



Centre de recherche de développement et de transfert technologique en acériculture

Siège Social

3600, boul Casavant Ouest
Sain-Hyacinthe, Québec
J2S 8E3
Téléphone : 450.773.1105
Télécopieur : 450.773.8461

Station Expérimentale

142, Rang Lainesse
Saint-Norbert, Québec
G0P 1B0
Téléphone : 819.369 4002
Télécopieur : 819.369.9589

**EXTRACTION ET RAFFINAGE DU
SUCRE DE CANNE**

Par:

Alfa ARZATE

Saint-Norbert d'Arthabaska, 25 Novembre 2005



Table des matières.....	i
Liste des tableaux.....	ii
Liste des figures.....	iii
INTRODUCTION.....	1
L'HISTORIQUE DU SUCRE DE CANNE.....	3
LA CANNE À SUCRE.....	6
LA CAMPAGNE SUCRIÈRE.....	9
L'EXTRACTION ET LE RAFFINAGE DU SUCRE.....	11
LES SUCRES ET LES SOUS-PRODUITS DE LA CANNE.....	18
LES PROPRIÉTÉS DU SUCRE.....	24
SURVOL DE LA RECHERCHE DANS LE DOMAINE.....	32
GLOSSAIRE.....	34
BIBLIOGRAPHIE.....	35
RÉFÉRENCES ÉLECTRONIQUES.....	40



Tableau 1 :	Composition moyenne de la canne à sucre [7].....	7
Tableau 2 :	Composition du vesou [7].....	13
Tableau 3 :	Composants non-sucrés présents dans le jus de canne [Honig, 1953].....	14
Tableau 4 :	Composition des sucres blanc et brun par 100 g de sucre [14].....	18
Tableau 5 :	Caractéristiques du sucre blanc de qualité «type» dans l'Union Européenne [4].....	20
Tableau 6 :	Composition moyenne de la mélasse par 100 g de mélasse [14].....	22
Tableau 7 :	Effet de la concentration et de la température sur la viscosité des solutions de saccharose (Pennington et Baker, 1990).....	27
Tableau 8 :	Effet de la concentration de saccharose sur l'abaissement du point de congélation et l'élévation du point d'ébullition de l'eau (Pennington et Baker, 1990).....	28
Tableau 9 :	Effet de la concentration de saccharose sur la tension de surface de l'eau (Pennington et Baker, 1990).....	29
Tableau 10 :	Effet de la concentration de saccharose sur la tension de vapeur de l'eau (Pennington et Baker, 1990).....	29
Tableau 11 :	Effet de la concentration et de la température sur la pression osmotique des solutions de saccharose (Pennington et Baker, 1990).....	30



Figure 1 :	Canne à sucre (« <i>Saccharum officinarum</i> ») [5,6].....	6
Figure 2 :	Tige de canne à sucre [6].....	6
Figure 3 :	Moissonneuses pour la canne à sucre [8].....	9
Figure 4 :	Morceaux de canne à sucre [9].....	9
Figure 5 :	Échantillonnage lors de la réception de la canne à sucre [10].....	10
Figure 6 :	Illustration montrant le procédé d'extraction du sucre de canne brut [11].....	11
Figure 7 :	Clarificateur [12].....	14
Figure 8 :	Illustration montrant les opérations du raffinage du sucre de canne brut [13]...	16



La canne à sucre (« *Saccharum officinarum* ») est une graminée principalement cultivée dans les régions tropicales et subtropicales. Depuis la préhistoire, la canne à sucre et le miel furent longtemps les seules sources de sucre de l'humanité. 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.

La canne à sucre est connue en Chine, en Inde et en Égypte depuis des millénaires. Les théories les plus récentes font remonter son origine à la Nouvelle-Guinée. De ce berceau, la culture de la canne à sucre aurait été exportée vers les Nouvelles Hébrides, la Nouvelle Calédonie, les Célèbes, Bornéo, Java, l'Indochine, l'Inde et la Chine. Les peuples d'Orient apprirent l'existence du roseau sucré lorsque les troupes d'Alexandre le Grand exploraient la vallée de l'Indus. À travers l'histoire de l'humanité, le brassage des populations dû aux guerres et aux échanges commerciaux, participa largement à l'expansion de la canne à sucre.

C'est avec les croisades que le sucre s'est répandu en Europe. L'industrie de la canne devient donc importante dans le sud de l'Espagne et le commerce du sucre de canne provenant du Moyen-Orient tombe sous le contrôle des commerçants Vénitiens. Par la suite, la culture de la canne à sucre fut introduite dans les colonies : Madère, Îles Canaries, Açores, République Dominicaine, Haïti, Porto Rico, Cuba, etc.

À la différence de la betterave, la canne à sucre est cultivée dans les pays tropicaux. De ce fait, elle est exportée sous forme de sucre brut provenant des usines appelées « moulins » qui sont opérées dans le voisinage des champs de culture. Le raffinage du sucre brut est donc effectué par la suite dans les « raffineries » situées dans les pays importateurs.

À la base, le procédé d'extraction du sucre de canne blanc est assez semblable à celui du sucre de betterave. Excepté pour l'étape d'extraction initiale, les opérations sont similaires. Lorsqu'on extrait du sucre brut dans les moulins, le procédé est légèrement différent puisque l'épuration calco-carbonique n'a pas lieu. La décoloration du sucre est donc fait plus tard lors du raffinage.

L'industrie du sucre de canne est considérée comme un secteur mûr reposant sur les principes de base développés au XIX^{ième} siècle. Cette industrie éprouve des changements, y compris des

développements technologiques. L'économie d'énergie a toujours été un point clé dans l'avancement de la technologie.

De plus, l'effet des opérations de la sucrerie sur l'environnement ont certainement influencé l'utilisation de nouvelles et diverses technologies. La conversion du procédé en temps différé vers un procédé en continu et l'accroissement de l'extraction de saccharose sont à la base de ces changements technologiques.

Dans cette revue de littérature, un bref historique du sucre de canne est présenté. Puis, la campagne sucrière est décrite, ainsi que chacune des opérations du procédé d'extraction et du raffinage. Les différentes variétés des sucres, les caractéristiques du saccharose et un survol de la recherche dans le domaine sont aussi abordés. Ce document a été rédigé dans le but de présenter le procédé de base de l'extraction et du raffinage du sucre à partir de la canne à sucre, ainsi que les axes de recherche dans le secteur.

L'information présentée dans ce document a été principalement tirée d'ouvrages de référence de Honig (1953), de Hugot (1972) et de Pennington et Baker (1990). De plus, plusieurs documents ont été repérés et cités seulement à titre d'exemple afin d'introduire les récents axes de recherche dans le domaine.



Connus depuis la préhistoire, la canne à sucre et le miel furent longtemps les seules sources de sucre de l'humanité. Le roseau sucré a d'abord été utilisé à l'état sauvage avant d'être cultivé. Des indices qui permettent de remonter sont origine botanique au « *Saccharum robustum* » de la Nouvelle Guinée datent de plus que 12,000 années. En effet, les peuples indigènes de cette région consommaient le jus sucré renfermé dans les tiges du roseau sucré.

De ce berceau, la culture de la canne à sucre aurait été exportée d'abord vers l'est, s'implantant dans les Nouvelles Hébrides et la Nouvelle Calédonie aux alentours de 8000 av. J.-C. La fabrication de sucre voit le jour à Célèbes, à Bornéo, à Java, en Indochine et en Inde en 6000 av. J.-C. environ. De l'Inde, la canne à sucre fut acheminée en Chine, où les caractéristiques du sol étaient idéales pour sa culture. La littérature chinoise mentionne que l'Empereur Tai-Sun envoya un émissaire en Inde pour apprendre la fabrication du sucre (200 av. J.-C.). En effet, en Inde, des méthodes primitives d'extraction et de raffinage du sucre de canne étaient utilisées par les peuples de la civilisation Harrapan. Ces peuples maîtrisaient déjà une méthode pour produire des sirops sucrés et concentrés à partir de la sève du dattier et d'autres espèces de palmiers. Le mot sucre provient du sanscrit, langue sacrée des brahmanes : « *sarkara* ».

Par Néarque, amiral d'Alexandre le Grand, les peuples d'Occident apprirent l'existence de la canne à sucre 325 ans av. J.-C. Néarque, qui par la vallée de l'Indus alla explorer la mer des Indes, parle dans son cahier de voyages d'une sorte de miel produit à partir de la canne à sucre, sans le concours des abeilles. C'est vers le troisième siècle av. J.-C. que des marchands indiens et perses commencent à importer du sucre sur les rivages de la Méditerranée orientale, en Arabie et en Égypte. Des textes montrent bien qu'au premier siècle après J.-C. le sucre était déjà produit sous forme solide ce qui facilitait son transport par caravane à travers l'Asie Mineure jusqu'aux ports de la Méditerranée d'où il gagne la Grèce puis l'Empire romain.

