie (Applexion, 2006)

2. 5. 1. Types de colorants présents dans le sucre

D'après Cartier (1999) les colorants du sucre sont des macromolécules ayant un comportement d'acides faibles. Ils se présentent sous la forme de longues chaînes carbonées hydrophobes et possèdent une extrémité hydrophile, au niveau de leur fonction acide faible. On distingue :

- Les colorants naturels, issus de la canne à sucre, sont principalement des molécules dérivées des phénols.
- Les colorants de fabrications sont les produits de réaction de Maillard (mélanoidines), les produits de dégradation du saccharose (caramel) et des sucres invertis (produits de dégradation alcaline des hexoses : PDAH). Les principaux colorants présents en raffinerie de canne sont illustrés en annexe II (Tableau VI).

2. 5. 2. Résines échangeuses d'ions

Dans l'industrie sucrière, les résines échangeuses d'ions sont largement utilisées pour décolorer les sirops de sucre de canne (**Theoleyre, 1999**). Elles possèdent la propriété d'échange d'ions, de très bonnes propriétés d'adsorption. Les résines anioniques fortement basiques se sont révélées les plus efficaces sur les sirops de canne. On utilise des résines à squelette acrylique ou styrénique, à groupement fonctionnel ammonium quaternaire, sous forme chlorure. On choisit des résines macroporeuses, très résistantes au plan mécanique. (**Lameloise, 2007**). Les Caractéristiques de la résine de décoloration utilisée au sein du complexe CEVITAL sont représentées en annexe II (**tableau VII**).

2. 5. 3. Mécanisme d'action des résines

Deux mécanismes interviennent dans la décoloration :

- Interaction hydrophobe entre les chaînes carbonées du polymère et du colorant. Il s'agit de liaisons faibles.
- Échange d'ions, ou échange entre les ions Cl^- initialement fixés sur la résine et les acides organiques (colorants) présents dans la solution à traiter (**Theoleyre, 1999**).

2. 5. 4. Régénération des résines :

Une fois la résine de décoloration est saturée, une régénération est nécessaire. Cette dernière est assurée par une saumure basique : solution de sel (NaCl) à 100 g/l additionnée de 5 à 10 g/l de soude (NaOH) (**Decloux, 2003**). Elle se fait à contre courant par rapport au sirop traité, cela pour éviter la pollution de couches supérieures des lits de résines par les colorants déplacés des couches inférieures (les plus polluées) au cours de la régénération. L'unité de décoloration comporte deux chaînes identiques, chaque chaîne fonctionne avec 3 colonnes de 63 m^3 , 2 colonnes en production et 1 colonne en régénération (**Applexion, 2006**).

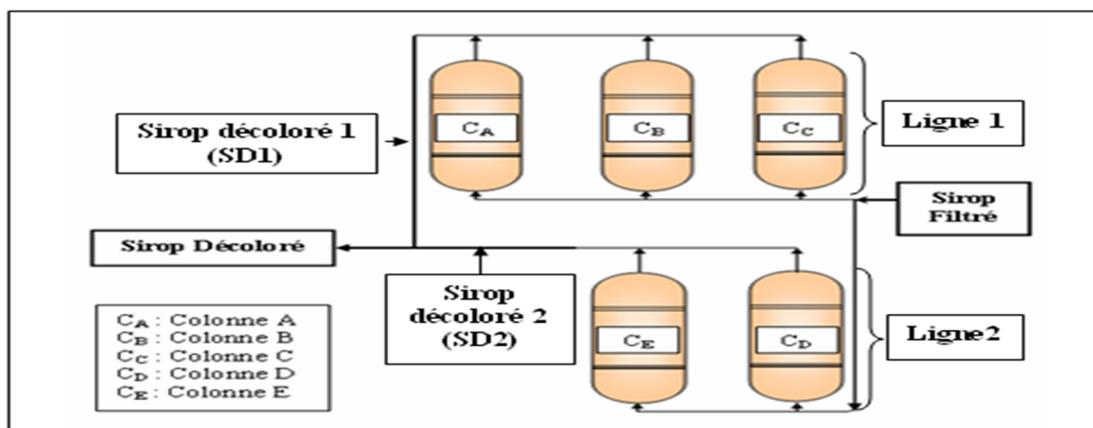


Figure 5 : Disposition de colonnes de la section de décoloration au sein du complexe CEVITAL

2. 5. 5. Facteurs intervenants dans la décoloration

D'après **Theoleyre *et al.*, (1999)** les principaux facteurs qui interviennent dans la décoloration d'un sirop de sucre sont :

- ✓ la couleur du sucre,
- ✓ le temps de séjour dans la résine,
- ✓ la hauteur totale du lit de résine.

2. 6. Concentration

L'épuration des jus a fourni un jus clair, ce jus c'est du sucre en dissolution dans de l'eau, avec certaines impuretés, il reste à éliminer l'eau, c'est le but de l'évaporation (**Hugot, 1987**).

L'atelier d'évaporation permet de concentrer le jus épuré ou jus avant évaporation de 13 à 14 % de matières sèches, jusqu'à obtenir un sirop à une concentration proche de la saturation, soit un Brix avoisinant les 68% (L'évaporation a lieu dans un concentrateur sous vide à une température de 80°C) (**Mathlouthi et Barbara, 2001**).



Figure 6 : Evaporateur
(**Bounie, 2004**)

2. 7. Cristallisation :

La cristallisation est essentiellement un processus de purification largement répandu dans des industries sucrières en raison de plusieurs avantages distinctifs. Elle est réalisée en trois étapes appelées « Jets ». Le but est d'obtenir du sucre blanc pur, Chaque jet se constitue d'une phase de cuisson, de malaxage et de centrifugation. Le sirop est concentré et agité dans de grandes chaudières dites « cuites » (**Echeverri, 2007 ; Bounie, 2004**).

La solution appelée « liqueur standard » alimentant chaque jet de cristallisation est le résultat du mélange de différents produits. 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 » car c'est lui qui nourrit le cristal. Lors de l'essorage de la masse cuite pour séparer les cristaux, l'eau-mère est tout d'abord évacuée et prend le nom « d'égout pauvre ». Puis la surface des cristaux est lavée par pulvérisation d'eau, on parle de « clairçage ». Cette étape entraîne une légère redissolution de sucre cristallisé et le sirop issu du lavage est donc nettement plus pur que le précédent égout, d'où son nom « d'égout riche » (**Decloux, 2003**).

2. 7. 1. Différentes étapes de cristallisation

a) Cuisson

L'amorce de cristallisation s'effectue par un ensemencement de fins cristaux dans le sirop sursaturé, il s'agit du « grainage ». On provoque donc le grainage par introduction d'une quantité de La semence qui est un mélange de sucre blanc finement broyé et d'alcool isopropylique. Le Saccharose, non soluble dans cet alcool. Ce grainage est suivi d'une période dite de maturation qui dure 2 à 3 minutes afin de permettre la réorganisation de la masse cuite (**Bounie, 2004 ; Libelle, 2007**).

b) Malaxage

La masse cuite dont la température avoisine 75 à 85 °C à la sortie de la cuite est déversé dans un bac de malaxage qui permet une agitation régulière. Durant cette période (30mn à 1 heure) la masse cuite refroidit et les cristaux achèvent leur grossissement (**Mathlouthi et Barbar, 2001**).

c) Turbinage (essorage)

La masse cuite est ensuite « essorée » par la force centrifuge développée par les turbines. Les centrifugeuses tournent à 1.400 tours à la minute. Les cristaux de sucre restent dans le tamis, tandis que les eaux mères s'en échappent (**Bounie, 2004**).

2. 7. 2. Cristallisation des hauts produits :

Après essorage dans des turbines, un sucre blanc dit de premier jet « R1 », est obtenu accompagné d'égout riche et d'égout pauvre. L'égout riche sera recyclé et l'égout pauvre sera envoyé pour produire un sucre blanc « R2 » dit de deuxième jet. On réalise ainsi 3 jets, l'égout final qui est de pureté insuffisante pour produire un sucre raffiné est envoyé à la cristallisation « bas-produits » (**Rachedi, 2002 ; MCG, 2009**). Le Schéma récapitulatif des étapes de la cristallisation des hauts produits est illustré en annexe I (**Figure 3**).

2. 7. 3. Cristallisation des bas produits :

Selon **MCG (2009)** cette étape permet de récupérer le sucre encore contenu dans les égouts provenant des cuites hautes pureté, cela se fait en trois étapes (jets). La première étape nous donne un sucre « A » qui est refondu pour être retraité et obtenir du sucre blanc. Les sucres B et C ne sont que des moyens d'épuisement complémentaires. L'égout de la centrifugation de la masse cuite C contient le non sucre et une partie équivalente de sucre qui

n'est plus cristallisable s'appelle la mélasse. C'est un sous-produit qui est commercialisable pour diverse utilisation dont :

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

Elle est le sous produit final de l'extraction du sucre (Courteau, 2005). Le Schéma récapitulatif des étapes de la cristallisation des bats produits est illustré en annexe I (Figure4).

2. 8. Séchage

Qu'il s'agisse du séchage ou bien du refroidissement du sucre en sortie de turbines, ces deux étapes sont nécessaires à la bonne conservation du sucre et permettent d'éviter son altération. Cette altération peut être soit physique (prise en masse, écoulement difficile, etc.), soit chimique (accroissement des germes, fermentation avec formation de sucres réducteurs). (Pron, 2004). Les sécheurs à tambours voir annexe I (Figure 5) sont les plus souvent utilisés. Le sucre circule à co-courant de l'air chaud (50°C) et à contre-courant de l'air froid (Decloux, 2003).

2. 9. Maturation

Le temps de maturation du sucre est de 48h. Un air conditionné circule à l'intérieur des silos, dans le but de maintenir le sucre dans de bonnes conditions de température et d'humidité, et pour que le sucre soit fluide au moment de la vidange des silos (Rachedi, 2002). Selon Favier et Levallois (2001) le silo de maturation installé en raffinerie correspond à trois besoins majeurs au niveau de la logistique sucrière :

- Permettre aux activités de raffinage et de conditionnement de fonctionner chacune a son propre rythme et ce pour une meilleure productivité.
- Offrir aux industries alimentaires un approvisionnement permanent du sucre en vrac.

2. 10. Stockage et Conditionnement

Le stockage du sucre s'effectue dans de silos verticaux et horizontaux. Ils ont une capacité d'environ 10 000 T (Decloux, 2003). Le sucre sera ensuite ensacher sur six lignes, chaque ligne compte une ensacheuse-peseuse, une couseuse, et une encamionneuse. Le sucre ainsi produit est conditionné en sac de 50Kg ou en big bag de 500Kg (MCG, 2009).

Figure 7: Atelier D'ensilage à Cevital



PARTIE PRATIQUE

CHAPITRE III
MATERIELS
ET
METHODES

Chapitre III : Matériels et Méthodes

1. Présentation de l'organisme d'accueil "CEVITAL"

CEVITAL représente une grande force industrielle et économique africaine, elle est parmi les entreprises Algériennes qui ont vu le jour dès l'entrée de notre pays en économie du marché, elle a été créée par des fonds privés en 1998.

Cevital agroalimentaire, société par action (SPA) au capital de 25 milliards de DA. Elle représente la plus importante des entreprises d'un groupe familial diversifié, fondé en 1971. L'organigramme du complexe Cevital est illustré en annexe I (**figure 6**).

CEVITAL contribue largement au développement de l'industrie agroalimentaire nationale, elle vise à s'imposer dans le marché national et international, en offrant une large gamme de produits de qualité. Elle est considérée comme l'un des plus grands complexes agroalimentaires en Algérie et à plusieurs activités parmi elles:

- La raffinerie de sucre d'une capacité de production de 3000tonnes/jour.
- La raffinerie de sucre d'une capacité de production de 1600tonnes/jour.
- Sucre liquide d'une capacité de production de 600tonnes/jour.
- La raffinerie d'huile d'une capacité de production de 1800tonnes/jour.
- La margarinerie d'une capacité de production de 600tonnes/jour.
- Conditionnement d'huile d'une capacité de production de 2200 tonnes/jour.
- Fabrication de l'emballage BET.
- Stockage de céréales (capacité 120 000T).
- Aménagement de la pépinière EL Hamiz 38 Hectares.
- montage de citernes et de remorques tous types.
- préfabrication béton précontraint – Alger (Capacité 600 m3 /jour).
- Fabrication de verre flottant (Capacité 600T/jour)
- Unité d'eau minérale d'une capacité de production de 3 000 000 bouteilles / jour.

2. Matériel utilisé dans le laboratoire :

Le matériel utilisé dans le laboratoire de la raffinerie est récapitulé dans le tableau ci-dessous.

Tableau II : Matériel utilisé au laboratoire du complexe CEVITAL

Matériels	Paramètre à mesurer
- Spectrophotomètre	- Absorbance
- Réfractomètre	- Brix
- pH-mètre	- pH
- Dilluteur	- Dilutions
- Polarimètre	- Polarisation
- Plaque chauffante agitatrice	- Agitation

3. Echantillonnage et prélèvements

Notre étude réalisée au niveau de la raffinerie du sucre « Cevital » consiste a :

- suivre l'évolution de quelques paramètres physico-chimiques pendant le procès, à savoir la couleur, le pH, la pureté et le °Brix depuis le magma jusqu'à la liqueur standard C.
- Suivre l'évolution de tendance des erreurs standards.

