

Extraction du sucre de betterave

Compilation de quelques documents trouvés sur internet

De la betterave au sucre, Une filière importante pour la Suisse

Un document de l'Agence d'information agricole romande
agrinfo.com

De la plante au sucre

L'extraction du sucre

Documents du CEDUS, Centre d'études et de documentation du sucre
sucre-info.com



De la betterave au sucre

Une filière importante pour la Suisse





Le sucre – une énergie naturelle

Le sucre est présent dans de nombreux aliments que nous consommons quotidiennement. Certains aliments en contiennent sans que cela soit perceptible au goût, car le sucre, outre le fait d'être un édulcorant, possède la faculté d'augmenter la durée de conservation des aliments. Pour l'être humain, le sucre constitue un apport d'énergie important. Il est un élément constitutif de toute vie.

Une douce diversité

Toutes les plantes vertes produisent du sucre par photosynthèse mais il n'y en a peu qui le stockent comme réserve d'énergie. La betterave sucrière et la canne à sucre ont toutes deux une teneur particulièrement élevée en sucre ce qui

permet la fabrication de différentes sortes de sucre:



Le sucre blanc

Le sucre blanc est un des aliments les plus purs. Le sucre cristallisé se compose de cristaux plus ou moins fins, brillants et incolores. Le sucre poudre ou glace est composé de cristaux de sucre moulus très fin.



Le sucre de canne

Issu du jus de canne à sucre et habituellement roux, ce sucre contient encore des éléments minéraux de la plante. Les résidus de mélasse sur les cristaux lui confèrent sa couleur. La canne à sucre est une plante pluriannuelle. Elle est cultivée dans tous les pays tropicaux ou tempérés chauds.



Le sucre candi

Le sucre candi peut être brun ou blanc. La cristallisation lente d'une solution de sucre pur permet l'obtention de cristaux particulièrement grands.

Survol de l'histoire du sucre

1000 avant J.-C.

La canne à sucre est originaire de la Nouvelle-Guinée et des îles avoisinantes de l'océan Pacifique. C'est sur ces îles qu'elle a été cultivée pour la première fois avant d'atteindre l'Inde puis la Chine. Mais les premiers à en extraire du sucre sont les Indiens et ils appellent cette substance «sarkara».

VI^e siècle avant J.-C.

Au cours d'une expédition dans la vallée de l'Indus, les Perses du roi Darius le Grand font la découverte de ce «roseau qui produit du miel, sans le concours des abeilles». Ils rapportent des plantes de canne à sucre et les cultivent en affinant, au fil du temps, les techniques d'extraction pour aboutir à un produit raffiné,

très proche du sucre d'aujourd'hui.

III^e siècle av. J.-C.

Transmise aux Arabes par les Perses, la culture de la canne à sucre s'étend progressivement en Afrique du Nord, puis se généralise à l'ensemble du Bassin méditerranéen.

1150–1500

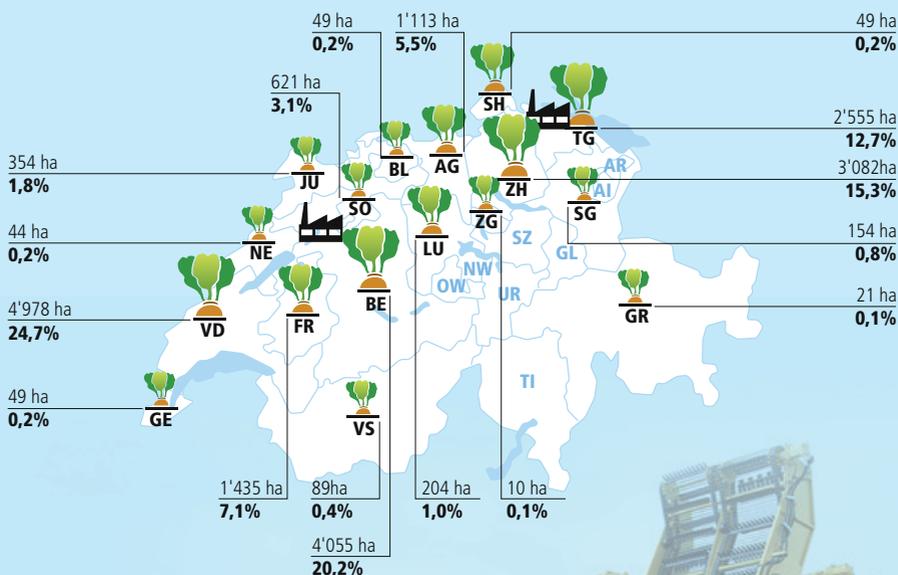
Les Croisés rapportent le premier sucre en Europe centrale où il est considéré comme une épice appelée «sel doux». C'est une denrée très appréciée mais rare.