Le brassage des populations dû aux guerres et aux échanges commerciaux, participa largement à l'expansion de la canne à sucre. La canne à sucre ne poussant que dans les régions asiatiques à climat chaud ne fut importée que vers l'année 641 de notre ère dans la région du Delta du Nil. Entre le IV^{ième} et VIII^{ième} siècle, les haut lieux de culture furent le delta de l'Indus et le Golfe Persique. C'est ici qu'était produit le sucre pour tout le Moyen-Orient. Les Perses, qui avaient été longtemps maîtres en l'art du sucre, disposaient, au V^{ième} siècle de

procédés de fabrication déjà avancés. Ils savaient raffiner le sucre brut par refonte, clarifier les sirops et présenter le sucre solide en pains. Deux siècles plus tard, ils subirent l'invasion des Arabes qui propagèrent la culture de la canne dans leurs territoires conquis du bassin méditerranéen. Les Arabes apprirent des Perses l'art de fabriquer du sucre solide.

C'est durant les Croisades que le sucre s'est répandu en Europe. À partir du XI^{ème} siècle, les croisés rapportèrent la canne à sucre en Sicile, dans le Sud de l'Italie et même dans le midi de la France. L'industrie du sucre de canne devint donc importante dans le sud de l'Espagne où, vers 1150 de notre ère, près de 30 000 hectares étaient consacrés à la culture de la canne à sucre.

Au XIV^{ème} siècle, Venise devint la capitale sucrière de l'Europe. En effet, le commerce et la livraison de sucre entre le Moyen-Orient et l'Europe étaient presque exclusivement dans les mains des marchands Vénitiens. Il semblerait qu'en plus de faire le commerce du sucre brut, les Vénitiens inventèrent une façon primitive de raffinage du sucre, ce qui leur permit de commercialiser des pains de sucre. Les premières raffineries du continent européen virent leur jour à cette époque.

Jusqu'au XVI^{ème} siècle, le miel était la principale source de sucre en Europe. Le peu de sucre de canne qui était importé et commercialisé, vu son prix élevé, était réservé à la noblesse. Ce sucre était considéré comme une denrée de luxe ou un médicament. Toutefois, au XV^{ème} siècle, désireux de se libérer des producteurs méditerranéens, l'Espagne et le Portugal importèrent la canne à sucre dans leurs possessions d'Afrique. Ainsi, vers 1420, la canne est introduite dans l'île de Madère, et 40 ans plus tard aux îles Canaries et aux Açores. Lisbonne prit alors le pas sur Venise en matière de raffinage. En 1508, le port d'Anvers recevait la première cargaison de sucre en provenance des Canaries. Pour faire face à l'extension des plantations de canne à sucre, les colonies eurent besoin d'une main d'œuvre abondante et peu coûteuse. Le travail des esclaves dans les colonies permettait donc de produire du sucre à un coût plus faible que celui provenant des pays méditerranéens.

Ce n'est qu'après la découverte de l'Amérique, que la culture de la canne à sucre fut introduite dans de nouvelles régions possédant le climat favorable à sa production. Des plantes provenant de l'Espagne furent cultivées pour la première fois en République Dominicaine et à Haïti par Christophe Colomb en 1493, mais la plantation fut détruite. Une seconde tentative en 1509 permit une première récolte et une expansion de sa culture. Grâce aux navigateurs espagnols et portugais, la culture de la canne se répand dans les îles tropicales : Porto Rico, Cuba et la Jamaïque. Les conditions climatiques de cette région étaient favorables à la culture de la canne

à sucre. Celle-ci prit beaucoup d'envergure au cours des deux siècles suivants, justifiant ainsi la pratique de l'esclavage en Amérique.

En 1520, la canne se cultivait au Mexique, et le premier moulin de sucre en Amérique du Nord vit le jour en 1535. La culture de la canne à sucre s'est vite répandue au Pérou, au Brésil, en Colombie et au Venezuela. En 1548, Porto Rico eut son premier moulin. En 1590, plus de cent moulins à sucre s'érigèrent au Brésil.

En 1670, les Jésuites introduirent la culture de canne à sucre en Argentine et l'apportèrent en Louisiane, en Floride et au Texas. L'industrie sucrière actuelle du Texas date de 1970 quand un groupe de cent fermiers forma une coopérative sucrière.

De l'autre côté de la planète, la production de sucre commença en 1747 à l'île Maurice, dans l'Océan Indien, et en 1824, la culture de la canne à sucre fut introduite en Australie.

Au Canada, il n'existe que deux compagnies qui contrôlent l'ensemble de la production de sucre : la B.C. Sugar et la Redpath Sugar. Sucres Lantic de Montréal appartient à la B.C. Sugar, bien qu'elle soit gérée comme une entreprise indépendante. Quatre raffineries produisent du sucre de canne à Saint-Jean (Nouveau-Brunswick), à Montréal, à Toronto et à Vancouver. Plus de 90 % du sucre raffiné au Canada provient du sucre de canne brut importé de régions tropicales. Entre 70 % et 80 % de la production des raffineries de sucre est destiné aux fabricants et le reste est distribué au commerce de détail [1,2].

De nos jours, plus de cent pays cultivent la canne à sucre sur 130 000 km². Les vingt premiers ont récolté 1 199 millions de tonnes en 2004, soit 91 % de la production totale mondiale (1 317 millions de tonnes). Les plus gros producteurs sont le Brésil, l'Inde et la Chine, contribuant respectivement pour 31 %, 19 % et 7 % de la production totale mondiale [3]. À l'heure actuelle, la canne à sucre fournit environ 74 % de la production mondiale de sucre [4].



La canne à sucre (« *Saccharum officinarum* ») est une plante de la famille des Poacées (graminées). Toutes les espèces du genre « *Saccharum* » sont des graminées vivaces de grande longévité dont l'aspect rappelle celui du roseau ([Figure 1](#)). Il existe plusieurs variétés qui possèdent des caractéristiques diverses s'adaptant ainsi aux différentes régions de culture : robustesse, résistance aux maladies, teneur en sucre plus ou moins élevée, etc.

La plante possède des racines denses qui peuvent s'enfoncer profondément dans le sol, mais la plupart d'entre elles s'étalent à environ 50 cm de la surface dans un périmètre pouvant atteindre fréquemment 2 à 5 m autour de la souche. Elles sont pourvues de nombreux poils absorbants qui aspirent l'eau et les sels minéraux du sol. D'autres racines plus profondes assurent le maintien et la stabilité de la plante.

Les 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-nœuds), séparés par des nœuds où les feuilles prennent naissance ([Figure 2](#)). Les feuilles sont réparties en deux files opposées et ont un limbe de 1 m de longueur sur 2 à 10 cm de largeur. Elles sont au nombre de 10 sur les plantes en pleine croissance. En période de floraison, la tige se termine par une panicule, inflorescence argentée qui portera les graines. Cette panicule, fragile et soyeuse, mesure de 50 cm à 1 m de longueur.

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. Cependant, la floraison des plantes cultivées n'est pas désirable du fait qu'elle soutire une partie de l'énergie nécessaire à la croissance végétative de la plante et à la production du saccharose.

Pendant la période qui précède la récolte, la plante fabrique peu à peu son sucre (saccharose) dans les feuilles grâce à l'action conjuguée du soleil, de l'eau et de l'air (photosynthèse). Le saccharose s'accumule dans la tige comme réserve énergétique, mais sa répartition n'est pas égale et le sommet de la plante est d'une moindre teneur en sucre.

Les principaux constituants de la canne à sucre sont le sucre et les fibres. Au Tableau 1, la composition moyenne de la canne à sucre est présentée. Selon l'état de maturité de la plante, la teneur en fibre peut varier de 10 % à 18 %, la quantité d'eau de 72 % à 77 % et le saccharose de 12 % à 16 %.

Après extraction, une tonne de canne produit environ 250 à 300 kg de débris, soit entre 25 % et 30 % de la matière première.

Tableau 1 : Composition moyenne de la canne à sucre [7].