Le tableau 3, présente les échantillons qui ont été prélevés dans le cadre de cette étude ainsi que les paramètres étudiés

Tableau III : Échantillons prélevés des différentes sections et leurs paramètres étudiés.

section	Echantillons prélevés	Paramètres étudiés
Affinage	Magma	• °Brix, pureté, couleur
Refonte	SR	• °Brix, pureté, couleur, pH
Carbonatation	JC	• pH
	SC1+ SC2	• pH
Filtration	SF	• °Brix, pureté, couleur, pH
Décoloration	SD1+SD2	• °Brix, pureté, couleur, pH
CONCENTRATION	SC	• °Brix, pureté, couleur
cristallisation	LS1+LS2+LS3	• °Brix, pureté, couleur, pH
	LSA +LSB+LSC	• °Brix, pureté, couleur, pH

On note que pour l'analyse des sirops, des échantillons sont prélevés à 7, 13 et 21 heure au niveau des sections chaque jour durant 14 jours. Les prélèvements s'effectuent par l'ouverture des vannes, permettant de recueillir une quantité d'échantillon. Ces derniers sont récupérés dans des flacons en plastiques de 500 ml. Les flacons sont immédiatement transportés au laboratoire pour analyse.

4. Analyses physico-chimiques (protocoles expérimentaux)

4. 1. Mesure de la couleur

- **Référence : Méthode ICUMSA GS 1/3-7(2002)**
- **Principe**

La couleur de la solution de sucre est déterminée à partir de la valeur de l'absorbance mesurée à 420 nm à l'aide d'un spectrophotomètre.

- **Mode opératoire**

- Peser 50 à 60 g de chaque sirop prélevé à l'aide d'une balance, puis diluer jusqu'à l'obtention d'une dilution de 1/5 avec un diluteur ;
- Agiter soigneusement la solution jusqu'à homogénéisation ;
- Filtration des solutions à travers des membranes (pour le sirop de fonte) ;
- Récupérer les filtrats dans des bécher ;
- Ajuster le pH du filtrat à $7 \pm 0,2$, par l'ajout d'une solution de NaOH 0,1N ou d'HCl 0,1N.
- Avec un spectrophotomètre UV visible (**Figure 8**) l'absorbance de la solution est lue à 420nm.



Figure 8 : Spectrophotomètre HELIOS gamma utilisé à Cevital

- Lire le °brix de la solution à l'aide du réfractomètre puis, on calcule la couleur à partir de la formule incluse dans le logiciel Cléopâtre.



Figure 9 : Réfractomètre RFM340 utilisé à Cevital

- **Remarque :** pour la fiabilité des résultats, la cellule de mesure (1cm) doit être :
 - Bien propre sur les parois traversées par le faisceau lumineux.
 - Rincer avec la solution de sucre avant d'être rempli et éviter les bulles d'air.

- **Expression des résultats**

$$\text{Couleur ICUMSA} = \frac{1000 \cdot \text{Abs}}{\text{B} \cdot \text{C}}$$

A : absorbance de la solution à 420nm

B : longueur de la cellule en cm

C : concentration de la solution en g/ml

4. 2. Mesure du pH

- **Référence : Méthode SNFS – chapitre 1, n° 17 (1999).**
- **Définition et principe**

Le Ph, caractéristique essentielle d'une solution, est défini par l'OIML (Organisation Internationale de Métrologie Légale) comme le cologarithme de l'activité ionique de l'ion hydronium

$$\text{pH} = - \log [\text{H}_3\text{O}^+]$$

- **Mode opératoire**

Le pH du sirop est mesuré à l'aide du pH-mètre. On rince soigneusement l'électrode qui sera placé dans la solution à mesurer à 20°C. Cette dernière doit être agitée afin de l'homogénéiser. La lecture se stabilise après un certain moment.

4. 3. Mesure du °Brix

Le mesure est réalisée a l'aide d'un appareil, le refractomètre qui donne la quantité en % de la matière sèche (sucre + non sucres) (**ICUMSA, 1994**).

4. 4. Mesure de la pureté des sirops

- **Référence : ICUMSA Méthodes GS 2/3-18 (2007).**
- **Mode opératoire**
 - Verser dans un pot : 50-60 g pour les sirops HP.
 - Effectuer une dilution de 1/5 pour les sirops HP.
 - Laisser agiter sur l'agitateur magnétique jusqu'à dissolution et homogénéisation totale du produit sur agitateur.
 - verser environ 100ml de la solution préparée dans un réfractomètre.
 - Lire le °Brix à 20°C (correction de température automatique).
 - verser environ 100ml de la solution dans le polarimètre pour la lecture de la polarisation.
- **Expression des résultats :**
 - saisir les résultats lus sur le pro-logiciel CLEOPATRE qui effectuera le calcul et nous donne les résultats.

CHAPITRE IV
RESULTATS
ET
DISCUSSIONS

Chapitre IV : Résultats et discussion

1. Analyse descriptive

1. 1. Evolution des moyennes des différents paramètres

1. 1. 1. Evolution de la moyenne du °Brix

La figure 10 ci- dessous représente l'évolution de la moyenne du °Brix en comparaison à la moyenne de la norme de l'entreprise

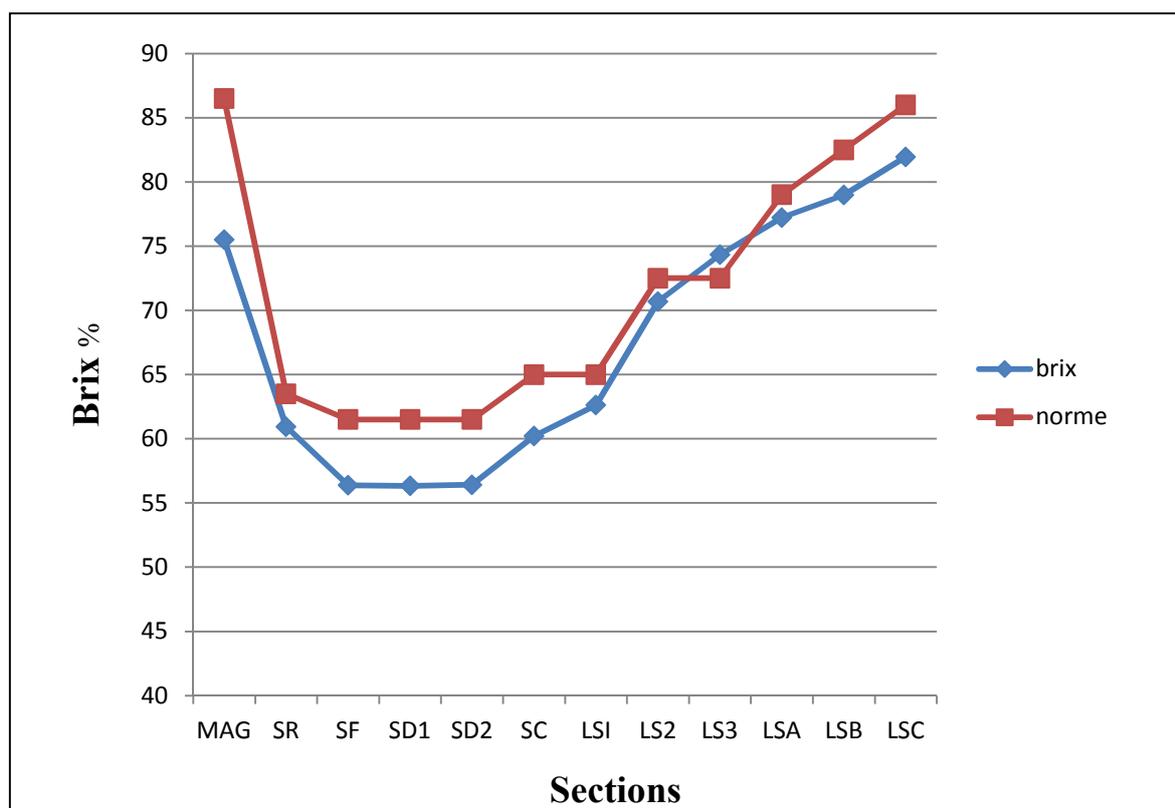


Figure 10 : Evolution de la moyenne du °Brix au cours de raffinage du sucre

(Le tableau VIII, annexe II représente les résultats numériques)

Interprétations

On remarque que les deux courbes ont la même allure avec des écarts dus vraisemblablement à la mesure et aux écarts sur la mesure ou à des erreurs du procès.

On observe que durant tout le process les valeurs moyennes mesurées durant 14 jours sont au dessous de la norme, à l'exception du LS3.

1. 1. 2. Evolution des moyennes de la pureté

La figure 11 ci- dessous représente l'évolution de la moyenne de la Pureté en comparaison à la moyenne de la norme de l'entreprise.

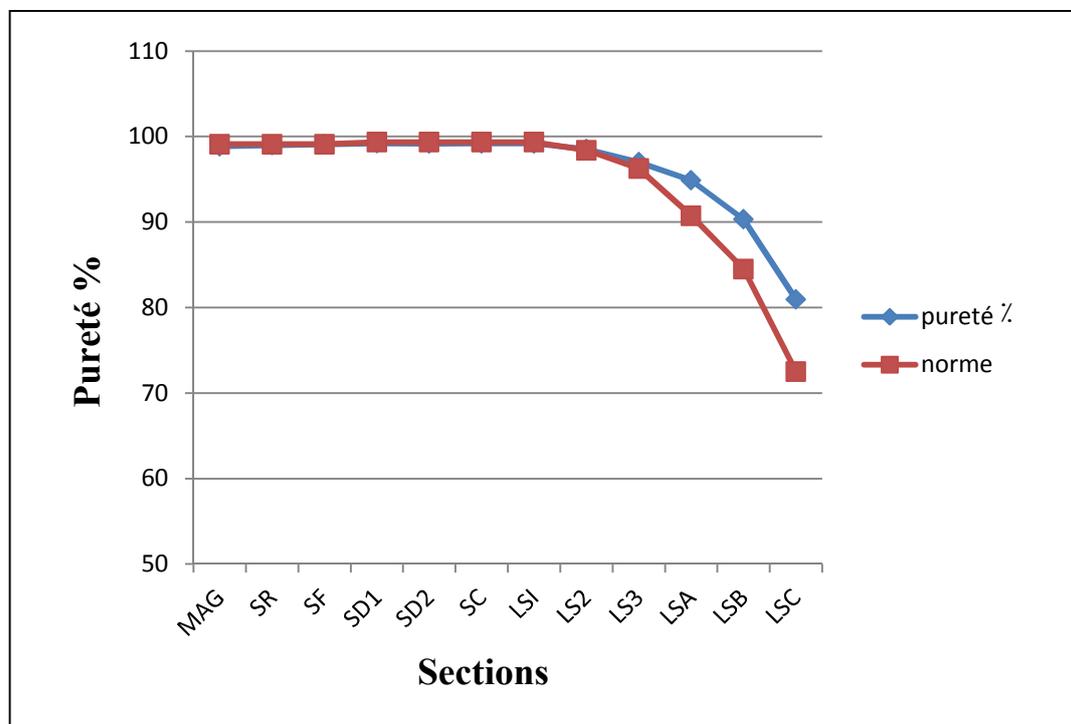


Figure 11 : Evolution de la moyenne de la pureté au cours de raffinage du sucre

(Le tableau IX, annexe II représente les résultats numériques)

Interprétations

Du magma jusqu'à LS2 les deux courbes sont identiques, a partir de LS2 les deux courbes se divergent. Cette divergence est due soit aux erreurs commises lors de la mesure ou bien ou erreurs commises pendant le process.

1. 1. 3. Evolution des moyennes de la couleur

La figure 12 ci- dessous représente l'évolution de la moyenne de la couleur en comparaison à la moyenne de la norme de l'entreprise.

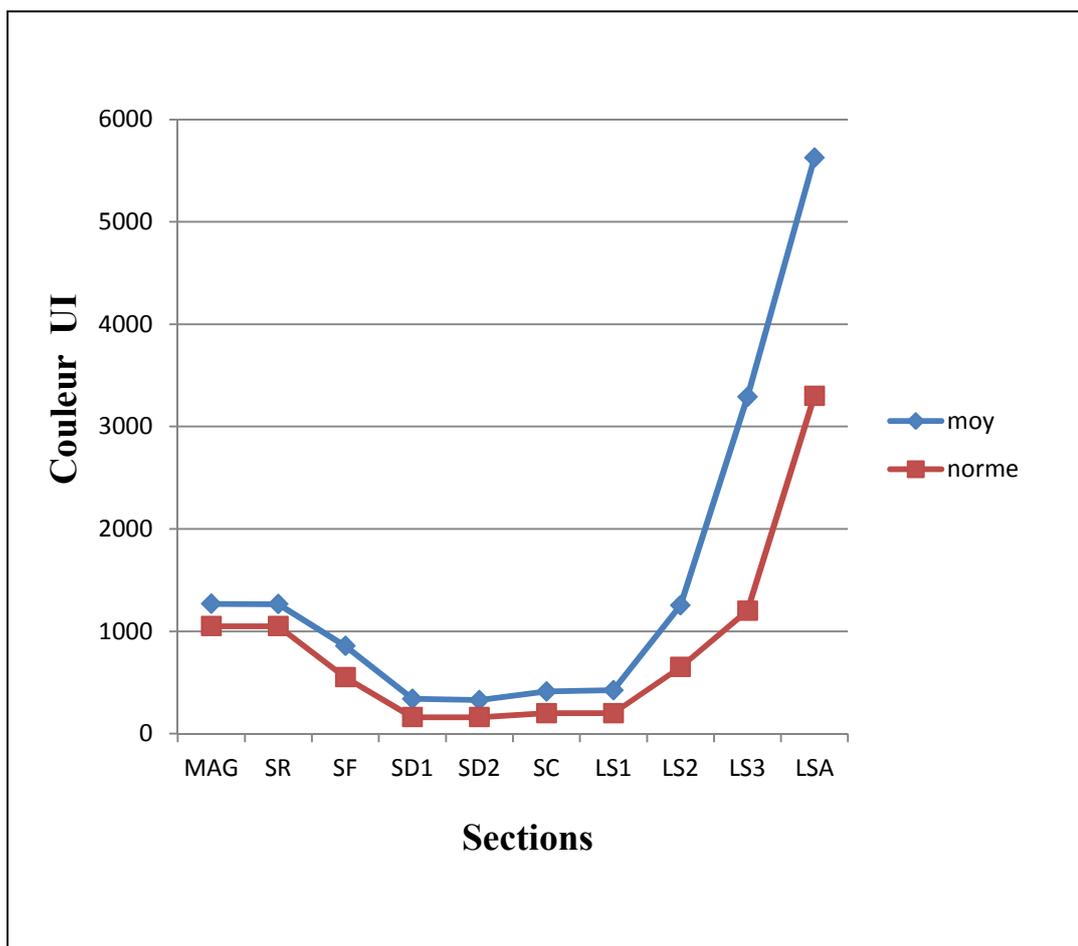


Figure 12 : Evolution de la moyenne couleur au cours de raffinage de sucre

(Le tableau X, annexe II représente les résultats numériques).