18^e siècle

Si la forte teneur en sucre de certaines variétés de betterave est remarquée dès la fin du XVI^e siècle, il faut at-



La betterave sucrière revêt une grande importance économique en Suisse avec près de 5500 exploitations agricoles, situées souvent à proximité des sucreries, qui la cultivent et en récoltent chaque année environ 1,8 mio. de tonnes.



tendre 1747 pour qu'Andreas Marggraf, chimiste allemand, prouve que la betterave fourragère, ancêtre de l'actuelle betterave sucrière et dont les feuilles étaient consommées comme les épinards, contient du sucre identique à celui de la canne à sucre.

1793
Un kilo de sucre représentait l'équivalent de deux mois de salaire pour un employé moyen.

1801
La première sucrerie de betteraves au monde voit le jour en Allemagne, suivie bientôt par d'autres partout en Europe. En France, la culture betteravière prend son essor sous Napoléon qui en industrialise la production. Avec la multiplication des usines sucrières au cours du XIX^e siècle, la betterave se substitue rapidement à la canne et le sucre devient un produit d'usage courant.

19^e-20^e siècle
L'augmentation de la production de sucre de canne et de sucre de betterave provoque une dramatique chute des cours en Europe. Le sucre devient une denrée quotidienne dont la consommation ne cesse d'augmenter.

1912
Fondation en Suisse de la Sucrerie + Raffinerie Aarberg SA.

1959
Fondation de la sucrerie de Frauenfeld.

1997
Fusion des sucreries Aarberg et Frauenfeld pour devenir les Sucreries Aarberg et Frauenfeld SA. (SAF)

2014
Les deux entreprises se nomment dorénavant Sucre Suisse SA.

Carte de visite de l'exploitation

4,5 ha pommes de terre
4,5 ha betteraves sucrières
5 ha maïs grain
4,5 ha céréales
2 ha prairies artificielles
260 porcs d'engraissement
2 chevaux



En visite chez **Stefan Dardel** betteravier à Aarberg BE

Depuis toujours, les betteraves sucrières font partie du domaine de Stefan Dardel et elles y occupaient déjà une grande place lorsque son père était à la tête de l'exploitation. «Sur nos 24 ha, nous cultivons des betteraves sucrières et des pommes de terre mais aussi des céréales, du maïs grain et de l'herbe» explique l'agriculteur en précisant que 260 porcs d'engraissement – qui constituent une source de revenu régulier – et 2 chevaux font également partie du domaine.

Semis dès la mi-mars

L'année betteravière commence tôt. Après la récolte du maïs en automne, les résidus végétaux sont laissés en surface durant l'hiver de manière à permettre une bonne couverture du sol. Après les labours, fin janvier, l'agriculteur entreprend les semences à mi-mars. Les semences commandées directement à la sucrerie sont accompagnées d'un contrat de culture qui fournit à la sucrerie des informations précises sur la quantité de betteraves ensencées.



Préparation du sol à l'aide d'une herse rotative



Des feuilles en bonne santé – une condition essentielle !

Durant la levée, les betteraves sucrières nécessitent un contrôle quotidien des nuisibles et des mauvaises herbes car «la santé des feuilles est une condition essentielle pour une bonne production de sucre». Jusqu'à ce que les feuilles couvrent entièrement le sol, c'est-à-dire jusqu'à fin mai, trois traitements contre les mauvaises herbes auront été nécessaires. La lutte contre les insectes ravageurs et les maladies fongiques nécessitera ensuite deux à trois traitements supplémentaires. Beaucoup d'efforts sont nécessaires pour garantir un rendement élevé en termes de quantité et de qualité, alors que le prix de la betterave sucrière ne couvre plus les coûts de production... Aussi, les agriculteurs sont tributaires des contributions à la culture allouées par la Confédération.