COMPOSANT	TENEUR (%)
Eau	70
Fibres ligneuses	14
Saccharose	14
Impuretés	2
Total	100

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). Ainsi, on la trouve en Floride, au Texas, en Louisiane, aux Antilles, à Hawaï, en Amérique Centrale et en Amérique du Sud jusqu'au Nord de l'Argentine, en Indonésie, en Thaïlande, aux Philippines, en Chine, en Inde, dans les îles de l'Océan Indien, au Sud de l'Espagne, en Australie et, plus récemment, en Afrique. 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 plante se reproduit par bouturage, à partir d'un morceau de tige comportant au moins un nœud (voir Figure 2). 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.

Depuis 1920, les croisements effectués lors de programmes d'amélioration génétique visent à augmenter le rendement en saccharose par unité de surface, et surtout, à produire des variétés résistantes aux nombreuses maladies fongiques, bactériennes et virales qui affectent la productivité des espèces de « *Saccharum* ». Au cours des dernières décennies, ces programmes se sont aussi orientés vers l'obtention de variétés commerciales qui synthétisent des taux plus bas d'invertases endogènes. Ces travaux visent à réduire les pertes en saccharose qui se produisent pendant la période d'exposition des cannes coupées qui précède le broyage dans les moulins.



La récolte de la canne à sucre intervient après onze à dix-huit mois de culture, avant la floraison. Elle débute avec le début de la saison sèche et se poursuit après les premières pluies. Afin de déterminer la période la plus favorable pour la coupe de la canne, la quantité de saccharose de la tige est mesurée à l'aide d'un réfractomètre. Les cannes sont coupées au ras du sol, soit manuellement à la machette, soit de façon mécanisée au moyen de moissonneuses spécialisées ([Figure 3](#)). Ces machines découpent, tronçonnent et chargent dans des véhicules les morceaux de canne ([Figure 4](#)). Dû au faible contenu en sucre la partie supérieure de la plante, ainsi que les feuilles, sont abandonnées dans les champs.

La méthode dite « australienne » consiste à mettre le feu aux plantations à couper et de procéder seulement à la coupe de la base des chaumes, les feuilles ayant été préalablement brûlées. Cette méthode aurait un effet d'appauvrissement des terres.

Les souches rejettent ensuite en nouvelles tiges pour une prochaine récolte. Ce processus peut se renouveler jusqu'à huit à dix années consécutives. Au-delà de ce temps, il faut renouveler les plantes pour s'assurer d'une bonne teneur en saccharose.

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. Si les cannes sont laissées trop longtemps dans les champs, la température élevée activera les invertases endogènes de la plante qui agiront sur le saccharose et transformeront une partie de celui-ci en sucres non-cristallisables. Cette transformation, qui est irréversible, peut présenter une perte importante de saccharose, car une période d'attente de 2 à 3 jours peut provoquer une perte de 50 % de saccharose sur à un potentiel de rendement qui n'atteint que 8 % à 14 % par rapport au poids total de la tige de la plante. La perte peut être plus élevée avec la méthode australienne, car la présence de cendres fait augmenter la température ambiante et, en conséquence, l'activité enzymatique des invertases.

Le ramassage de la récolte se fait dans les champs par camions, remorques et tracteurs. La réception des cannes par l'usine se fait directement à la balance de la sucrerie. Arrivés à la

balance, les camions sont pesés, puis on prélève un échantillon de cannes à l'aide d'une sonde mobile pour procéder à une analyse afin de vérifier la teneur en saccharose. Par la suite, les cannes peuvent être soit, entreposées pour la nuit, soit envoyées directement à la transformation.

Un échantillon, au cœur de la cargaison, est prélevé à l'aide d'un tuyau d'un diamètre de 200 à 250 mm tournant sur lui-même et de longueur ajustable ([Figure 5](#)). Le tube sectionne la canne et produit un échantillon de 10 à 20 kg représentatif de la livraison. Le cultivateur est rémunéré en fonction de la teneur en sucre de cet échantillon.

Une fois reçus à la sucrerie, les morceaux de canne sont séparés et lavés, s'il y a lieu. Ces morceaux passent dans trois coupes cannes appelés défibreurs où les fibres de canne sont séparées. À ce stade, les morceaux de canne ont une taille de l'ordre de 100 mm de longueur et 4 mm de diamètre. Cette étape de broyage est déterminante et facilite considérablement l'opération d'extraction.



Pour extraire, concentrer et raffiner le sucre contenu dans la canne, celle-ci doit être soumise à un traitement qui est devenu très complexe avec les années. Aujourd'hui, le processus s'est grandement mécanisé et permet d'obtenir un produit d'une grande pureté.

Le procédé standard d'extraction du sucre de canne blanc est assez semblable à celui du sucre de betterave. Excepté pour l'étape d'extraction initiale, les opérations sont similaires. Le jus de canne subit alors les mêmes opérations que le jus de betterave. Il est chauffé en présence d'agents, tels que le carbonate de calcium, l'hydroxyde de calcium, le dioxyde de carbone (clarification calco-carbonique) et le dioxyde de soufre, qui précipitent les protéines et autres substances secondaires. Par la suite, la solution sucrée est filtrée et soumise à une évaporation initiale, suivie d'une évaporation à vide jusqu'à la formation d'un sirop présentant des signes de cristallisation initiale. Ce sirop, qui reçoit le nom de masse-cuite, est soumis à une nouvelle évaporation jusqu'à ce que le processus de cristallisation soit avancé. Par la suite, les cristaux de sucre sont séparés du liquide par centrifugation. Le liquide, qui contient encore du saccharose et une petite quantité de sucres non-cristallisables, constitue la mélasse.

À la différence de la betterave, la canne à sucre est cultivée dans les pays tropicaux. De ce fait, il est exporté sous forme de sucre brut provenant des usines appelées « **moulins** » qui sont opérées dans le voisinage des champs de culture. Le raffinage du sucre brut est donc effectué par la suite dans les « **raffineries** » situées dans les pays importateurs.

1. LES MOULINS

À son arrivée au moulin, la canne suit les opérations de base du procédé d'extraction du sucre de canne brut. Ces opérations sont illustrées à la [Figure 6](#) et décrites plus loin dans le texte. On peut observer ici que les moulins ne réalisent pas d'épuration calco-carbonique à proprement parler, mais plutôt une alcalinisation progressive.

Les opérations de base du procédé d'extraction du sucre de canne brut sont énumérées ci-dessous :

- a) Extraction (*Milling train*)
- b) Épuration (*Heater and clarifier*)
- c) Évaporation (*Evaporator station*)
- d) Cristallisation (*Crystallization*)
- e) Malaxage, turbinage (*Centrifugals*)
- f) Séchage (*Sugar driers*)
- g) Emballage, entreposage (*Bulk sugar handling*)

1.1 Extraction

Lors de l'extraction, 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 ». Ce liquide est récupéré au-dessous du groupe de moulins et analysé en laboratoire afin de déterminer sa teneur en sucre. 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. Le vesou est de couleur brune assez trouble avec une composition et une qualité qui varient selon la variété et la qualité de la canne. L'intervalle pour la teneur de chaque composant du vesou est présenté au Tableau 2. Le saccharose représente entre 10 % et 18 % du vesou.

Tableau 2 : Composition du vesou.

COMPOSANT	TENEUR (%)
Eau	80 – 85
Saccharose	10 – 18
Sucres réducteurs	0,3 – 3
Composants organiques	0,7 – 3
Composants inorganiques	0,2 – 0,6
Total	100

Les composants non-sucrés retrouvés dans le vesou sont des hydrates de carbone, des composants azotés organiques, des acides organiques, des matières colorées, des cires, des graisses, des sels inorganiques et du silice. Au Tableau 3, on peut observer que l'asparagine, la glutamine, les matières colorées et la cire de canne représentent environ 50 % des composants non-sucrés.

Le vesou a une composition différente à celle du jus de la betterave. Il est notamment riche en sucres réducteurs et en composants phénoliques qui favorisent le développement des couleurs foncées.

Tableau 3 : Composants non-sucrés présents dans le jus de canne (Honig, 1953)

GROUPE	COMPOSANT	TENEUR (%)
Hydrates de carbone	Hémicellulose et xylane	8,5
	Pectines	1,5
Composants azotés organiques	Albumine	7,0
	Albuminoses et peptoses	2,0
	Glycine et acide aspartique	9,5
	Asparagine et glutamine	15,5
Acides organiques	Aconitique, oxalique, succinique, glycolique et malique	13,0
Matières colorées	Chlorophylle, anthocyane et tannins	17,0
Cires, graisse et savons	Cire de canne	17,0
Sel inorganique	Phosphates, chlorures, sulfates, silicates, nitrates de sodium, potassium, calcium, magnésium, aluminium, fer	7,0
Autres	Silice	2,0

1.2 Épuration

Le vesou qui contient un grand nombre d'impuretés est d'abord épuré par tamisage pour enlever surtout les particules ligneuses, et ensuite par chauffage et par ajout de chaux (chaulage). Une alcalinisation progressive du vesou jusqu'à un pH supérieur à 8 a donc lieu. Après le chaulage, le vesou est porté à ébullition (105 °C) dans des réchauffeurs afin de favoriser l'insolubilisation du floculat. Dans le clarificateur, le vesou décante et les impuretés noires ou « boues » se déposent au fond (voir [Figure 7](#)). Le jus clair obtenu en surface contient de nombreux sucres réducteurs, car l'épuration ne les détruit pas.