Interprétations

Les deux courbes ont la même tournure sauf que les écarts entre ces deux courbes ne sont pas identiques. Les erreurs engendrées lors de la mesure ou lors du process sont à l'origine de cette inégalité des écarts.

1. 1. 4. Evolution des moyennes du pH

La figure 13 ci- dessous représente l'évolution de la moyenne du pH en comparaison à la moyenne de la norme de l'entreprise.

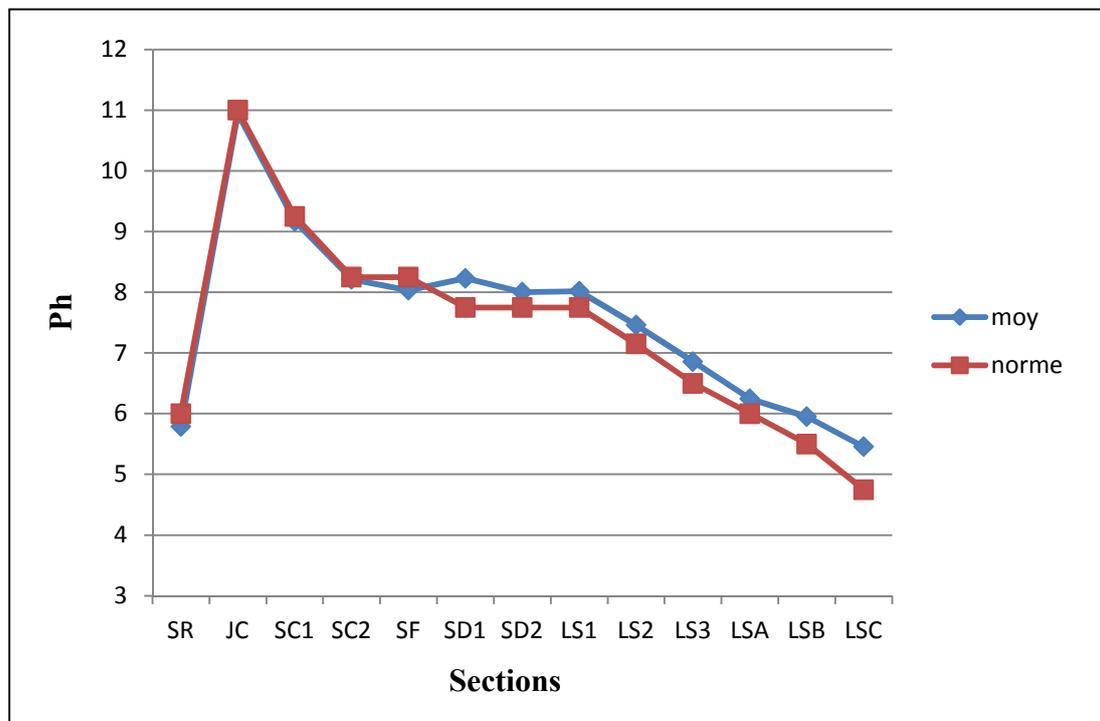


Figure 13 : Evolution de la moyenne du pH au cours du raffinage du sucre

(Le tableau XI, annexe II représente les résultats numériques)

Interprétations

Du sirop de refonte jusqu'à SC2 les deux courbes sont identiques. A partir SC2 les écarts entre les deux courbes se différent. Cette différence est due aux erreurs engendrées par le manipulateur (erreur de mesure) sinon c'est des erreurs de process.

1. 2. Evolution des écart-types des différents paramètres

1. 2. 1. Evolution des écart-types du °Brix

La figure 14 ci- dessous représente l'évolution des écart-types du °Brix en comparaison aux écart-types de la norme de l'entreprise

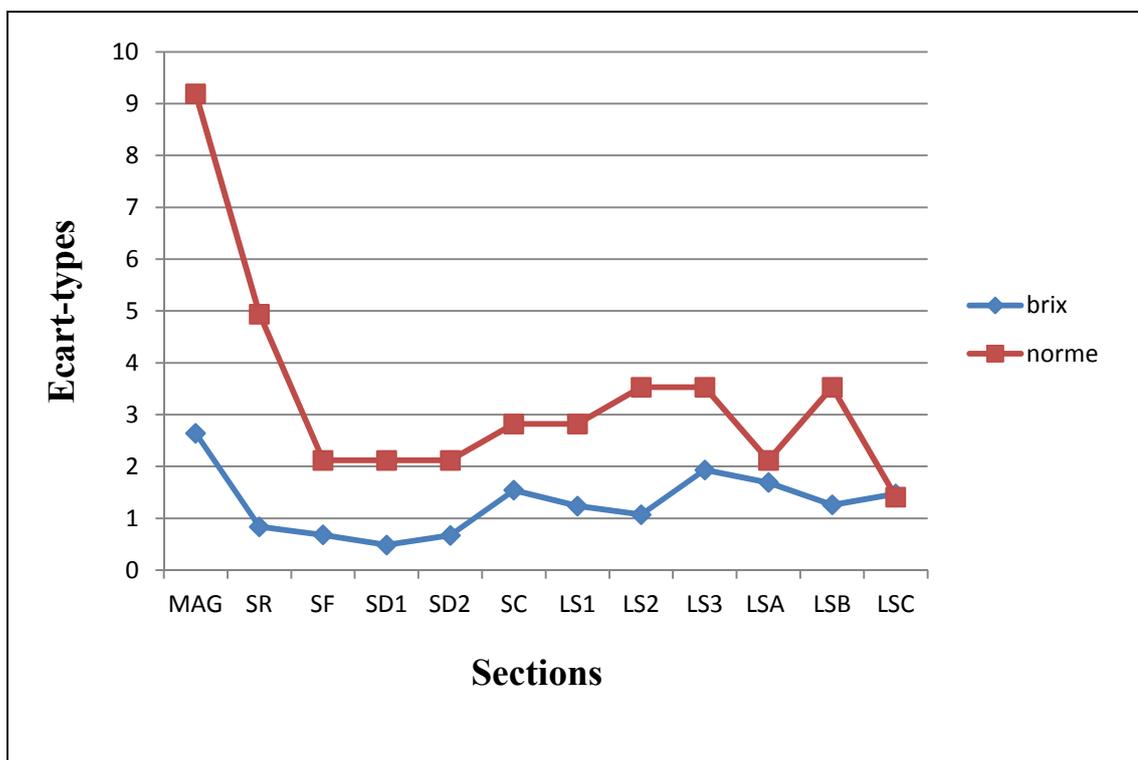


Figure 14 : Evolution des écart-types du °Brix au cours de raffinage du sucre

(Le tableau XII, annexe II représente les résultats numériques)

Interprétations

La courbe nous renseigne sur les erreurs qui peuvent être commises au cours de la mesure pendant l'analyse des échantillons. En jetant un regard sur la courbe de l'évolution des écart-types du °Brix, nous constatons que les valeurs des erreurs sont au-dessous des valeurs tolérées. Ceci veut dire que les erreurs commises ne sont pas dues à la mesure.

Cependant des erreurs négligeables sont commises au cours des analyses, ce qui est normale car l'analyse et l'appareillage utilisé sont une source d'erreurs (erreur de refractomètre, diluteur, représentativité des échantillons).

1. 2. 2. Evolution des écart-types de la pureté

La figure 15 ci- dessous représente l'évolution des écart-types de la pureté en comparaison aux écart-types des normes de l'entreprise.

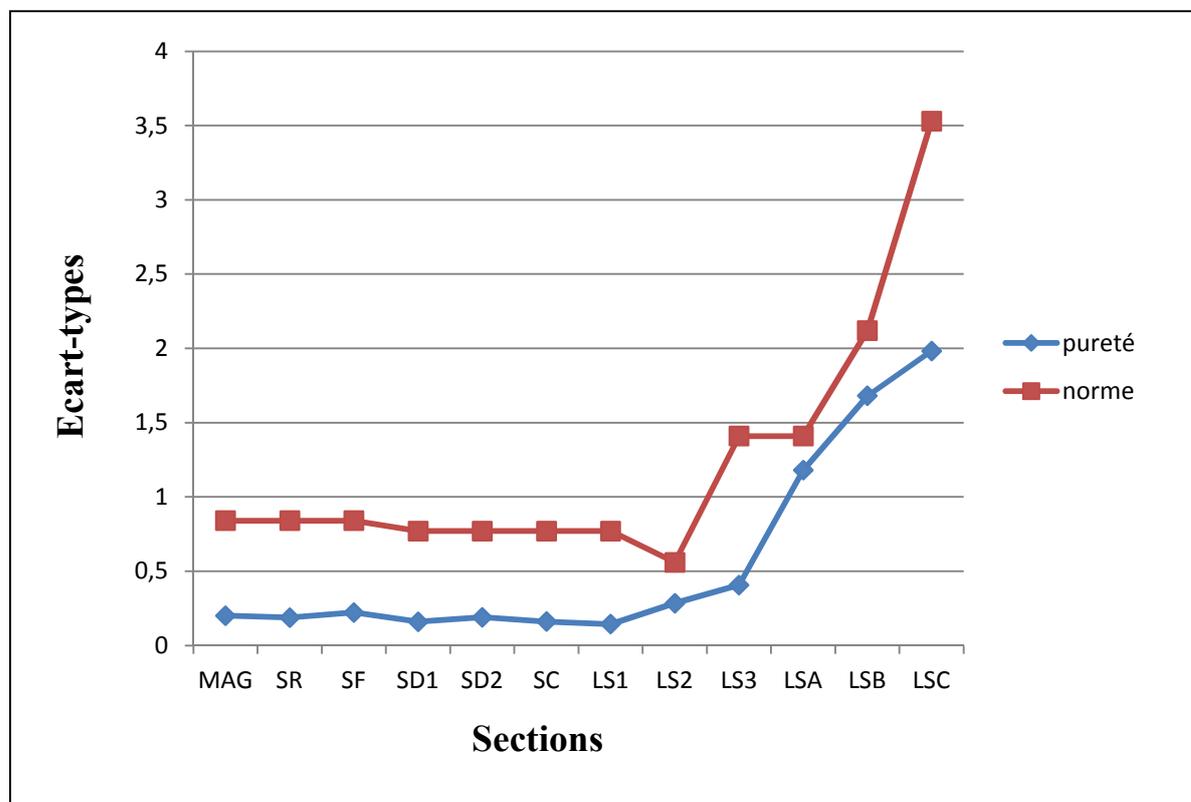


Figure 15 : Evolution des écart-types de la pureté au cours de raffinage du sucre

(Le tableau XIII, annexe II représente les résultats numériques)

Interprétations

Selon la courbe il paraît bien que l'évolution des écart-types de la pureté est proportionnelle à ceux qui sont tolérés mais sans pour autant les dépasser. Ce qui prouve la fiabilité des résultats trouvés et ce qui explique que les erreurs engendrées ne sont pas dues à la mesure.

Rien n'empêche d'avoir des erreurs inévitables liées à la sensibilité de l'appareillage (erreurs du diluteur, refractomètre, polarimètre) ainsi que la maîtrise de l'analyste et les BPL (bonnes pratiques de laboratoire).

1. 2. 3. Evolution des écart-types de la couleur

La figure 16 ci- dessous représente l'évolution des écart-types de la couleur en comparaison aux écart-types des normes de l'entreprise.