Des «souris» et du savoir-faire

Stefan Dardel fait partie du Rübenring, une coopérative forte de 1800 membres, qui se charge de l'organisation du transport betteravier. Cela nécessite un planning et une logistique sans faille. Dans un premier temps, des machines récoltent les betteraves et les déposent en bordure des champs. Afin d'enlever la terre résiduelle qui adhère aux betteraves, des grandes machines, appelées «souris» les nettoient avant de les charger sur les remorques des tracteurs ou des camions. L'achat de ces machines par la coopérative représente un investissement important. La culture des betteraves est complexe et elle joue un rôle important dans la rotation des cultures. Elle nécessite donc un savoir-faire et une grande expérience professionnelle que Stefan Dardel a acquis au fil des ans.



Un bon plan pour l'environnement

La betterave est une plante riche qui joue un rôle important pour l'environnement. Par ailleurs, à surface comparable, son important feuillage est quatre fois plus efficace que la forêt pour convertir le dioxyde de carbone nocif en oxygène. Ses longues et fines racines qui pénètrent la terre jusqu'à une profondeur d'un mètre et demi réduisent le taux de nitrates charriés par les eaux de pluie. La betterave contribue ainsi de manière décisive au maintien d'un sous-sol sain.

La «souris» permet d'effectuer le transfert des betteraves du champ à la remorque pour être ensuite acheminées vers la sucrerie.





En visite aux Sucrieries d'Aarberg et de Frauenfeld

Sucre Suisse SA

Toutes les betteraves cultivées en Suisse sont transformées dans les sucrieries d'Aarberg BE et de Frauenfeld TG. En 1997, celles-ci se sont regroupées sous la dénomination «Sucrieries Aarberg + Frauenfeld SA» pour devenir, en 2014, «Sucre Suisse SA». Aujourd'hui, les actions sont détenues par des cantons, des communes, des planteurs et d'autres investisseurs, la majorité étant répartie entre les planteurs et leurs associations professionnelles. La Confédération n'est pas actionnaire.

Les producteurs situés à proximité des sucrieries acheminent les betteraves par la route. Une grande partie de la récolte est transférée sur le rail.



Une campagne de 90 jours

L'été est une période plutôt calme. Les usines semblent être silencieuses et vides. Mais, avec l'arrivée de l'automne, débute la «Campagne», soit la récolte et le traitement des betteraves sucrières. Celle-ci commence à la mi-septembre et dure entre 80 et 100 jours. Durant cette période, les sucrieries tournent à plein régime 7/7 jours et 24/24 heures. La betterave sucrière se transforme alors en «or blanc». La récolte est entièrement automatisée et planifiée de telle sorte que les betteraves soient acheminées le plus vite possible et dans les délais aux sucrieries.

Livraison juste à temps

50% des betteraves sont acheminés par le train, le reste par tracteurs avec remorques ou camions. La livraison se fait selon un planning bien établi qui fixe la date et l'heure exacte des arrivées. Des échantillons sont prélevés sur chaque lot permettant de déterminer la qualité, la teneur en sucre ainsi que la «tare terre». Les betteraves sont ensuite déchargées à l'aide de canons à eau.

Pesage des betteraves à l'arrivée. Un échantillon est prélevé dans chaque lot.



De la betterave au sucre fin

La transformation de la betterave en sucre fin se fait en 5 étapes: nettoyage et découpage, purification, concentration et cristallisation (voir pages 8 et 9). Le sucre est ensuite transporté à destination en vrac dans des camions ou wagons-citernes, conditionné dans des emballages divers ou transformé en sucre en morceaux.

Un petit pourcentage écoulé dans le commerce de détail

En effet, seuls 15 % du sucre suisse sont écoulés dans le commerce du détail, Migros, Coop ou autres. Une grande partie de la production est destinée à l'industrie alimentaire pour la production de limonades, chocolats, biscuits mais aussi de ketchup et de confitures.

Quantité et prix fixes

Sucre Suisse SA achète et transforme les betteraves produites selon les accords contractuels. Le volume et le prix, les critères de qualité et les droits de livraison des planteurs sont ainsi clairement définis.