Les boues récupérées au fond du décanteur sont mélangées avec la fine bagasse (adjuvant de filtration) et sont filtrées sur des filtres rotatifs sous vide. Le jus obtenu est renvoyé en épuration, tandis que la boue (ou écumes) devient un sous-produit.

1.3 Évaporation et cristallisation

Le jus clair est chauffé à différentes températures dans des évaporateurs à pression réduite (évaporation à simple effet). L'eau s'élimine sous forme de vapeur et le sirop est obtenu. Dans des chaudières à cuire, le sirop est chauffé à 55 °C et à pression réduite. Il se transforme en une masse pâteuse (masse-cuite) qui renferme des cristaux de sucre et un liquide visqueux appelé « liqueur-mère ».

1.4 Malaxage et turbinage

La masse-cuite est malaxée et turbinée dans une centrifugeuse afin de séparer les cristaux de sucre et le sirop épuisé. On obtient le sucre de premier jet. Le sirop épuisé est malaxé et turbiné à nouveau pour obtenir le sucre de deuxième jet. Le sirop est encore malaxé et turbiné une deuxième fois pour l'obtention du sucre de troisième jet et de la mélasse.

1.5 Séchage

Les cristaux de sucre sont séchés dans des granulateurs à tambour.

1.6 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 brut est entreposé en piles plusieurs jours et même plusieurs semaines, jusqu'à ce qu'il soit chargé sur les navires. Le sucre brut de canne est importé en vrac par cargo, pouvant transporter plus que 40 000 tonnes à la fois.

2. LES RAFFINERIES

Le raffinage du sucre de canne brut est fait dans des usines appelées raffineries. Les opérations à suivre lors du raffinage sont illustrées à la [Figure 8](#) et une brève description de chacune est présentée ci-dessous :

2.1 Transport du sucre brut

Le sucre brut est déchargé sur un convoyeur qui l'amène directement dans l'entrepôt où il est entreposé en piles. Cet entrepôt peut contenir jusqu'à 65 000 tonnes de sucre.

2.2 Lavage du sucre brut

À la station d'affinage, à l'aide d'un malaxeur, le sucre brut est imprégné dans un sirop saturé qui favorise la dissolution superficielle des cristaux. La couche superficielle des cristaux, la plus impure, est dissoute. La masse-cuite ainsi obtenue est centrifugée pour retirer la mélasse résiduelle en surface. Le sucre obtenu est un sucre d'affinage.

2.3 Clarification

Le sucre d'affinage est dissous dans de l'eau chaude. Le sirop trouble formé est alcalinisé par addition de lait de chaux. Les impuretés sont retirées par flottaison et filtration.

2.4 Décoloration

La décoloration du sirop se fait en deux étapes. Le sirop passe d'abord dans des citernes remplies de « noir animal » (particules calcinées d'os de bœuf). Par la suite, le sirop passe par des colonnes de résines complétant ainsi la décoloration. Le sirop est presque aussi limpide que l'eau.

La capacité décolorante du noir animal est recouverte en brûlant dans un four les matières organiques qu'il a retirées du sirop. Quant aux résines, elles sont régénérées par désucrage, à l'aide d'une saumure.

2.5 Cristallisation, malaxage, turbinage et séchage

La cristallisation du sucre se fait dans des chaudières à cuire pouvant produire jusqu'à 50 tonnes de sucre à la fois. L'eau est évaporée sous vide à environ 70 °C, ce qui économise l'énergie et empêche la caramélisation du sucre. À partir d'ici le sucre suit les mêmes opérations que celles décrites à la page 15.



1. LE SUCRE

1.1 La composition

Plus le sucre est blanc, plus il est pur; plus il est d'un brun foncé, plus il contient des résidus de la canne. La composition des sucres blanc et brut est présentée au Tableau 4.

Tableau 4 : Composition des sucres blanc raffiné et brun par 100 g de sucre [14].

COMPOSANT	SUCRE BLANC	SUCRE BRUN
Calories (kcal)	387	377
Eau (g)	0,02	1,77
Hydrates de carbone (g)	99,98	97,33
Calcium (mg)	1	85
Cuivre (mg)	0	0,298
Fer (mg)	0,01	1,91
Magnésium (mg)	0	29
Manganèse (mg)	0	0,32
Phosphore (mg)	0	22
Potassium (mg)	2	346
Sélénium (µg)	0,60	1,2
Sodium (mg)	0	39
Zinc (mg)	0	0,18
Vitamine B1 (mg)	0	0,008
Vitamine B2 (mg)	0,019	0,007
Vitamine B3 (mg)	0	0,082
Vitamine B5 (mg)	0	0,111
Vitamine B6 (mg)	0	0,026

1.2 La qualité du sucre

La qualité du sucre blanc dépend, entre autres, de sa teneur en cendres, de son aspect (blancheur) et de sa coloration en solution. Dans la méthode des points utilisée en Europe, un nombre de points est attribué à chacun de ces critères. Ces points sont pondérés de telle manière qu'ils conservent leur importance relative. La qualité du sucre est d'autant meilleure que la somme des points est faible.

Selon le système des points, le classement du sucre blanc génère en deux catégories (voir Tableau 5) :

- Catégorie No. 1 : moins de 8 points, le sucre est appelé sucre raffiné ou sucre blanc raffiné;
- Catégorie No. 2 : de 8 à 22 points, le sucre est appelé sucre ou sucre blanc;
- Si le sucre totalise plus de vingt-deux points, il peut être classé comme sucre mi-blanc en fonction de ses autres caractéristiques.

La teneur en cendres est déterminée par conductimétrie sur une solution de sucre à 28 °Brix. Un point est attribué pour chaque 3,13 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (0,018 % de cendres).

L'aspect (ou type de couleur ou Farbtypes) est déterminé par comparaison avec une gamme numérotée de sucre (type de couleur) de l'institut Allemand de Brunswick. Un point est attribué pour chaque 0,5 unité de type de référence (farbtype) correspondant à l'échantillon analysé.

La coloration en solution est déterminée par spectrophotométrie à 420 nm sur une solution de sucre à 50 °Brix préalablement filtrée sur une membrane de 0,45 μm . Un point est attribué pour chaque 7,5 unités de la coloration exprimée en unités « *ICUMSA* ».

D'autres analyses complémentaires sont pratiquées pour pouvoir affiner la perception de la qualité du sucre blanc. Les analyses énumérées ci-dessous sont les plus couramment pratiquées selon le type d'utilisation auquel les sucres sont destinés et selon les conditions imposées par l'acheteur :

- la granulométrie;
- la turbidité et le floc;
- le test de moussage;
- la bactériologie.

Tableau 5 : Caractéristiques du sucre blanc de qualité «type» dans l'Union Européenne [4].