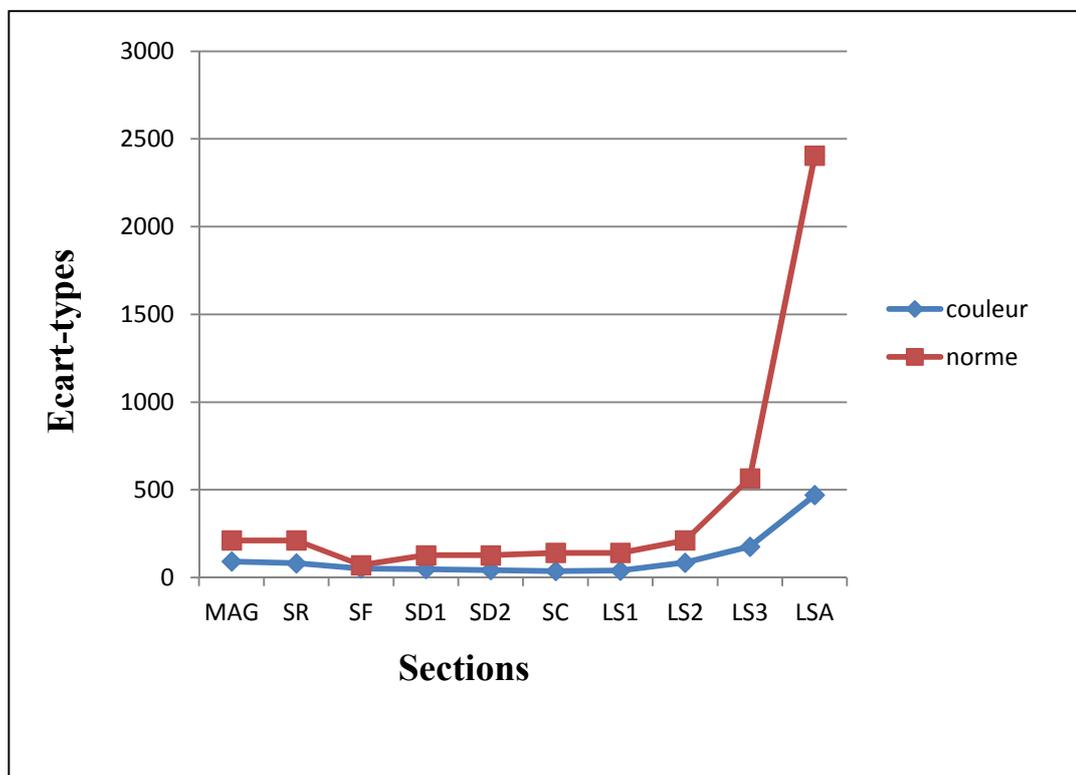


Figure 16 : Evolution des écart-types de la couleur au cours de raffinage du sucre

(Le tableau XIV, annexe II représente les résultats numériques)

Interprétations

Le paramètre de la couleur est à la fois très important et très délicat d'où la marge d'erreur à commettre est très minime.

On observe la presque superposition des deux courbes, tout en étant dans l'intervalle toléré. Des erreurs existent d'une façon incontournable générées que ce soit par les appareils de mesure tel que le spectrophotomètre, le pH mètre ou par l'analyste.

1. 2. 4. Evolution des écart-types du pH

La figure 17 ci- dessous représente l'évolution des écart-types du pH en comparaison aux écart-types des normes de l'entreprise.

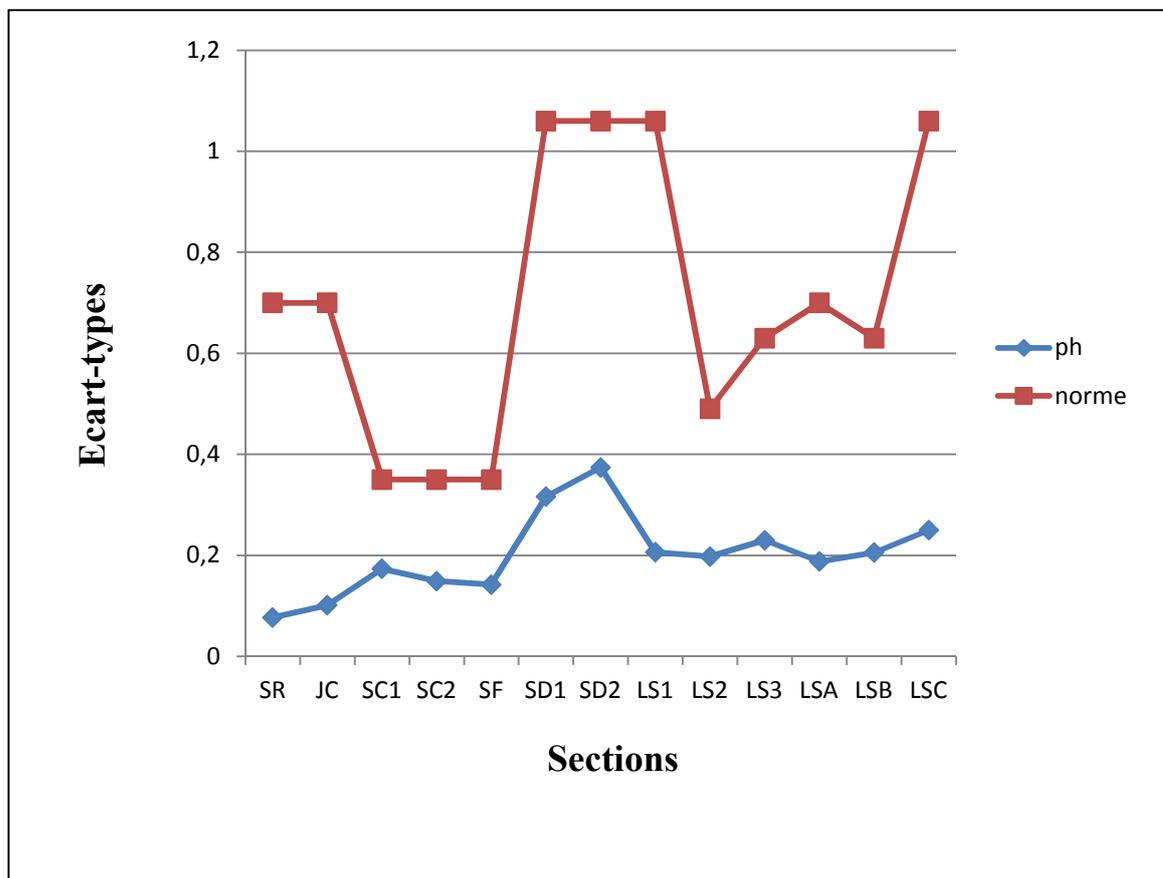


Figure 17 : Evolution des écart-types du pH au cours de raffinage du sucre
(Le tableau XV, annexe II représente les résultats numériques)

Interprétations

On remarque que la courbe des écart-types du pH ne dépasse en aucun cas la courbe des écart-types de la norme. Ceci s'explique par le bon déroulement des opérations de mesure.

Les erreurs existantes sont dues à l'appareil de mesure d'une part (pH mètre : calibrage de l'appareil) et au manipulateur (le moment d'échantillonner, et la température de l'échantillon lors de la mesure) de l'autre part.

2. Analyse des résidus

2. 1. Evolution des erreurs standards du °Brix

La figure 18 ci- dessous représente l'évolution des erreurs standards du °Brix.

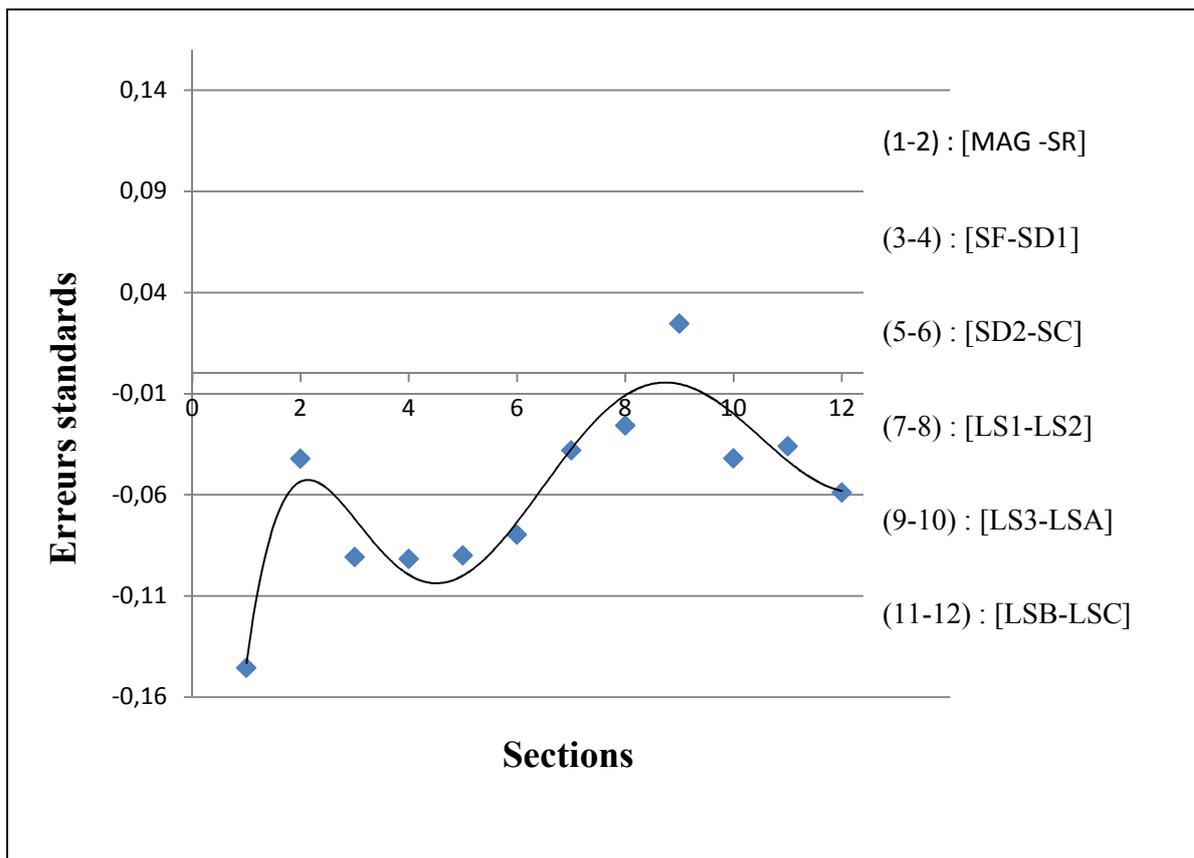


Figure 18 : Evolution des erreurs standards du °Brix au cours de raffinage du sucre

(Le tableau XVI, annexe II représente les résultats numériques)

Interprétations :

La tendance de la courbe s'explique par la présence des erreurs par rapport à la norme, ce qui veut dire qu'il n'y a pas de répétabilité du process pendant les 14 jours. A savoir :

- Dans la section d'affinage et refonte la fraction du magma préparée n'est pas stable ceci s'explique ou bien par le manque de la matière sèche qui est le sucre roux sinon par l'abondance de la quantité d'eau injectée.
- les erreurs précédentes s'accumulent pour engendrer d'autres erreurs dans les étapes ultérieures. Mais aussi d'autres facteurs comme la filtration peuvent être source d'erreurs.
- Dans le cas des liqueurs standards les différentes erreurs sont générées par le turbinage et recirculation des égouts.

2. 2. Evolution des erreurs standards de la pureté

La figure 19 ci- dessous représente l'évolution des erreurs standards de la pureté

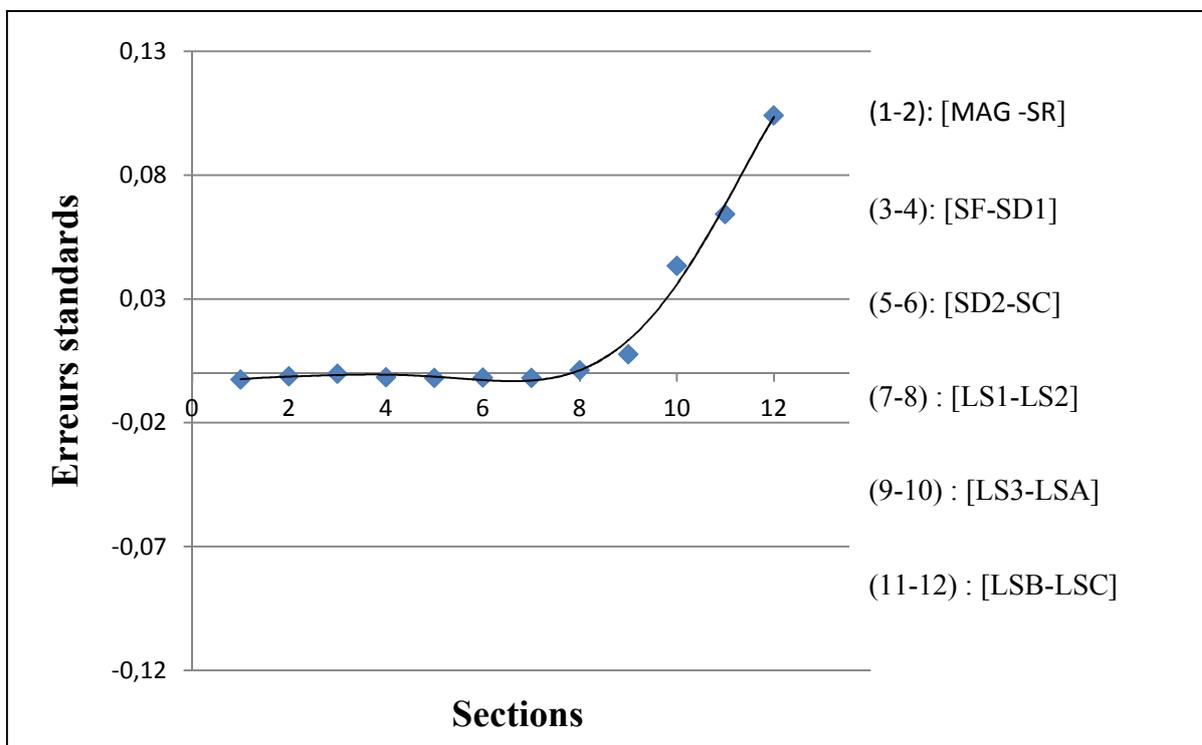


Figure 19 : Evolution des erreurs standards de la pureté au cours de raffinage du sucre

(Le tableau XVII, annexe II représente les résultats numériques)

Interprétations

Une répétabilité du process est observée d'une manière très significative entre le magma et la première liqueur standard (LS1). Par contre à partir de la deuxième liqueur standard la courbe a une évolution ce qui signifie présence d'une tendance à l'erreur standards et par conséquent il ya une instabilité du paramètre. L'explication peut être recherchée dans :

- La recirculation des égouts et leurs quantités.
- La qualité de la matière première utilisée (taux de saccharose dans la matière première), la quantité du sucre (A) refondue.
- La stabilité des étapes précédentes (le phénomène d'hydrolyse qui provoque la destruction de la molécule de saccharose).
- L'accumulation des non saccharose dans les liqueurs ultérieures.