Chaque année 1,8 million de tonnes de betteraves sont transformées pour obtenir environ 250 000 tonnes de sucre et 400 000 tonnes de sous-produits.

Les sucreries en quelques chiffres:

	Aarberg	Frauenfeld
Fondation	1912	1957
Collaborateurs (pendant la «campagne»)	150 180	100 150
Capacité de production journalière	10 000	10 000
Spécialités	Sucre gélifiant	Sucre biologique (Bourgeon)
Equipement spécial	Machines pour le conditionnement des quantités destinées à la consommation directe	Installation de séchage des pulpes pressées



La fabrication du sucre

en cinq étapes



La récolte des betteraves (« Campagne ») marque, pour les sucreries, le début de la haute saison de travail. Le processus de transformation comporte cinq étapes :



1

1. Le jus vert

Arrivées à la sucrerie, les betteraves sont lavées et découpées en fines lamelles (environ la taille d'une frite): les « cossettes ». Le sucre est extrait par diffusion dans de l'eau chaude. On obtient un jus brut de couleur foncée. La pulpe restante est pressée et utilisée ensuite comme fourrage pour le bétail. Le jus restant est transféré à la purification.



2

2. Purification du jus

Le jus vert contient encore de nombreuses particules qui empêchent la cristallisation du sucre. L'adjonction de lait de chaux et de gaz carbonique permet de précipiter les substances indésirables. La chaux et les impuretés qui se déposent au fond sont récupérées pour former la Chaux d'Aarberg, un engrais apprécié par les agriculteurs. Le jus épuré ainsi obtenu est composé d'environ 16 % de sucre.

A l'arrivée à la sucrerie, les betteraves sont entreposées dans un grand silo.

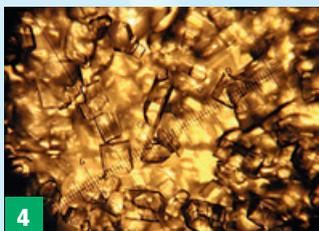




3

3. La concentration du jus

Une partie de l'eau est retirée par évaporation jusqu'à obtention d'un sirop dont la teneur en sucre est d'environ 70 %.



4

4. La cristallisation

De très fins cristaux de sucre sont ajoutés au sirop que l'on place dans des cristalliseurs où de l'eau est encore extraite sous vide. Dès lors, la concentration du sirop s'élève, l'extraction de l'eau permet la croissance des cristaux jusqu'à ce qu'ils atteignent la taille souhaitée. Cette masse contient environ 50 % de cristaux de sucre et un sirop très épais. Placée dans des centrifugeuses, la masse cristalline est séparée du sirop et lavée à l'eau. Ainsi naît le sucre blanc.



5

5. Sucre brut, raffinage

Le sirop est à nouveau cristallisé pour devenir du sucre brut de couleur jaune brun. Il est dissous, filtré et cristallisé une seconde fois. C'est ainsi que l'on obtient le sucre de qualité supérieure, le plus pur, le sucre raffiné. La couleur immaculée n'est pas obtenue par blanchiment mais elle est le résultat d'une soigneuse purification.

Il y a donc le sucre blanc, le sucre brut et les sous-produits. Le sirop qui résulte de la dernière cristallisation est appelé mélasse.



Une grande partie de la production sucrière est chargée sur des trains, en vrac ou conditionnée.





La betterave sucrière, polyvalente par nature

La transformation de la betterave en sucre donne de nombreux sous-produits dont le cycle s'achève dans les exploitations agricoles.

1. Les feuilles

Les feuilles de betterave qui restent dans les champs constituent un engrais pour la prochaine culture.

2. La mélasse

Le sirop qui résulte de la dernière cristallisation est appelé mélasse. Bien qu'elle contienne encore près de 50 % de sucre, l'extraction n'en est plus rentable. La mélasse est utilisée pour la confection de levure de boulanger et entre dans la composition de certains aliments fourragers.

3. Les pulpes

Après avoir extrait le sucre des betteraves passées au coupe-racine (cossettes), les pulpes sont le plus souvent pressées. Leur teneur élevée en énergie en fait un fourrage apprécié. En fonction de la récolte, une tonne de betteraves permet d'obtenir environ 180 kg de pulpes pressées. Elles ne se gardent cependant pas longtemps et il s'agit de les soumettre très rapidement à un traitement de conservation. Cela se fait par ensilage, production de balles ou séchage.