CRITÈRES	QUALITÉ TYPE N°1 OU SUCRE BLANC RAFFINÉ	QUALITÉ TYPE N°2 OU SUCRE BLANC	MÉTHODES D'ÉVALUATION
Somme maximale des points	Somme ≤ 8	Somme ≤ 22	
Teneur en cendres	Max = 4 (ou teneur en cendres max = 0,072 %)	Max = 15 (ou teneur en cendres max = 0,27 %)	Méthode « ICUMSA » (Conductimétrie)
Type de couleur	Max = 6 (ou couleur = 3 sur l'échelle de Brunswick)	Max = 9 (ou couleur = 4,5 sur l'échelle de Brunswick)	Méthode de Brunswick (Comparaison avec des étalons)
Coloration en solution	Max = 3 (ou 22,5 « ICUMSA »)	Max = 6 (ou 45 « ICUMSA »)	Méthode « ICUMSA » (Spectrophotométrie)

1.3 Les variétés de sucres

Afin de tirer le meilleur parti de toutes ces qualités, le sucre est retrouvé en une large variété de formes et de couleurs. Des présentations les plus classiques aux spécialités modernes, l'univers du sucre de canne se compose de huit variétés aux saveurs, aux arômes et aux usages spécifiques :

- Le sucre blanc cristallisé est le plus pur, puisqu'il est constitué à 99,9 % de saccharose. Il est recueilli dans les turbines après concentration sous vide et cristallisation des sirops, au stade final de l'extraction en sucrerie. Il se présente sous la forme de cristaux plus ou moins gros.
- Le sucre en poudre, ou semoule, est obtenu après broyage et tamisage du sucre cristallisé blanc. Il se présente en cristaux d'environ 0,4 mm.
- Le sucre glace est une poudre blanche impalpable obtenue par le broyage extrêmement fin du sucre cristallisé blanc. De l'amidon est ajouté afin d'éviter son agglomération. Ses grains sont tellement fins que c'est le sucre qui se dissout le plus rapidement. Il se présente sous forme de cristaux inférieurs à 0,15 mm.
- Le sucre en morceaux est formé par compression et moulage de cristaux de sucre blanc ou brun encore chauds et humides. Le sucre en morceaux se présente sous la forme de dominos de taille variable, les calibres les plus fréquents sont le No. 3 (7 g) et le No. 4 (4,5 g).
- Le sucre en cubes, blanc ou brun, est issu du concassage de lingots de sucre de canne, eux-mêmes obtenus par réhumidification, moulage et séchage des cristaux de sucre.

- Le sucre pour confitures est une spécialité élaborée pour les confitures, marmelades et gelées de fruits. C'est un sucre cristallisé auquel sont ajoutés des ingrédients qui facilitent la prise des préparations (pectine naturelle de fruits, acide citrique).
- La cassonade est un sucre cristallisé brun obtenu directement à l'issue de la première cuisson du jus de canne. Moins pur que le sucre cristallisé blanc, ce sucre brun contient environ 95 % de saccharose ainsi que des impuretés résiduelles (sels minéraux, matières organiques) qui lui donnent sa couleur et ses notes aromatiques.
- Le sucre candi résulte de la cristallisation, pendant 10 à 12 jours, d'un sirop très pur concentré et chaud. Le sirop est ensuite refroidit lentement à température ambiante. C'est la caramélisation qui lui donne sa couleur brune caractéristique.

2. LES SOUS-PRODUITS DE LA CANNE

2.1 Le sucre

Le saccharose extrait de la canne peut aussi servir à d'autres fins que la consommation. Par différents procédés chimiques, on peut transformer le sucre en de nombreuses substances chimiques (éthers et esters) aux applications très intéressantes. Des plastifiants, des adhésifs, des vernis, des cosmétiques, des détergents et même des explosifs sont quelques exemples de produits dérivés du sucre.

2.2 La bagasse

La bagasse, formée de fibres végétales broyées, peut représenter jusqu'à 30 % de la matière issue de la canne. Elle renferme en moyenne 45 % d'eau, 48,5 % de fibres et 2,5 % de matière dissoute (principalement du sucre). La bagasse servait traditionnellement de source de combustible pour la sucrerie, ainsi que de fourrage pour les animaux et d'engrais. Plusieurs nouvelles applications ont été développées pour la bagasse, par exemple la fabrication de papier, carton et panneaux agglomérés; la fabrication du furfural et l'utilisation comme source d'énergie pour des centrales charbon-bagasse.

2.3 La mélasse

La mélasse, qui contient 35 % de saccharose et bien d'autres substances (voir Tableau 6), peut aussi connaître une seconde vie. On produit 30 kg de mélasse par tonne de canne, soit 3 % de la matière première. Une bonne partie de la mélasse produite par les sucreries est utilisée pour la production du rhum industriel. Une autre fraction est utilisée dans l'alimentation des animaux et une petite partie se retrouve sur les tablettes des supermarchés pour la consommation humaine. La mélasse peut aussi être utilisée pour la culture des levures ainsi que, pour la production de divers produits, tels que l'acide acétique (vinaigre), l'acide citrique, le glycérol, l'acide aconitique, le glutamate, la dextrane, l'acide itaconique, la lysine et l'éthanol.

Tableau 6 : Composition moyenne de la mélasse par 100 g de mélasse [14].

COMPOSANT	SUCRE BLANC
Calories (kcal)	290
Eau (g)	21,87
Hydrates de carbone (g)	74,73
Calcium (mg)	205
Cuivre (mg)	0,487
Fer (mg)	4,72
Magnésium (mg)	242
Manganèse (mg)	1,530
Phosphore (mg)	31
Potassium (mg)	1464
Sélénium (µg)	17,8
Sodium (mg)	37
Zinc (mg)	0,29
Vitamine B1 (mg)	0,041
Vitamine B2 (mg)	0,002
Vitamine B3 (mg)	0,930
Vitamine B5 (mg)	0,804
Vitamine B6 (mg)	0,670

2.4 Les boues

Les boues d'épuration renferment une grande quantité de substances organiques, dont des cires et des graisses, qui pourraient être valorisées. Dans certains pays, elles sont utilisées pour fertiliser les sols cultivables.





1. PROPRIÉTÉS PHYSIQUES

Le sucre est un solide très stable dans sa forme cristalline. À l'état pur, il est blanc, inodore et, évidemment, au goût sucré.

1.1 Température de fusion

La forme cristalline du sucre fond entre 160 °C et 186 °C. La température exacte dépend du solvant de cristallisation et de la pureté du sucre.

1.2 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.

1.3 Solubilité

Le saccharose est très soluble dans l'eau, dans l'alcool et autres solvants polaires. Il est généralement insoluble dans le benzène et d'autres solvants organiques apolaires. La solubilité du sucre dans l'eau est un sujet d'étude, puisque c'est un facteur important dans la production du sucre et son utilisation. De nombreux tableaux et des équations sont disponibles pour déterminer le point de saturation (solubilité maximale) des solutions de sucre à différentes températures et conditions. Une expression fréquemment utilisée est celle de D.F. Charles qui exprime la solubilité (S) du sucre comme étant la concentration massique de la solution en termes de la température en degrés Celsius (T) :

$$S = 64,397 + 0,07251T + 0,002057T^2 - 0,000009035T^3 \quad (1)$$

Au point de congélation de l'eau, approximativement 180 g de sucre sont solubles dans 100 g d'eau, et presque 500 g de sucre sont solubles dans l'eau à son point d'ébullition.

1.4 Degré Brix

Puisque la connaissance de la quantité de sucre dissous dans l'eau est d'importance industrielle, une série entière d'indices de mesure a été développée pour indiquer les proportions relatives des deux matériaux. Le plus important indice est l'échelle Brix qui décrit la teneur en sucre dans une solution.

L'échelle Brix est également employée pour mesurer des solutions aqueuses non pures. Ainsi, un indice Brix sera normalement employé pour obtenir la densité ou l'indice de réfraction correspondant à une solution qui, en pratique, correspond à une solution de sucre et d'eau pure à une température de référence, habituellement de 20 °C.

Pour les solutions contenant d'autres substances, le Brix représente les solides apparents ou la densité apparente.

1.5 Indice de réfraction

Les solutions de saccharose réfractent la lumière proportionnellement à la quantité de saccharose en solution. Cette réfraction est employée comme une mesure de la densité de la solution, exprimée comme l'indice de réfraction.

Puisque cette réfraction change avec la température et la longueur d'onde de la source lumineuse, ces deux facteurs sont normalement mentionnés quand l'indice de réfraction est reporté. Cet indice est habituellement mesuré à 20 °C et à une longueur d'onde correspondant à 589 nm. L'indice de réfraction d'une solution de sucre 20 % (massique) est donc exprimé par :

$$N_D^{20} = 1,33299 \quad (2)$$

1.6 Rotation optique

Comme beaucoup de composants organiques, le saccharose est actif du point de vue optique. Lorsqu'un faisceau de lumière polarisée passe à travers une solution de saccharose, le plan de polarisation subit une rotation. Il s'agit d'une propriété intéressante pour des procédures analytiques puisque le degré de rotation du faisceau de lumière est proportionnel à la quantité de matériel optiquement actif présent.

La rotation optique dépend aussi de la température et de la longueur d'onde. Elle dépend aussi de la longueur de cellules de mesure. En tenant ces trois variables constantes, il est possible de mesurer la quantité de saccharose présente dans une solution pure. La rotation optique est mesurée, par convention, avec une cellule de 100 mm de longueur, à 20 °C et avec une longueur d'onde correspondant à 589 nm. La rotation optique du saccharose s'exprime comme suit :

$$\text{Saccharose}[\alpha]_D^{20} = +66,53 \quad (3)$$

Le signe indique que la rotation du plan de polarisation se fait par la droite (dextrogyre).