2. 3. Evolution des erreurs standards de la couleur

La figure 20 ci- dessous représente l'évolution des erreurs standards de la couleur

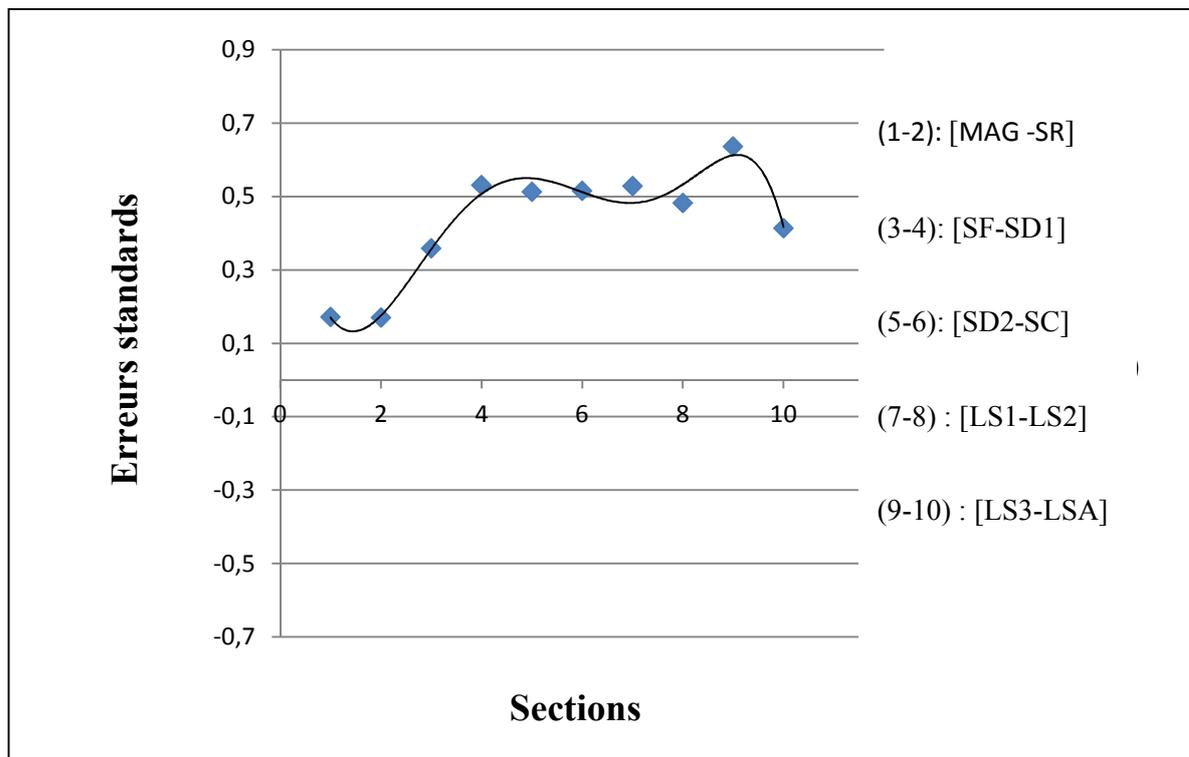


Figure 20 : Evolution des erreurs standards de la couleur au cours de raffinage du sucre
(Le tableau XVIII, annexe II représente les résultats numériques)

Interprétations

Les valeurs des erreurs standards de la couleur ont une trajectoire, ceci se traduit par la non répétabilité du process. Plusieurs facteurs interviennent dans cette non répétabilité à savoir :

- En premier lieu, la couleur de la matière première
- La qualité de la résine décolorante (saturation et régénération de la résine).
- Le °Brix influe sur le bon fonctionnement des colonnes de décoloration d'où la diminution du °Brix juste avant la décoloration (un °Brix légèrement faible favorise une bonne décoloration).
- Le PH des liqueurs qui doit être toujours neutre
- La recirculation des égouts et leur quantité influent sur la couleur des liqueurs standards suivantes.
- La cuisson et la température lors de la concentration influent aussi sur la couleur (caramélisation par exemple).

2. 4. Analyse des résidus du pH

La figure 21 ci- dessous représente l'évolution des erreurs standards du pH en comparaison à la moyenne de la norme de l'entreprise

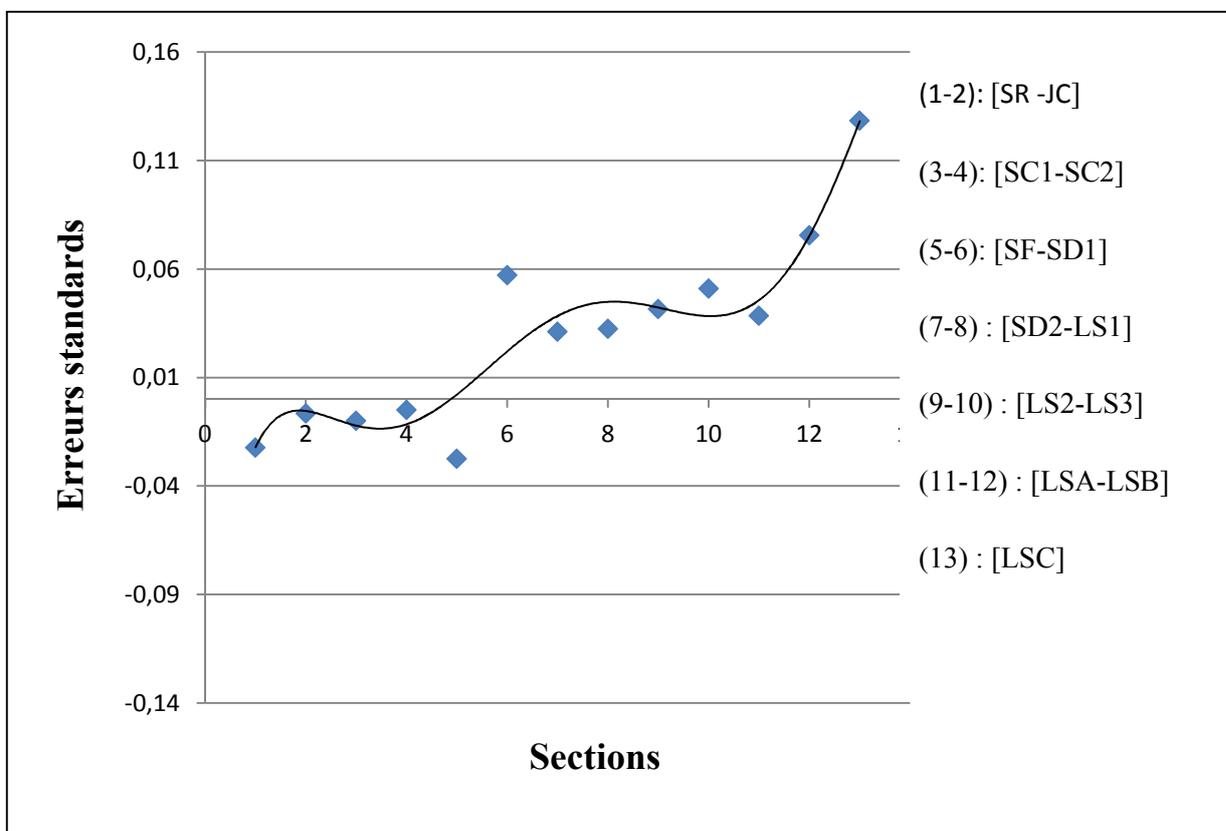


Figure 21 : Evolution des erreurs standards du pH au cours de raffinage du sucre

(Le tableau IXX, annexe II représente les résultats numériques)

Interprétations

L'évolution des erreurs standards dans le cas du pH montre qu'il y a absence de répétabilité du process. Les causes probables peuvent être énumérées comme suit :

- l'injection du CO₂ au niveau de la carbonatation provoque la variation du pH selon la quantité injectée et la quantité qui a réagit.
- La régénération des colonnes décolorantes (utilisation de la saumure basique pour la régénération).
- L'épuisement du saccharose dans les liqueurs (les pigments colorés sont des acides faibles).

3. Analyse de corrélation

L'analyse de corrélation au niveau de la section de décoloration (SD1) montre : Qu'il y a une faible corrélation entre le °Brix et la couleur, le coefficient de corrélation est égale à 0.39

L'analyse de corrélation au niveau de la section de décoloration (SD2) montre : qu'il y a une faible corrélation entre le °Brix et la couleur, le coefficient de corrélation est égal à 0.23

Interprétations

Cette inégalité de coefficient de corrélation entre SD1 et SD2 malgré que c'est le même sirop qui rentre dans SD1 et SD2 avec le même débit, la même vitesse et la même température s'explique par l'âge de la résine de SD1. Les structures des résines sont sensibles aux : Séchage, à la température, aux chocs osmotiques, aux agents oxydants, aux polluants organiques, aux polluants minéraux et aux stress mécanique (pertes de charges). Ceci veut dire que même si on procède à la régénération de la résine de la ligne (1) on aura toujours des résultats non fiables. Donc il faut substituer cette résine par une autre.

Les tableaux XX et XXI (annexe II) représentent les résultats de l'analyse de corrélation de SD1 et SD2 respectivement.

Remarque :

Tous les calculs et graphes ont été faits par Microsoft office Excel 2007.

CONCLUSION

Conclusion

Notre travail a porté sur le suivi de la répétabilité du procès au cours du raffinage du sucre de canne au niveau de la raffinerie CEVITAL. Nous avons constaté qu'il ya une non répétabilité du procès liée a l'ensemble des problèmes au cours de processus qui se focalise autour de trois axes, qui sont :

L'instabilité de la couleur, due à la variation de la couleur du sucre roux l'élévation de la couleur du sucre A, avec comme conséquence la diminution de la qualité de sucre en terme de qualité et de quantité.

L'instabilité du pH est due à l'injection du CO₂ au niveau de la carbonatation provoque la variation du pH selon la quantité injectée et la quantité qui réagit. La régénération des colonnes décolorantes (utilisation de la saumure basique pour la régénération). Et la quantité des pigments colorés.

L'instabilité de la pureté au cours de la cristallisation qui est due à l'accumulation des non saccharose dans les liqueurs et leurs quantités et la stabilité des étapes précédentes.

Enfin, il ressort de cette étude que les différentes sections étudiées ne sont en effet que des processus de purification, et nous éclaire à quel point les problèmes liés à séparer les matières colorantes du saccharose sont complexes, et d'autre part il ne faut pas oublier, qu'une maîtrise des paramètres physicochimiques contribue à l'élaboration d'un sucre de bonne qualité qui répond aux attentes du consommateur.

Suggestions, Perspectives

- Centrifugation du magma lorsque la couleur du sucre roux et du sucre A est élevée.
- Eviter les températures extrêmes.
- Automatisation du suivi du pH,
- Le suivi rigoureux de la pureté des liqueurs et l'anticipation des analyses au laboratoire.
- Optimisation des paramètres de raffinage au niveau de chaque section.

REFERENCES

BIBLIOGRAPHIQUES

A

AFISUC. (2002_a). Association pour la formation et le perfectionnement dans les industries sucrières. Cristal, pp 9-11.

Ait Amar A. (1981). Cours de technologie du sucre. Institut national des industries légères Boumerdes - Alger, 182p.

Amrani M. (2006). Détermination de la qualité du pain de sucre a partir des concentrations des sucres réducteurs. Département de génie chimique, faculté des sciences et technique, BP 416, Tanger, Maroc, p3.

Applexion. (2006). Management de la qualité. Extension de l'unité de décoloration existante. Manuel opératoire CEVITAL-ALGERIE. FORM 002A.

Arzate A. (2005). Extraction et raffinage du sucre de canne, revue de l'ACER (Centre de recherche, de développement et de transfert technologique en acériculture), Saint-Norbert-d'arthabaska, 12p.

Asadi M. (2007). Beet-Sugar Handbook. Ed : John Wiley et Sons, Inc. Hoboken. New Jersey USA, 884p.

B

Beck C. (1999). La filière confiserie Master Pro Qualimapa (USTL-Lille) <http://qualimapa.univ-lille1.fr/rapp1.htm>, pp25-29.

Belhamri R. (2005). Extratraction des macromolécules pariétales des eaux de presse de betteraves sucrières, Etude de leur composition, de leurs propriétés physico-chimiques et de leur effet sur le process sucrier. Docteur de l'université de Reims Champagne –Ardenne, Spécialité : Chimie Physique Industrielle, p 13-21.

Bounie D. (2004). La Vergeoise, Cours de Technologies Industrielles : l'Usine Agro-alimentaire, Ecole Polytechnique Universitaire de Lille Département Industries AgroAlimentaires, p7.

Bourré M. (1997). Thèse de Doctorat: cristallisation du saccharose dans la production de sucre dur d'érable. Université de Laval, p 4-66.

Burzawa E. (1999). Rappel des bases de l'épuration calco-carbonique. Association AVH-6^{ème} symposium – Reims, p 7-8.

C

CODEX STAN 212. (1999). Norme CODEX pour les sucres, p1.

Corcodel L .et Hoareau W. (2006). Cerf, services sucrier, 40 route Gabriel Maçé, BP315 la Bretagne, 97490 Ste Clotilde, la réunion, p 4.

Courtois J. (2002). Caractérisation des macromolécules dans les produits sucriers issus de la betterave. Université de Picardie Jules Verne. Laboratoire des Polysaccharides Microbiens et Végétaux (Équipe des Glucides), IUT/GB, Amiens. Guy SASIA, Direction Recherche et Développement / Direction Technique Saint Louis Sucre, Eppeville, P51.