4. Terreaux

A leur arrivée à la sucrerie, les betteraves sont relativement propres. Lors du lavage, la terre résiduelle est récupérée et utilisée pour la production de terreaux pour le jardin, les balcons et les plantes d'intérieur.

5. Engrais

Les pierres calcaires utilisées pour épurer le jus vert sont également recyclées sous forme de Chaux d'Aarberg, un engrais naturel très apprécié. Tout comme le terreau mentionné ci-dessus, il est fabriqué par RICOTER Préparation de Terres SA, située à proximité directe de la sucrerie d'Aarberg.



1

2

3

Qualité et environnement

La production de sucre est gourmande en énergie. L'augmentation des coûts de l'énergie et l'impact sans cesse grandissant des questions écologiques incitent les sucreries suisses à veiller à une production la plus respectueuse possible de l'environnement et des ressources énergétiques:

- Diminution de 30% de la consommation d'énergie par tonne de betteraves traitées au cours des 10 dernières années.
- Réduction dans les mêmes proportions de l'émission de CO₂.
- L'eau contenue dans les betteraves est condensée lors du processus de transformation, réutilisée et nettoyée par les stations d'épuration des deux usines. Le processus de transformation permet de récupérer quotidiennement 5 mio. de litres d'eau sans faire recours à des apports d'eau fraîche.

[www.zucker.ch/fr/sucre-suisse/
developpement-durable/](http://www.zucker.ch/fr/sucre-suisse/developpement-durable/)



Les avantages d'une production indigène

La production industrielle de sucre nécessite d'importantes ressources énergétiques que ce soit en Suisse ou à l'étranger. Toutefois, les fortes nuisances qui découleraient d'un approvisionnement à l'étranger (camion, avion, bateau) parlent clairement en faveur de l'écobilan du sucre suisse.





Le marché du sucre — le jeu de l'offre et de la demande

La production mondiale de sucre se situe aux alentours de 180 millions de tonnes par année. Un tiers est négocié à l'échelle de la planète sur le marché libre. Les principales bourses pour le sucre sont à New York et à Londres. Le prix de vente du sucre, matière première précieuse, est régi par l'offre et la demande. Les spéculations qui en découlent peuvent créer d'importantes fluctuations au niveau des prix et ainsi exercer de très fortes pressions sur les producteurs. Mais de nombreux pays protègent dorénavant leurs producteurs en soumettant le prix du sucre indigène à des réglementations.

Fluctuations des prix

Les réglementations des prix ne font toutefois pas le bonheur de l'OMC qui prône autant que possible la libéralisation du marché. Sur pression de l'OMC, l'UE a procédé, en 2006, à une nouvelle réglementation du marché du sucre ce qui a eu de fortes conséquences: en mettant un frein aux activités exportatrices et à la production du sucre, les prix ont été soumis à de fortes fluctuations. Ces changements ont entraîné une restructuration de l'industrie sucrière de l'UE. En 2017, le marché du sucre de l'UE sera libéralisé, les quotas de production et les mécanismes de prix seront abolis.

Le marché du sucre en Suisse

La baisse des prix affecte aussi la Suisse. Le prix indigène s'oriente sur le prix du marché européen auquel il convient d'ajouter les droits de douane. Suite aux accords bilatéraux II, le marché du sucre suisse est lié à celui de l'UE en appliquant grosso modo des prix identiques. Par conséquent, le sucre est un produit agricole qui est concurrentiel sur le marché européen.

Le marché suisse manque de sucre

Le taux d'auto-approvisionnement en sucre indigène est de 100 % ce qui signifie que la production couvre entièrement la consommation. Toutefois de grandes quantités de sucre sont

importées annuellement pour être utilisées dans des produits de transformation. Par exemple le chocolat exporté à l'étranger contient de grandes quantités de sucre de provenance étrangère.



Réserves obligatoires de denrées alimentaires

La Suisse gère des réserves obligatoires de denrées alimentaires telles que le sucre qui lui permettent de couvrir les besoins de la population en cas de crise. Cette fonction est assurée par l'industrie alimentaire et les sucreries.