1.7 Viscosité

La viscosité, ou résistance à l'écoulement, de n'importe quel fluide est une mesure primordiale du point de vue manipulation des fluides. Elle est une caractéristique du produit final et elle est très importante pour le contrôle du procédé.

La viscosité des solutions de saccharose augmente de façon non linéaire avec la teneur en solides et diminue rapidement avec l'augmentation de la température. De façon générale, la viscosité augmente avec la diminution de la pureté du saccharose. Des tableaux sont disponibles avec les valeurs de viscosité en fonction de la concentration et la température. À titre d'exemple, la viscosité des solutions de saccharose en fonction de ces deux variables sont présentées au Tableau 7.

Tableau 7 : Effet de la concentration et de la température sur la viscosité des solutions de saccharose (Pennington et Baker, 1990).

BRIX	VISCOSITÉ (cp)	
	20°C	50°C
20	2	n.d.
40	6	n.d.
60	60	12
70	480	n.d.

1.6 Chaleur sensible

Cette propriété mesure l'énergie (calories) nécessaire pour augmenter d'un degré la température d'un gramme de matière. La chaleur sensible du saccharose est de 0,63 calories. Puisque le sucre est souvent employé en solution, la chaleur sensible du système eau-sucre est une propriété importante. À 20 °C, la chaleur sensible d'une solution pure à 60 °Brix est de 0,66 cal. Pour les solutions de saccharose, l'équation ci-dessous est fréquemment utilisée :

$$SH = 1 - [0,632 - 0,001T + 0,0011(100 - P)] \times \frac{B}{100} \quad (4)$$

Où SH est la chaleur sensible, T est la température (degrés Celsius), P représente la pureté (saccharose pur = 100) et B est le degré Brix.

1.9 Chaleur de la solution

Quand le saccharose cristallin est dissous dans l'eau, la température de la solution diminue. Ceci est dû à la chaleur de solution du saccharose qui a une valeur négative, soit -2 kcal par mole (342,30 g).

1.10 Chaleur latente de cristallisation

La chaleur de la cristallisation du saccharose est de 2,5 kcal par mole à 30 °C et de 80 kcal par mole à 60 °C. Lorsque le saccharose cristallise, il dégage de la chaleur.

1.11 Abaissement du point de congélation et élévation du point d'ébullition

Le sucre en solution a pour effet d'abaisser le point de congélation (FPD) de la solution et d'élever le point d'ébullition (BPR). Pour plusieurs applications, ceci est important car le changement de ces points est proportionnel à la quantité de sucre en solution. À titre d'exemple, des valeurs de l'abaissement du point de congélation et d'élévation du point d'ébullition de l'eau en fonction de la concentration de sucre dans la solution sont présentées au Tableau 8.

Tableau 8 : Effet de la concentration de saccharose sur l'abaissement du point de congélation et l'élévation du point d'ébullition de l'eau (Pennington et Baker, 1990).

BRIX	ABAISSEMENT DU POINT DE CONGÉLATION	ÉLÉVATION DU POINT D'ÉBULLITION
10	0,61	0,15
15	1,01	0,25
20	1,50	0,40
30	2,60	0,70
40	4,50	1,20
50	n.d.	2
60	n.d.	3
70	n.d.	5

1.12 Tension de surface

La tension de surface augmente avec la concentration de la solution de sucre. Les valeurs de cette propriété en fonction du Brix pour des solutions de sucre pures à la température de la pièce sont présentées au Tableau 9.

Tableau 9 : Effet de la concentration de saccharose sur la tension de surface de l'eau
(Pennington et Baker, 1990).

BRIX	TENSION DE SURFACE (dyne/cm²)
0	72,7
10	73,4
20	75,0
40	77,0
60	79,0

1.13 Angle de repos

L'angle naturel de repos du sucre cristallin en vrac varie entre 30 et 37 degrés. En général, un angle de repos de 34 degrés est utilisé.

1.14 Tension de vapeur

La tension de vapeur des solutions de saccharose diminue avec la concentration du sucre. Au Tableau 10, l'effet de la concentration de sucre sur la tension de vapeur de l'eau est présenté à deux températures différentes.

Tableau 10 : Effet de la concentration de saccharose sur la tension de vapeur de l'eau
(Pennington et Baker, 1990).

BRIX	TENSION DE VAPEUR (mm Hg)	
	40 °C	80 °C
0	55,3	355,2
10	54,7	354,0
20	54,3	352,3
60	52,0	320,4
70	51,1	298,4

1.15 Activité de l'eau

Une autre propriété importante du saccharose est sa capacité d'hydratation. Cette caractéristique affecte l'activité de l'eau (a_w) de la solution ou du produit dans lequel le saccharose est présent. L'apparence et la texture du produit, la sensation du produit dans la bouche et le temps de conservation du produit est ainsi affectée.

1.16 Propriétés électriques

Le saccharose est non-conducteur. Une solution de saccharose pure n'a aucune conductivité en comparaison avec de l'eau pure. Le saccharose, lorsque dissous, forme une solution neutre. Le sucre commercial en solution a généralement un pH autour de 7 à 7,15.

1.17 Pression osmotique

L'osmose se réfère à la diffusion d'une substance à travers une membrane semipermeable. La pression osmotique d'une solution aqueuse de sucre est une fonction de la concentration et de la température de la solution. Au Tableau 11, l'effet de la concentration de sucre et de la température sur la pression osmotique des solutions de sucre est présentée.

Tableau 11 : Effet de la concentration de sucre et de la température sur la pression osmotique des solutions de saccharose (Pennington et Baker, 1990).

BRIX	PRESSION OSMOTIQUE (kg/cm)		
	0°C	30°C	60°C
5	4,0	4,2	4,6
10	8,8	9,3	10,1
20	18,8	21,2	21,7
40	55,0	57,5	n.d.

2. PROPRIÉTÉS CHIMIQUES

Tous les sucres sont réactifs. Cependant, dans le cas du saccharose, les principaux emplacements réactifs des molécules de glucose et de fructose sont fusionnés ensemble quand la molécule de saccharose est formée. Les deux monosaccharides sont pourtant beaucoup plus réactifs que le saccharose lui-même. En fait, ce sont des sucres réducteurs en raison de leur capacité d'agir en tant qu'agents réducteurs chimiques.

Le saccharose n'est pas un sucre réducteur qui est stable dans les solutions neutres jusqu'à 100 °C. Le fructose se décompose au-dessus de 60 °C, et le glucose et le fructose sont instables dans les solutions basiques. Dans ces conditions, le saccharose est le plus stable. Dans les solutions acides, le saccharose s'inverse ou se décompose en ses deux monosaccharides, le glucose et le fructose. La vitesse de la réaction augmente avec l'acidité et la température.

La plupart des réactions en milieu aqueux où le saccharose est impliqué commencent par la réaction d'inversion. Il peut y avoir d'autres réactions telles que la décomposition thermique, la dégradation acide, la dégradation basique et la réaction de Maillard.



De nos jours, la recherche liée à l'extraction et au raffinage du sucre de canne porte principalement sur les domaines du contrôle et de l'optimisation de procédés, de l'économie d'énergie, du développement de nouvelles techniques et des opérations unitaires telles que la clarification des jus, l'évaporation et la cristallisation.

La modélisation du procédé d'extraction et du raffinage au complet (Alvarez, Baez-Smith et Weiss, 2005; Zamarreño *et al.*, 2000) ou en parties (Grondin-Perez *et al.*, 2005; Dixon *et al.*, 2003; Savaresi, Bitmead et Pierce, 2001; Benne *et al.*, 2000; Lissane, Giri et Unbehauen, 1999; Cadet *et al.*, 1999) est très utilisée pour le développement de modèles pouvant être considérés dans la stratégie de contrôle et d'automatisation des usines modernes.

Des travaux dont le but est de proposer des stratégies pour réduire la consommation d'énergie et les pertes lors du procédé sont réalisés pour des usines spécifiques (Wright, Silva et Amador, 2005; Lavarack *et al.*, 2004; Goza-Leon et Perez de Alejo, 2000; Kapseu, Ahmed et Tedga, 1993). Ces travaux apportent des solutions claires et applicables à l'usine analysée, lui permettant ainsi d'améliorer sa productivité et sa rentabilité.