Courteau A. (2005). La canne a sucre et l'environnement a la réunion : revue bibliographique. Institut Universitaire Professionnalisé Génie des Territoires et de l'Environnement Filière Diagnostic et Gestion des Systèmes Ecologiques, Université de Franche-Comté, P31.

D

David D. (2010). Le saccharose : du champ a la table, département des sciences des aliments, université de Colombie-Britannique, p2.

Decloux M. (2008). Procédés de transformation en sucrerie (partie1).Professeur en génie des procédés a l'école nationale supérieure des industries agricoles en alimentaires pp14-16.

Decloux M., Mersad A., Fargues C. et Lewandowski R. (2002). Les colorants en sucrerie : formation, masses molaires et rétention par filtration tangentielle. E.N.S.I.A, 1, avenue des olympiades 91744 Massy Cedex (France), P10.

Decloux M. (2003). Procédés de transformation en sucrerie (partie 2). Techniques de l'ingénieur. Filière de production : produits d'origine végétale dans le thème agroalimentaire

et dans l'univers procédés chimie-bio-agro. Professeur en Génie des procédés à l'École nationale supérieure des industries agricoles et alimentaires (ENSIJA), p6-16.

Decloux M. (2001). Procédés de transformation en sucrerie (partie1). In techniques de l'ingénieur, Ed. Paris, p2-17.

Decloux M., Tatoud L. et Mersad A. (1999). Rétention des impuretés de refonte de sucre roux de canne par filtration tangentielle. Département GIA.1, avenue des olympiades, 91744 Massy Cedex , France, P59

Demoulin G, (2009). Le sucre dans tous ses états. Décryptage des informations nutritionnelles. Filière nutrition diététique. Haute école de santé Genève, p1.

DOUCET J. (1992). Le sucre (saccharose) est ses dérivés traditionnels et nouveaux. In Le sucre, les sucrés, les édulcorants et les glucides des charges dans les industries agroalimentaires. **Multon J.L.** Ed. TEC et DOC Lavoisier, pp 258 – 268

E

Echeverri L.F. (2007). Measurements and computation of the Flow in full-scale sugar evaporative crystallizers and in lab-scale models. The Department of Mechanical Engineering. B.S., Universidad del Valle, p3.

F

Favier J.C. et Levallois P. (2001). Silo DPGG pour le stockage du sucre blanc. Association AVH – 8e Symposium – Reims, p4.

H

Hugot E. (1987). La sucrerie de cannes. Ingénieur ECP. Ancien Président-Directeur général des sucreries de Bourbon. Troisième édition. Technique et Documentation –Lavoisier, P721.

I

ICUMSA Methods GS 2/3-18 (2007). International Commission for Uniform Method of Sugar Analyse.

ICUMSA Method GS 2/3-17 (2002). Determination of the Solution Colour of Raw Sugars, Brown Sugars and Coloured Syrups at pH 7.0 – Official.

ICUMSA. (2002). ICUMSA Methode Book. Bartens, Berlin.

ICUMSA . (1994). Icumsa Methode Book. Barents, Berlin.

J

J.O.R.A. (1997). Arrête interministériel du 27 avril 1997 fixant les spécifications techniques du sucre blanc, 2p.

K

Kingsman J. (2004). Sugar Trading Manual. Chapter 4, LMC International 2004; © Chapter 19, Joan Noble Associates, P2.

L

Lameloise M. (2007). Sucrierie/Raffinerie de canne. Elément de technologie sucrière : préparation, extraction, épuration. Application actuelles et potentielles des techniques séparatives en sucrierie/Raffinerie, pp6-23.

LESCURE J.P. (1995). L'analyse des solutions de sucre. In le saccharose : propriétés et application (**MATHLOUTHI M. ET REISER P.**). Ed. Polytechnica, pp164-196.

Libelle T.J. (2007). Modèles de connaissance de la cristallisation de troisième jet en sucrierie de canne. Thèse de doctorat à l'université de la réunion U.F.R des sciences et technologies.
P14

M

Mathlouthi M. et MC Barbara R. (2004). La sucrerie de canne. Dossier CEDUS avec la collaboration de l'université de Reims, pp1-7.

Mathlouthi M. Et MC Barbara R. (2001). - L'extraction du sucre. CEDUS : Centre d'étude et de documentation du sucre, p10-24.

Mathlouthi M. (2004). Propriétés physiques et chimiques du saccharose. pp1-34.

Mathlouthi M. et Reiser P. (1995). Le saccharose propriétés et application. Edition française polytechnique, p200.

M C G. (2009). (**Manuel de Connaissances Générales**). Cevital spa.

Morrison S. (2008). Du sucre dans la betterave. Un coup d'œil sur l'agriculture canadienne au catalogue de Statistique Canada, p5.

Multon J.L. (1992). Les fonctions des sucres et leurs produits de substitution dans les aliments. In Le sucre, les sucrés, les édulcorants et les glucides des charges dans les industries agroalimentaires. Ed. TEC et DOC Lavoisier, pp2-6.

Munchener R. (2004). La fabrication du sucre. Guide technique pour les souscripteurs

P

Poser C. (2005). La canne a sucre et l'environnement a la réunion : revue bibliographique, p9.

Pron F. (2004). Descriptif et analyse du différent sécheur et refroidisseurs de sucre. Association AVH-11^e symposium-Reims. Comessa, Strasbourg, France, p70.

R

Rachedi N. (2002). précèdes de transformation dans la raffinerie de CEVITAL spa rapport de formation, Reims, p1-30.

Rousseau G. (2002). La sucrerie, une affaire de macromolécules. 12 rue Emmeré, 02100 Saint Quentin. AVH Association – 9th Symposium – Reims, p48.

S

Savitri J. (2000). Neutralization of sugar cane juice using electrolydialysis. The university of Queensland, p3.

Siret C. (2008). Structure des aliments. Professeur agrégé de biochimie – génie biologique au Lycée polyvalent R.J. Valin et à l’I.U.F.M. de La Rochelle, p14.

T

Theoleyre M. A. et Cartier S. Applexion (1999). Couplage de la décoloration et de la nanofiltration des éluats de régénération en raffinerie de canne. 264 avenue de la Mauldre, 78681 Epône cedex M Decloux. E.N.S.I.A, 1 avenue des Olympiades, 91305 Massy Cedex, p2.

V

Vercambre B. et Langellier P. (2008). la culture de La canne a sucre. Institut des Régions Chaudes – Montpellier Sup Agro. Module de Formation Ingénieurs IAARC, Masters et Formation Continue, pp4-41.

ANNEXES

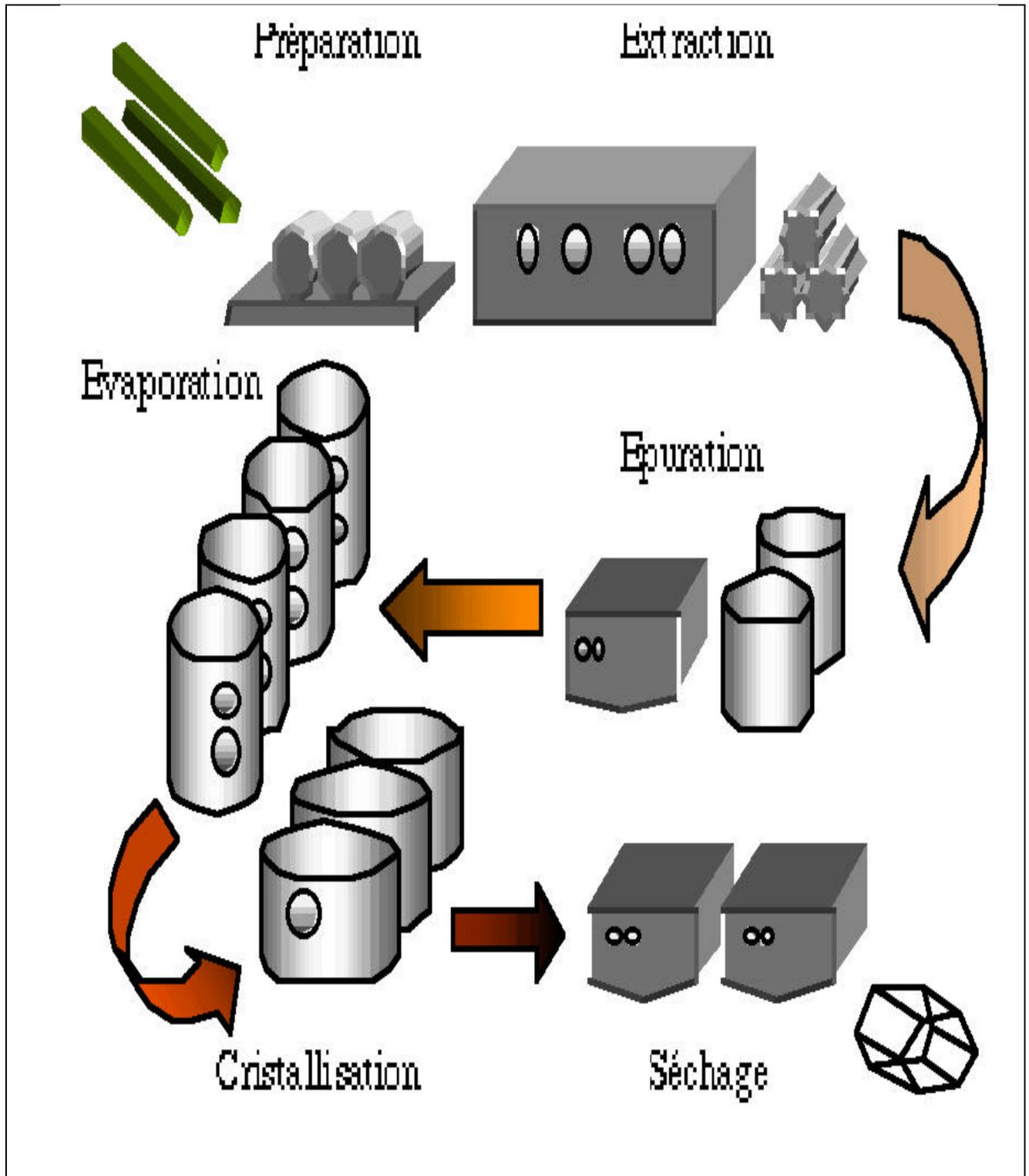


Figure 1 : Schéma récapitulatif des étapes de l'extraction du sucre de canne (Benne, 1999).

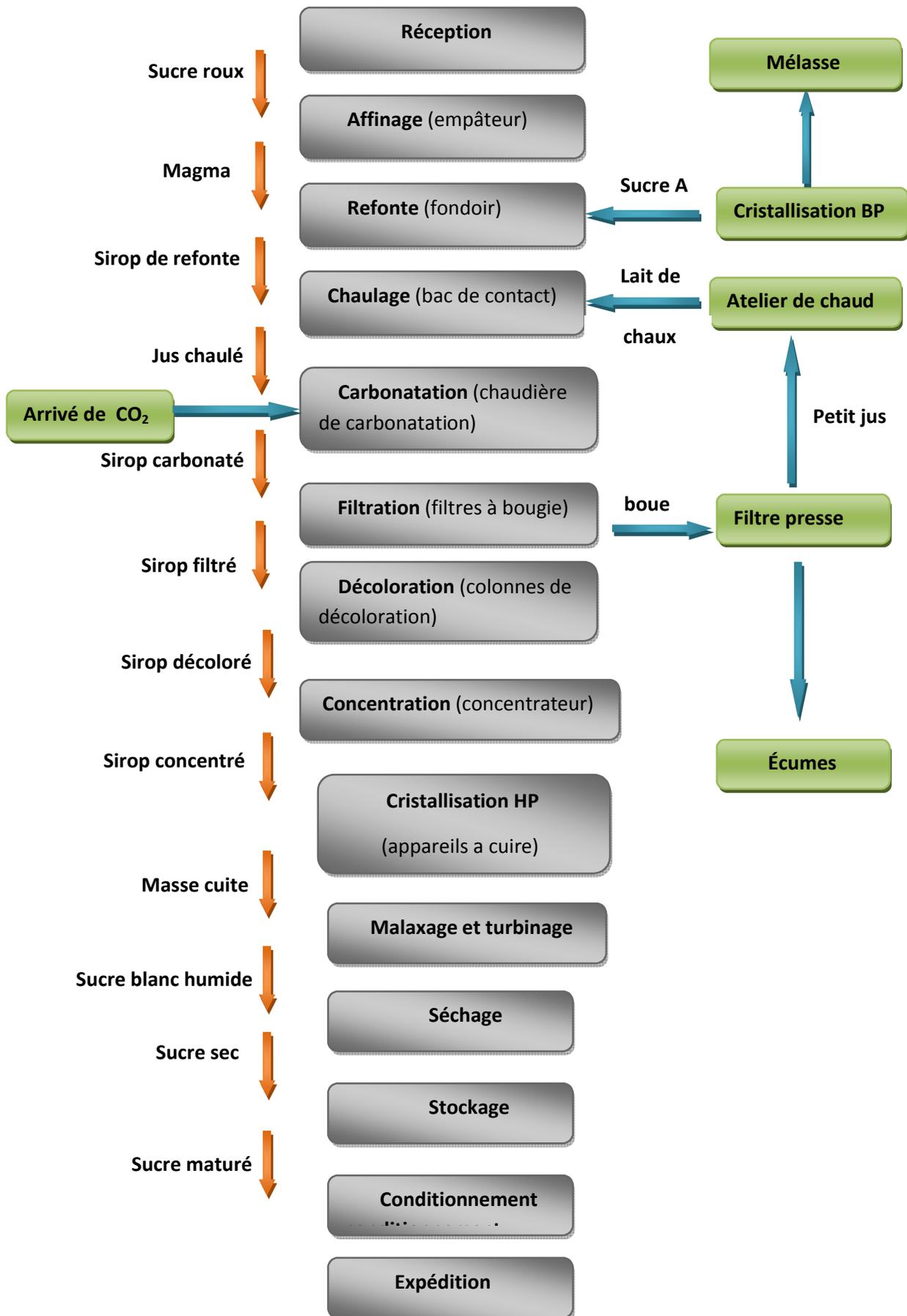


Figure 2 : Schéma général de différentes sections du procès du raffinage du sucre roux