Des recherches visant au développement ou à l'adaptation de techniques pour mesurer des propriétés de qualité ou des paramètres de procédé, en laboratoire ou en continu, sont aussi réalisées (Eggleston, Pollach et Triche, 2005; Grondin-Perez, Benne et Chabriat, 2005; Walford, Schaffle et Morel du Boil, 2005; Kuchejda, Ramirez et Yilmaz, 2005; Bubnik *et al.*, 2004; Nielsen, 2004; Awatade, Balwe et Achalya, 1996).

Ces dernières années, la recherche a été très active dans le domaine de la clarification des jus en utilisant des membranes. Le design, le développement et la mise en fonctionnement de systèmes de filtration permettant l'enlèvement des solides en suspension des jus sont traités dans divers travaux (Petriw, 2005; Balakrishnan, Dua et Khairnar, 2001; Ghosh *et al.*, 2000; Balakrishnan, Dua et Bhagat, 2000a; Balakrishnan, Dua et Bhagat, 2000b; Decloux et Tatoud, 2000; Martoyo *et al.*, 2000; Cartier *et al.*, 2000).

D'autres recherches sont réalisées dans le but d'évaluer la performance thermique des évaporateurs utilisés dans l'industrie sucrière (Journet, 2005; Journet et Rouanne, 2005; Niepoth, 2005; Pacheco et Frioni, 2004; Pacheco et Kurokawa, 2004), ainsi que d'établir des

corrélations empiriques pour les coefficients de transfert de chaleur (Prakash et Tiwari, 2005) et de proposer des solutions au problème d'encrassement de ces équipements (Lu *et al.*, 2005).

Le phénomène de cristallisation est un sujet qui est au cœur de la recherche dans le secteur sucrier. Certaines études visent à mieux comprendre la cristallisation du sucre (Mantovani et Vaccari, 2005; Bubnik et Kadlec, 1996; Burzawa et Heitz, 1995) dans le but d'établir les bases pour l'optimisation et le développement des équipements utilisés dans cette opération.

D'autres sujets sont aussi étudiés, par exemple la qualité de la canne à sucre par rapport aux conditions de raffinage (El-Syiad, 2000), l'effet des caractéristiques de la matière première sur la qualité du produit final (Olson et Pope, 2004), l'adoption de méthodes de production plus environnementales (Ramjeawon, 2000), l'étude de la couleur, de son développement pendant le procédé et de la décoloration (Gula et Paillat, 2005; Barker, Davis et Scholten, 2004; Okuno et Tamaki, 2002; Bento, 2000; Keramat et Nursten, 1994) et les nouvelles méthodes pour concentrer le jus de canne (Rane, Jabade et Ingle, 2005).



Acide aconitique	Substance servant à la préparation de plastifiants et d'agents mouillants
Acide itaconique	Substance participant dans la fabrication de matières plastiques
Boues	Mélange de résidus provenant de l'épuration des jus de canne ou de betterave
Chaume	Partie inférieure des tiges de céréales qui reste au niveau du sol dans le champ après que la portion supérieure a été récoltée
Écumes	Résidu de la clarification des jus de canne ou de betterave à la suite de leur carbonatation
Endogène	Qui prend naissance à l'intérieur d'un système, spécialement à l'intérieur d'un organisme
Furfural	Liquide incolore, à odeur d'amandes amères
Invertase	Enzyme catalysant l'hydrolyse du saccharose en fructose et en glucose
« ICUMSA »	« <i>International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis</i> »
Lysine	Acide formé par le dédoublement des matières protéiques
Mélasse	Résidu incristallisable, visqueux, issu de la fabrication du sucre
Vesou	Appellation créole du jus de canne



- ALVAREZ J.F., BAEZ-SMITH C.Y. et WEISS L.W. (2005). Modeling the New Technology Raw Sugar Factory/Refinery Using Sugars™ For Windows®, Article soumis.
- AWATADE M.N., BALWE T.K. et ACHALYA G.N. (1996). Improved Techniques for In-situ Monitoring and Control of pH in the Cane Sugar Manufacturing Process. *Solid State Ionics*, 90(1), 227-232.
- BALAKRISHNAN M., DUA M. et BHAGAT J.J. (2000a). Effect of Operating Parameters on Sugarcane Juice Ultrafiltration: Results of a Field Experience. *Separation and Purification Technology*, 19(3), 209-220.
- BALAKRISHNAN M., DUA M. et BHAGAT J.J. (2000b). Evaluation of Ultrafiltration for Juice purification in Plantation White Sugar Manufacture. *International Sugar Journal*, 102(1213), 21-24.
- BALAKRISHNAN M., DUA M. et KHAIRNAR P.N. (2001). Significance of Membrane Type and Feed Stream in the Ultrafiltration of Sugarcane Juice. *Separation Science and Technology*, 36(4), 619-637.
- BARKER B., DAVIS S.B. et SCHOLTEN M. (2004). Evaluation of Chemically Regenerated Activated Carbon (SPARAC) for Sugar Decolourisation. *International Sugar Journal*, 106(1266), 344-352.
- BENNE M., GRONDIN-PEREZ B., CHABRIAT J.P. et HERVÉ P. (2000). Artificial Neural Networks for Modelling and Predictive Control of An Industrial Evaporation Process. *Journal of Food Engineering*, 46(2), 227-234.
- BENTO L.S.M. (2000). Study os Color Formation During Carbonatation in Cane Sugar Refining Using GPC with an ELS Detector. *Zuckerindustrie*, 125(2), 97-100.
- BUBNIK Z. et KADLEC P. (1996). Simulation des Propriétés des Solutions de Sucre et de la Cristallisation. *Industries Alimentaires et Agricoles*, 223(7), 536-540.
- BUBNIK Z., POUR V., GRUBEROVA A., STARHOVA H., HINKOVA A. et KADLEC P. (2004). Application of Continuous Chromatographic Separation in Sugar Processing. *Journal of Food Engineering*, 61(4), 509-513.

- BURZAWA E. et HEITZ F. (1995). La Cristallisation du Sucre : Des bases Théoriques à la Production Industrielle, Industries Alimentaires et Agricoles, 112(7), 522-532.
- CADET C., TOURÉ Y., GILLES G. et CHABRIAT J.P. (1999). Knowledge Modeling and Nonlinear Predictive Control of Evaporators in Cane Sugar Production Plants. Journal of Food Engineering, 40(1), 59-70.
- CARTIER S., TATOUD L., THEOLEYRE M.A. et DECLoux M. (1997). SUGAR Refining Process by Coupling Flocculation and Crossflow Filtration. Journal of Food Engineering, 32(2), 155-566.
- CHI CHOU C. (2000). Handbook of Sugar Refining: A Manual for the Design and Operation of Sugar Refining Facilities. John Wiley & Sons Inc. USA. 832 p.
- DECLoux M. et TATOUD L. (2000). Importance of the Control Mode in Ultrafiltration: Case of Raw Cane Sugar Remelt. Journal of Food Engineering, 44(2), 119-126.
- DELDEN E. (1981). Standard Fabrication Practices for Cane Sugar Mills. Elsevier Pub. Co. USA. 253 p.
- DIXON T., MANN A., HOBSON P., PLAZA F., PENNISI S. et STEINDL R. (2003). Application of CFD in the Sugar Industry. 3rd International Conference on CFD in the Minerals and Process Industries, CSIRO, 10-12 December, Melbourne, Australia.
- EGGLESTON G., POLLACH G. et TRICHE R. (2005). The Use of Ion Chromatography Profiles as a Screening Tool to Differentiate Cane White Sugar from Beet White Sugar. Zuckerindustrie, 130(8), 611-616.
- EL-SYIAD S.I. (2000). Egyptian Raw Cane Sugar Quality in relation to Refining Requirements. Food Chemistry, 68(3), 253-257.
- GHOSH A.M., BALAKRISHNAN M., DUA M. et BHAGAT J.J. (2000). Ultrafiltration of Sugarcane Juice with Spiral Wound Modules: On-site Pilot Trials. Journal of Membrane Science, 174(2), 205-216.
- GOZA-LEON O. et PEREZ DE ALEJO VICTORIA H. (2000). An Expert System for the Analysis of Energy Systems in cane Sugar Factories. New Review of Applied Expert Systems and Emerging Technologies, 6,65-80.
- GRONDIN-PEREZ B., BENNE M. et CHABRIAT J.-P. (2005). Supervision of C Crystallisation in Bois Rouge Sugar Mill Using On-line Crystal Content Estimation Using

Synchronous Microwave and Refractometric Brix Measurements. *Journal of Food Engineering*, Article en impression.

- GRONDIN-PEREZ B., BENNE M., BONNECAZE C. et CHABRIAT J.P. (2005). Industrial Multi-step Forward Predictor of Mother Liquor Purity of the Final Stage of A Cane Sugar Crystallisation Plant. *Journal of Food Engineering*, 66(3), 361-367.
- GULA F. et PAILLAT D. (2005). Decolorization of Refinery Liquors: A Technical and Economic Comparison Between the Different Systems Using Activated Carbon or Resins. *International Sugar Journal*, 107(1276), 235-242.
- HONIG P. (1953). *Principles of Sugar Technology*. Elsevier Pub. Co. HOLLAND. 767 p.
- HUGOT E. (1972). *Handbook of Cane Sugar Engineering*. Elsevier Pub. Co. USA. 1166 p.
- JOURNET G. (2005). Falling Film Evaporators in Cane Sugar Mills. *International Sugar Journal*, 107(1280), 468-475.
- JOURNET G. et ROUANNE F. (2005). Falling-film Evaporators in Cane Sugar Factories. *Zuckerindustrie*, 130(7), 531-537.
- KAPSEU C., AHMED A. et TEDGA N. (1993). Contribution à la Réduction des Pertes à la Sucrerie – Raffinerie de Canne. *Journal of Food Engineering*, 20(1), 45-53.
- KERAMAT J. et NURSTEN H.E. (1994). The Relationship Between the coloured Compounds Present in the Pressed Liquor of Cane Sugar Manufacture and Those Formed in Maillard Reactions, in Alkaline Degradation of Sugars, and in Caramelisation. *Food Chemistry*, 51(4), 417-420.
- KUCHEJDA M., RAMIREZ S. et YILMAZ S. (2005). NIR Polarimetry/Sample Preparation for Sucrose Measurement and assessment of An Automated System for colour, Turbidity and Ash Determination. *International Sugar Journal*, 107(1277), 302-307.
- LAVARACK B.P., HODGSON J.J., BROADFOOT R., VIGH S. et VENNING J. (2004). Improving the Energy Efficiency of Sugar Factories: case Study for Pioneer Mill. *International Sugar Journal*, 106(1266), 337-343.
- LISSANE ELHAQ S., GIRI F. et UNBEHAUEN H. (1999). Modelling, Identification and Control of Sugar Evaporation – Theoretical Design and Experimental Evaluation. *Control Engineering Practice*, 7(8), 931-942.

- LU H.Q., XIE C.F., YANG R.F. et QIU T.Q. (2005). Preventing Fouling in Evaporators Through Ultrasound. *International Sugar Journal*, 107(1280), 456-461.
- MANTOVANI G. et VACCARI G. (2005). Dossier Special Sucres – Nucleation et Ensemencement en Cristallisation Industrielle. *Industries Alimentaires et Agricoles*, 122(7-8), 11.
- MARTOYO T., HINO M., NAGASE H. et BACHTIAR A. (2000). Sugar Technology – Pilot Test on Ultrafiltration of Cane Raw Juice at the Indonesian Plantation White Kedawoeng Sugar Factory. *Zuckerindustrie*, 125(10), 787-792.
- MEADE G.P. (1963). *Spencer-Meade Cane Sugar Handbook: A manual for Cane Sugar Manufacturers and their Chemists*. John Wiley & Sons Inc. USA. 845 p.
- NIELSEN B.C. (2004). On-line Continuous Measurement of Colour in Sugar Factories. *International Sugar Journal*, 106(1261), 18.
- NIEPOTH, K. (2005). Special Experience Gained With Falling-Film Plate Evaporators in the Sugar Industry. *International Sugar Journal*, 107(1277), 287-293.
- OKUNO M. et TAMAKI H. (2002). Food Engineering and Physical Properties – A Novel Technique for the Decolorization of Sugarcane Juice. *Journal of Food Science*, 67(1), 236-238.
- OLSON B.C. et POPE G.M. (2004). Cane Supply and its Impact on Sugar Colour. *International Sugar Journal*, 106(1268), 426-435.
- PACHECO C.R.F. et FRIONI L.S.M. (2004). Experimental Results for Evaporation of Sucrose Solution Using A Climbing/Falling Film Plate Evaporator. *Journal of Food Engineering*, 64(4), 471-480.
- PACHECO C.R.F. et KUROKAWA E.C. (2004). Thermal Performance assessment of Roberts' Evaporators. *International Sugar Journal*, 106(1265), 270-272.
- PATURAU J.M. (1982). *By-Products of the Cane Sugar Industry: An Introduction to Their Industrial Utilization*. Elsevier Pub. Co. USA. 436 p.
- PENNINGTON N.L. et BAKER C.W. (1990). *Sugar : A User's Guide to Sucrose*. AVI Book. USA. 331 p.
- PERRIER-ROBERT A. et BERNARDIN M.-P. (1999). *Le Grand Livre du Sucre*. Éditions SOLAR. FRANCE. 175 p.

- PETRIW D.M. (2005). Standard Liquor Filtration Using a Putsch Sibomat Filter. *International Sugar Journal*, 107(1277), 272-280.
- PRAKASH O. et TIWARI G.N. (2005). Empirical Expressions for Convective and Evaporative Heat Transfer Coefficients for the Drying of Concentrated Sugar-cane Juice. *International journal of Ambient Energy*, 26(1), 45-55.
- RAMJEAWON T. (2000). Cleaner Production in Mauritian Cane-Sugar Factories. *Journal of Cleaner Production*, 8(6), 503-510.
- RANE M.V., JABADE S.K. et INGLE T.S. (2005). Sugarcane Juice Concentration: A New Approach. *International Sugar Journal*, 107(1280), 476-478.
- SAVARESI S.M., BITMEAD R.R. et PIERCE R. (2001). On Modelling and Control of A Rotary Sugar Dryer. *Control Engineering Practice*, 9(3), 249-266.
- WALFORD S.N., SCHAFFLE K.J. et MOREL DU BOIL P.G. (2005). Chromatographic Solutions for Sugar Processing. *International Sugar Journal*, 107(1274), 90-103.
- WRIGHT P.G., SILVA T.A. et AMADOR K. (2005). Improving the Process Steam economy in a Cane Sugar Factory: A Case History of A Successful Cogeneration Project. *International Sugar Journal*, 107(1279), 425-430.
- ZAMARREÑO J.M., VEGA P., GARCÍA L.D. et FRANCISCO M. (2000). State-space Neuronal Network for Modelling Prediction and Control. *Control Engineering Practice*, 8/9, 1063-1075.



[1] Institut Canadien du Sucre.

<http://www.sugar.ca> (Page consultée le 15 novembre 2005)

[2] Agriculture et Agroalimentaire Canada.

http://www.agr.gc.ca/misb/spec/index_f.php?s1=bet&page=intro (Page consultée le 22 août 2005)

[3] Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture – FAO.

<http://www.fao.org/es/ess/top/commodity.jsp?lang=FR> (Page consultée le 23 août 2005)

[4] Conférence des Nations Unies Sur le Commerce et le Développement – CNUCED.

<http://r0.unctad.org/infocomm/francais/sucre/qualite.htm> (Page consultée le 16 novembre 2005)

[5] WIKIPÉDIA – Encyclopédie libre.

http://fr.wikipedia.org/wiki/Canne_à_sucre (Page consultée le 15 novembre 2005)

[6] La Recherche sur la Canne à Sucre – Umr-PIA.

<http://umr-pia.cirad.fr/recherche/pcanne.html> (Page consultée le 15 novembre 2005)

[7] Dossiers thématiques – La canne à sucre.

<http://perso.wanadoo.fr/lameca/dossiers/> (Page consultée le 15 novembre 2005)

[8] L'île de la Réunion

http://www.mi-aime-a-ou.com/canne_a_sucre_ile_reunion.htm (Page consultée le 15 novembre 2005)

[9] WIKIPÉDIA – L'Encyclopédie Libre.

http://fr.wikipedia.org/wiki/Portail:Plante_utile (Page consultée le 15 novembre 2005)

[10] Centre Technique Interprofessionnel de la Canne et du Sucre.

<http://www.ctics.fr> (Page consultée le 16 novembre 2005)

[11] Gouvernement de Queensland.

<http://www.dpi.qld.gouv.au/home/default.html> (Page consultée le 16 novembre 2005)

[12] Groupe Fives-LILLE – Ingénierie Sucrière.

<http://www.fivescail.com/produits/fiche5.htm> (Page consultée le 16 novembre)

[13] Sucre Lantic.

<http://www.lantic.ca/francais/index.html> (Page consultée le 16 novembre 2005)

[14] United States Department of Agriculture – USDA

<http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/search/index.html> (Page consultée le 16 novembre 2005)