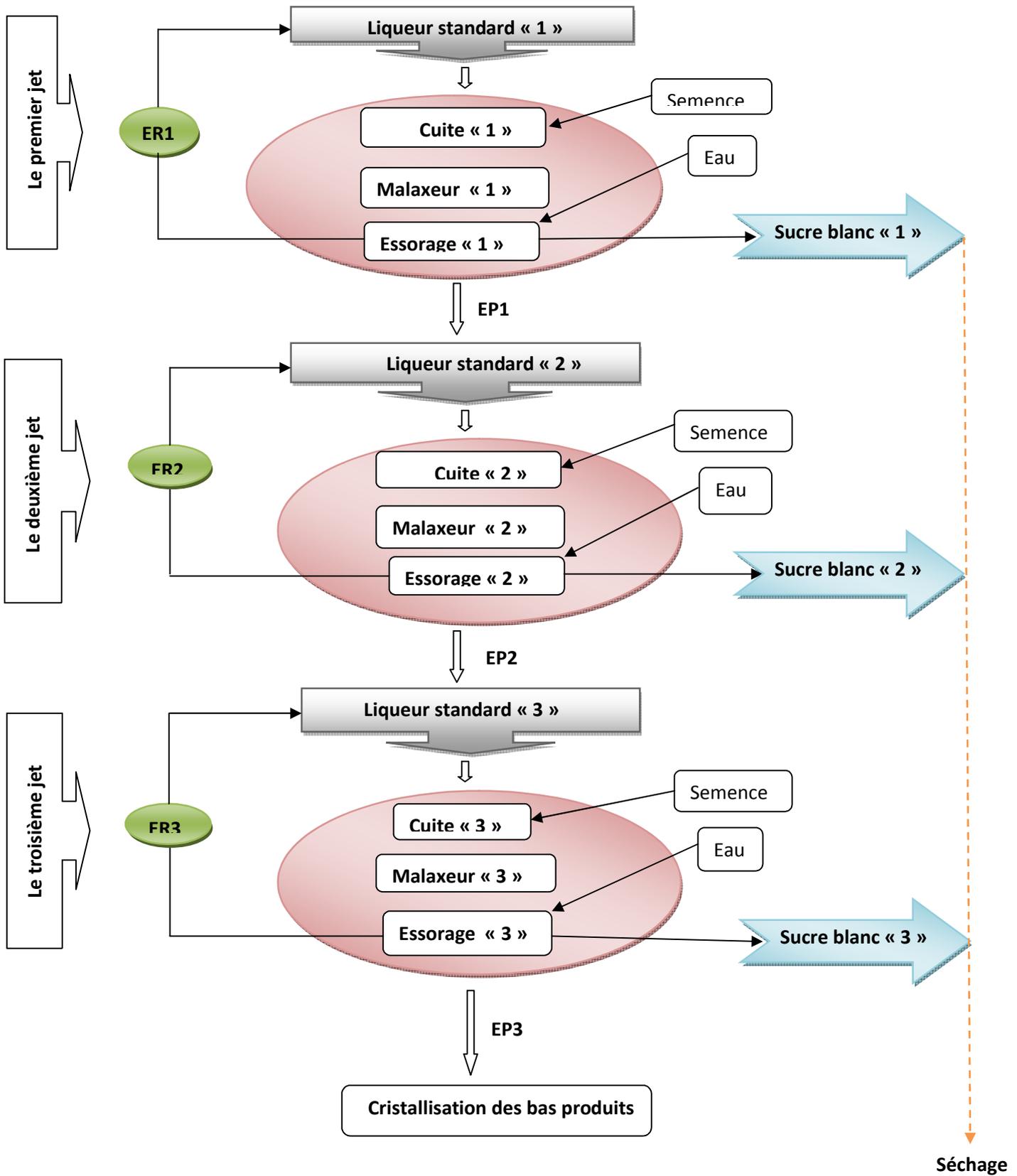


Figure 3 : schéma synoptique de la cristallisation en 3 jets des hauts produits

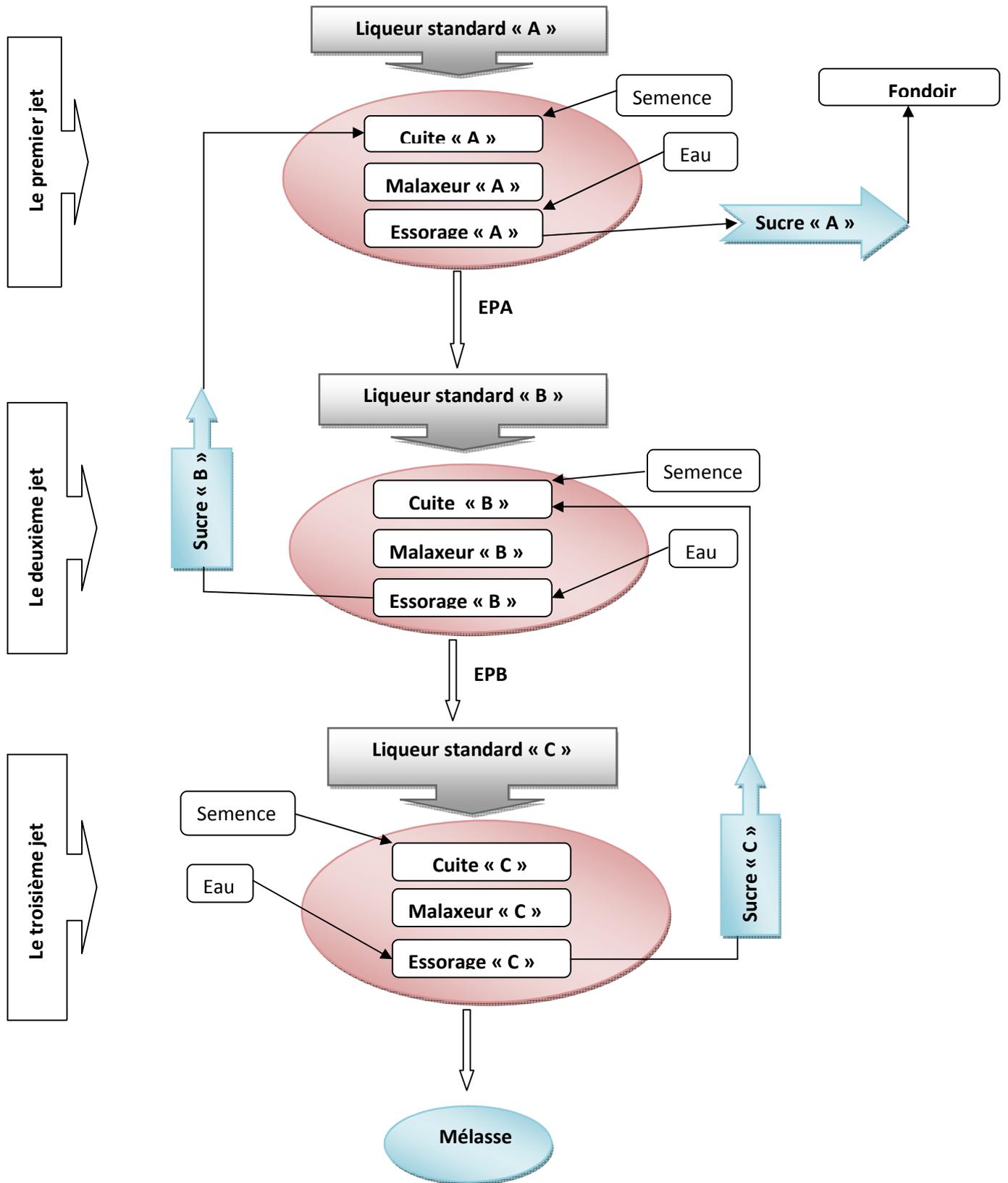


Figure 4 : schéma synoptique de la cristallisation en 3 jets des bas produits



Figure 5 : Atelier du séchage au niveau de l'unité « Cevital »

Figure 6 : L'organigramme du complexe Cevital.

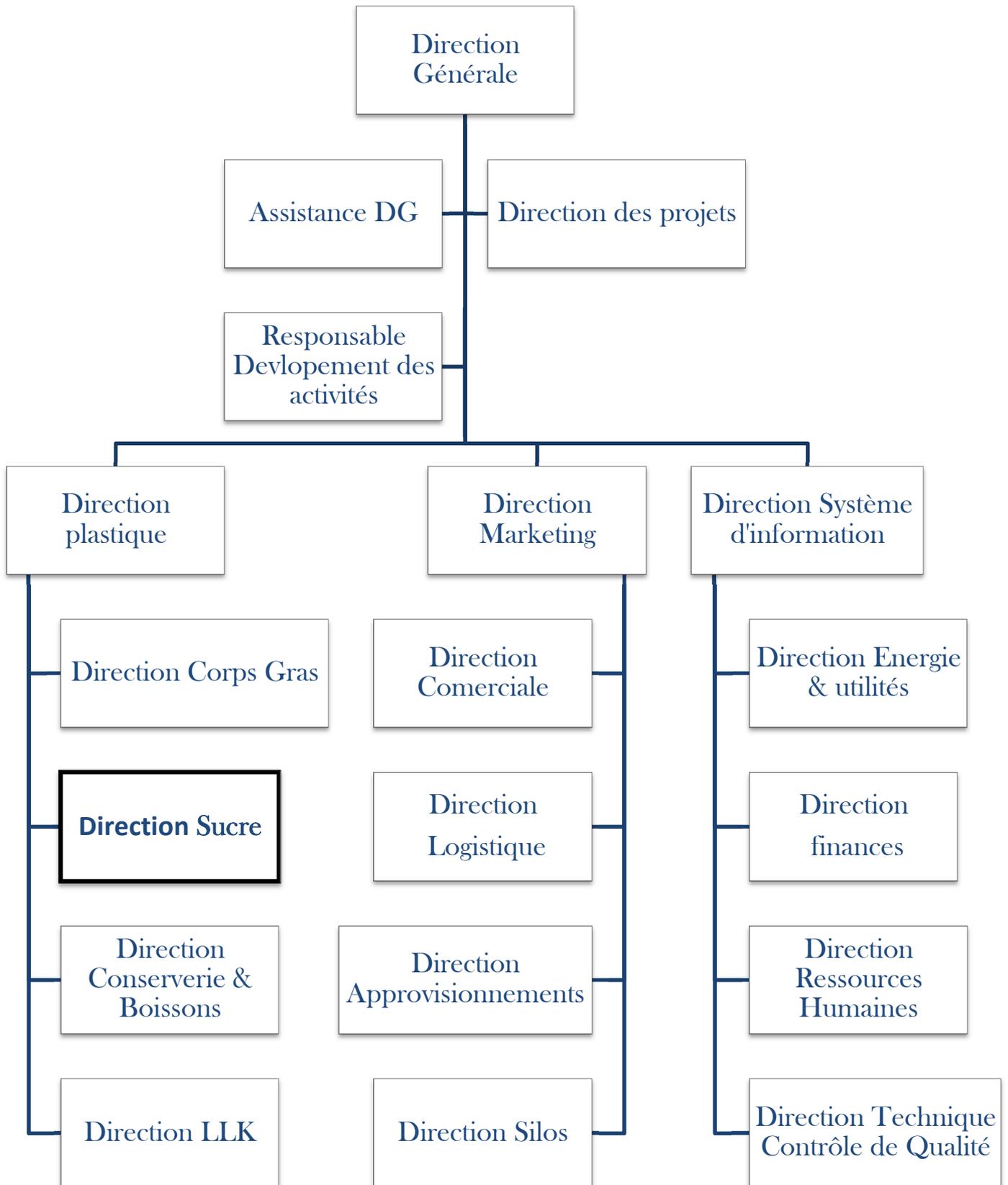


Tableau I : Caractéristiques du sucre blanc selon la réglementation algérienne**(J.O.R.A, 1997).**

Critères	Spécification A	Spécification B
Pouvoir rotatoire au minimum	99,7%	99,7%(polarisation)
Teneur maximale en sucres réducteurs (% matière sèche)	0,04 % (inverti)	0,1 % (inverti)
Teneur maximale en cendres (% matière sèche)	0,04 %	0,1
Perte à la dessiccation (3heures à 105°c)au maximum	0.1	0,1
Couleur au maximum	60	100
Teneur maximale en Arsenic (mg/Kg)	1mg/Kg	1mg/Kg
Teneur maximale en Cuivre (mg/Kg)	2 mg/Kg	2 mg/Kg
Teneur maximale en plomb (mg/Kg)	0.5 mg/Kg	0.5 mg/Kg

Tableau II : Caractéristiques du sucre blanc selon les critères de la CEE

(DOUCET, 1992).

Critères	Qualité type sucre blanc ou N°2	Qualité type sucre blanc raffiné ou N°1	Méthodes d'évaluation
Aspect	Cristaux homogènes, secs, s'écoulant librement	Cristaux homogènes, sec, s'écoulant librement	La vue
Polarisation minimale	99,7°	99,7°	Polarimétrie
Taux d'humidité maximale	0,06%	0,06%	Rapport de poids entre avant et après déshydratation
Teneur maximale en sucre inverti	0,04%	0,04%	Titrage avec une solution d'iode
Somme maximale des points	≤ 22	≤ 8	
Pour la teneur en cendres	Max = 15 (teneur en cendres max = 0,27%)	Max = 4 (teneur en cendres max = 0,072%)	Mesure conductimétrique pour un Brix de 28° (0,018% de cendres = 1 point)
Pour la couleur	Max = 9 (couleur = 4,5 sur l'échelle de Brunswick)	Max = 6 (ou couleur = 3 sur l'échelle de Brunswick)	Comparaison avec des étalons (1 point=0,5 type de couleur)
Pour la coloration en solution	Max = 6 (ou 45 ICUMSA)	Max = 3 (ou 22.5 ICUMSA)	Méthode ICUMSA 4 - Mesures par spectrophotométrie en unités ICUMSA sur une solution d'un Brix de 50° (plus la solution est foncée, plus la valeur ICUMSA est élevée) 1 point =7,5 unités ICUMSA

Tableau III : Normes Codex Alimentarius pour le sucre blanc (FAO/OMS)
(MULTON, 1992).

Critères	Sucre blanc
Pureté minimale	99,7%(polarisation)
Teneur maximale en sucres réducteurs (% matière sèche)	0,04 (inverti)
Humidité (maximale)	0,1%
Teneur maximale en cendres (% matière sèche)	0,04
Coloration (ICUMSA, maximale)	60
Teneur maximale en SO ₂ (mg/Kg)	20
Teneur maximale en Arsenic (mg/Kg)	1
Teneur maximale en Cuivre (mg/Kg)	2
Teneur maximale en plomb (mg/Kg)	1

Tableau IV : Mécanisme d'épuration calco-carbonique (Burzawa, 1999).

Précipitation	Coagulation	Dégradation	Adsorption
<p>Cette réaction est essentiellement due à l'ion Ca^{2+} qui précipite sous forme de sels insolubles, certains acides tels que les oxalates.</p>	<p>Les réactions mises en jeux ici sont très complexes et encore mal définies. Elles font appel à la fois à l'alcalinité (ions OH^-) et à la présence des ions actifs Ca^{2+}.</p>	<p>Ici les réactions sont principalement dues à l'ion OH^- et concernent les sels d'ammonium, les amides (asparagine, glutamine, etc), les matières pectiques et les sucres réducteurs.</p>	<p>Cette réaction a lieu au moment de la formation des cristaux de carbonate. Le carbonate naissant (CaCO_3) comporte des charges positives permettant la fixation (adsorption) de particules portant des charges négatives, ce qui est le cas des particules à haut poids moléculaire comme les colorants tels les PDAH.</p>

Tableau V : Mode de l'épuration calco-carbonique (Burzawa, 1999).**Précipitation**

- ❖ Acides (carbonique, lactique, oxalique, tartrique).
- ❖ Cations 2^+ 3^+ et les anions (sulfates, phosphates).

Exemple : composés minéraux.**Coagulation-floculation**

- ❖ Protéines
- ❖ Saponines
- ❖ Colorants polyphénoliques

Schéma de la réaction**Dégradation**

- ❖ Amides
- ❖ Amines
- ❖ Sucres réducteurs

Exemple : sels d'ammonium**Amides****Adsorption**

- ❖ Colorants
- ❖ Acides organiques
- ❖ Produits de condensation

Exemple :

- ❖ PDAH
- ❖ Les sels de calcium

Tableau VI : Principaux colorants présents en raffinerie de canne (Decloux *et al.*, 1999).

Origine		formation	caractéristiques
Pigments et précurseurs de colorants de la canne	Flavones	-	Composés polyphénoliques Pâles en milieu acide Jaunes-verts en milieu basique
	Mélanines	Brunissement enzymatique des composés polyphénoliques présents dans la canne	Polymères colorés bruns ou noirs
Colorants de fabrication	Caramels	Dégradation thermique du saccharose	
	Mélanoïdines	Réaction de Maillard: Réaction entre un sucre réducteur et un acide aminé	Composés azotés Couleur très foncée
	Produits de Dégradation Alcaline Hexoses (PDAH)	1. Inversion du saccharose en milieu acide 2. Dégradation des hexoses en milieu acides et produits colorés en milieu basique	Molécules que l'on distingue difficilement des précédentes Acides - Couleur brune

Tableau VII : Caractéristiques de la résine de décoloration utilisée au sein du complexe CEVITAL (Applexion, 2006).

Caractéristiques	Composition
<ul style="list-style-type: none"> • Squelette • Groupement fonctionnel • Forme ionique livrée • Rétention d'humidité • Densité • Régénérant 	<ul style="list-style-type: none"> • Copolymère styrène divinylbenzène, • $\text{CH}_2 \text{N}^+(\text{CH}_3)_3 \text{Cl}^-$, • Chlorure, • 58 à 64%, • 0,5 à 1,08, • NaCl.

Tableau VIII : Résultats de l'évolution de la moyenne du °Brix au cours de raffinage du sucre

Sections	°Brix%	Normes
MAG	75,51	86,5
SR	60,9371429	63,5
SF	56,3835714	61,5
SD1	56,33	61,5
SD2	56,4214286	61,5
SC	60,2057143	65
LSI	62,6271429	65
LS2	70,6864286	72,5
LS3	74,33	72,5
LSA	77,2228571	79
LSB	78,9857143	82,5
LSC	81,9457143	86

Tableau IX : Résultats de l'évolution de la moyenne de la pureté au cours de raffinage du sucre

Sections	Pureté%	Normes
MAG	98,8514286	99,1
SR	98,9802143	99,1
SF	99,0857143	99,1
SD1	99,1914286	99,35
SD2	99,1714286	99,35
SC	99,1864286	99,35
LSI	99,1778571	99,35
LS2	98,5214286	98,4
LS3	97	96,25
LSA	94,8714286	90,75
LSB	90,3185714	84,5
LSC	80,9392857	72,5

Tableau X : Résultats de l'évolution des moyennes de la couleur au cours de raffinage du sucre

Sections	Couleur UI	Normes
MAG	1267,09143	1050
SR	1264,20929	1050
SF	856,592143	550
SD1	340,497143	160
SD2	327,83	160
SC	412,282857	200
LS1	423,855714	200
LS2	1253,54429	650
LS3	3290,30786	1200
LSA	5624,425	3300

Tableau XI : Résultats de l'évolution des moyennes du pH au cours de raffinage du sucre

Sections	pH	Normes
SR	5,78642857	6
JC	10,9385714	11
SC1	9,16642857	9,25
SC2	8,21142857	8,25
SF	8,03428571	8,25
SD1	8,22928571	7,75
SD2	8,00214286	7,75
LS1	8,01857143	7,75
LS2	7,46	7,15
LS3	6,85714286	6,5
LSA	6,24428571	6
LSB	5,95071429	5,5
LSC	5,45642857	4,75

Tableau XII : Résultats de l'évolution des écart-types du °Brix au cours de raffinage du sucre

Sections	°Brix	Normes
MAG	0,20142857	0,84
SR	0,18785714	0,84
SF	0,22214286	0,84
SD1	0,16	0,77
SD2	0,19	0,77
SC	0,16071429	0,77
LS1	0,14428571	0,77
LS2	0,285	0,56
LS3	0,40714286	1,41
LSA	1,18	1,41
LSB	1,68071429	2,12
LSC	1,98214286	3,53

Tableau XIII : Résultats de l'évolution des écart-types de la pureté au cours de raffinage du sucre

Sections	Pureté	Normes
MAG	2,64214286	9,19
SR	0,83785714	4,94
SF	0,67928571	2,12
SD1	0,485	2,12
SD2	0,67	2,12
SC	1,54142857	2,82
LS1	1,23928571	2,82
LS2	1,07071429	3,53
LS3	1,935	3,53
LSA	1,68928571	2,12
LSB	1,25857143	3,53
LSC	1,47071429	1,41

Tableau XIV : Résultats de l'évolution des écart-types de la couleur au cours de raffinage du sucre

Sections	Couleur	Normes
MAG	92,0992857	212,31
SR	81,715	212,31
SF	51,5557143	70,71
SD1	48,6214286	127,27
SD2	42,6985714	127,27
SC	36,9407143	141,42
LS1	40,1085714	141,42
LS2	85,9128571	212,13
LS3	176,765714	565,68
LSA	470,510714	2404,16

Tableau XV : Résultats de l'évolution des écart-types du pH au cours de raffinage du sucre

Sections	pH	Normes
SR	0,07714286	0,7
JC	0,10142857	0,7
SC1	0,17357143	0,35
SC2	0,14928571	0,35
SF	0,14214286	0,35
SD1	0,31642857	1,06
SD2	0,37428571	1,06
LS1	0,20642857	1,06
LS2	0,19785714	0,49
LS3	0,23	0,63
LSA	0,18785714	0,7
LSB	0,20571429	0,63
LSC	0,25	1,06

Tableau XVI : Résultats de l'évolution des erreurs standards du °Brix

Sections	Moyennes du °Brix	Moyennes de la norme	Erreurs standards
MAG	75,51	86,5	-0,14554364
SR	60,93	63,5	-0,04217955
SF	56,38	61,5	-0,09081234
SD1	56,33	61,5	-0,09178058
SD2	56,42	61,5	-0,09003899
SC	60,2	65	-0,07973422
LSI	62,62	65	-0,03800703
LS2	70,68	72,5	-0,02574986
LS3	74,33	72,5	0,02461994
LSA	77,22	79	-0,02305102
LSB	78,98	82,5	-0,04456825
LSC	81,94	86	-0,04954845

Tableau XVII : Résultats de l'évolution des erreurs standards de la pureté

Sections	Moyennes de la pureté	Moyennes de la norme	Erreurs standards
MAG	98,85	99,1	-0,00252908
SR	98,98	99,1	-0,00121237
SF	99,08	99,1	-0,00020186
SD1	99,19	99,35	-0,00161307
SD2	99,17	99,35	-0,00181507
SC	99,18	99,35	-0,00171406
LSI	99,17	99,35	-0,00181507
LS2	98,52	98,4	0,00121803
LS3	97	96,25	0,00773196
LSA	94,87	90,75	0,04342785
LSB	90,31	84,5	0,06433396
LSC	80,93	72,5	0,10416409

Tableau XVIII : Résultats de l'évolution des erreurs standards du la couleur

Sections	Moyennes de la couleur	Moyennes de la norme	Erreurs standards
MAG	1267,09	1050	0,17132958
SR	1264,2	1050	0,16943522
SF	856,55	550	0,35788921
SD1	340,49	160	0,53008899
SD2	327,83	160	0,51194217
SC	412,28	200	0,51489279
LS1	423,85	200	0,52813495
LS2	1253,54	650	0,48146848
LS3	3290,3	1200	0,63529161
LSA	5624,42	3300	0,41327284

Tableau XIX : Résultats de l'évolution des erreurs standards du pH

Sections	Moyennes du pH	Moyennes de la norme	Erreurs standards
SR	5,87	6	-0,02214651
JC	10,93	11	-0,00640439
SC1	9,16	9,25	-0,00982533
SC2	8,21	8,25	-0,00487211
SF	8,03	8,25	-0,02739726
SD1	8,22	7,75	0,05717762
SD2	8	7,75	0,03125
LS1	8,01	7,75	0,03245943
LS2	7,46	7,15	0,04155496
LS3	6,85	6,5	0,05109489
LSA	6,24	6	0,03846154
LSB	5,95	5,5	0,07563025
LSC	5,45	4,75	0,12844037

Tableau XX : Résultats de l'analyse de corrélation de SD1

	°Brix	Pureté	Couleur	pH
°Brix	1			
Pureté	-0,16374589	1		
Couleur	0,39244536	-0,48577096	1	
pH	-0,08619712	0,41237655	-0,68384807	1

Tableau XXI : Résultats de l'analyse de corrélation de SD2

	°Brix	Pureté	Couleur	pH
°Brix	1			
Pureté	-0,14886235	1		
Couleur	0,23431312	0,10994513	1	
pH	-0,37549726	0,17936807	-0,05154341	1

Résumé

Le présent travail a porté sur le suivi de la stabilité de certains paramètres physicochimiques, à savoir le Brix, la couleur, la pureté et le pH et de mettre au claire l'importance majeure et l'influence directe de chaque section sur le rendement de l'opération de raffinage.

Les résultats des analyses physico-chimiques ont permis de détecter les incidents qui surviennent lors de l'exploitation de la raffinerie de sucre qui peuvent nuire a la qualité final du sucre blanc d'une part, et les solutions adéquates utilisées afin de garantir une qualité constante du sucre blanc d'autre part.

D'autres analyses complémentaires sont pratiquées pour pouvoir affiner la perception de la qualité du sucre blanc. Selon le type d'utilisation auquel les sucres sont destinés et les conditions imposées par l'acheteur. En fin les résultats industriels obtenus ont permet de bien répondre a cette approche.

Mots clés : Sucre roux, Raffinage, Sucre, Résine, Canne a sucre.

Summary

This work has focused on monitoring the stability of some physicochemicals parameters, namely Brix, color, purity and pH and to the clear the major and direct influence of each section on the performance of the refining operation.

The results of physicochemical analyzes have detected incidents that occur during the operation of the sugar refinery that can affect to the final quality of white sugar on the one hand, and used appropriate solutions to ensure quality constant of white sugar on the other.

No further analyzes are performed in order to refine the perception of the quality of white sugar. Depending on the type of sugars which are intended and the conditions imposed by the buyer use. End industrial results obtained can respond well to this approach.

Key words: Brown sugar, Refining, Sugar, Resin, Sugarcane.