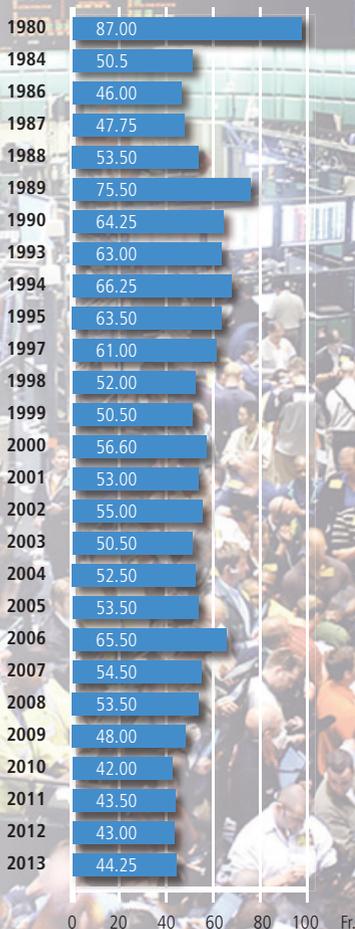


Contributions pour les betteraves sucrières

Les producteurs suisses et leurs collègues européens ne seraient pas en mesure de vendre leurs produits aux prix pratiqués par le marché mondial. Les coûts de production sont plusieurs fois supérieurs à ceux du Brésil. Pour limiter la dépendance envers les importations, la production indigène est soutenue financièrement par les instances politiques.

Prix du sucre cristallisé, par sac de 50 kg

Fin septembre de chaque année





Sucre de canne – sucre de betterave

Plus d'une centaine de pays dans le monde produisent du sucre. Plus de la moitié provient de seulement 4 régions: le Brésil, l'Inde, l'Union Européenne et la Thaïlande. La France et l'Allemagne sont les plus grands pays producteurs en Europe, suivis par la Pologne.

La canne à sucre ne pousse pas en Europe

La culture de la canne à sucre et de la betterave sucrière revêt une grande importance économique. Aujourd'hui, environ trois quarts de la production annuelle proviennent de la canne à sucre. La canne à sucre pousse avant tout dans des climats très chauds et humides. La plante, qui ressemble au bambou, peut atteindre des hauteurs de 4 à 5 mètres. Comme pour la betterave sucrière, sa teneur en sucre est de 15 à 20 %.



Evolution et tendances

La part de sucre de betterave est en net recul; le sucre de canne prend le dessus. Depuis des années, l'UE produit environ 15 millions de tonnes et n'a pas profité de la hausse de la demande en sucre. En revanche, le Brésil a doublé sa production au cours des dernières années et couvre ainsi la demande mondiale en sucre de canne bon marché.

Le Brésil, le pays producteur numéro 1

Hormis le Brésil, aucun autre pays n'est en mesure de produire du sucre aux prix correspondant au niveau mondial. La production brésilienne est caractérisée par des coûts de production significativement moindres. En effet, la taille des plantations permet une optimisation des rendements en termes de main-d'œuvre et de machines. La récolte de la canne à sucre dure environ 6 mois contre trois mois pour la betterave sucrière. Etant une plante pluriannuelle, la canne à sucre n'est renouvelée que tous les 5 à 7 ans tandis que la betterave est semée chaque année.

Aspects sociaux

Le coût de la vie extrêmement bas en Amérique du Sud a également une influence sur le prix du sucre. En raison du faible coût des denrées alimentaires, des logements et des vêtements, le niveau salarial est nettement plus bas qu'en Europe. Les conditions salariales et sociales des travailleurs dans les champs de canne à sucre sont, comme par le passé, très désavantageuses. C'est pourquoi de nombreuses organisations d'aide au développement s'emploient pour améliorer les conditions de travail sur place.



Production en tonne

Fabrique	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Usine Aarberg	122 800	137 369	111 722	148 819	127 313	112 284	158 308
Usine Frauenfeld	128 438	141 383	103 398	145 253	123 885	104 871	146 288
Total	251 238	278 752	215 120	294 072	251 198	217 155	304 596

Importations en tonne

Pays	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Allemagne	88 809	27 687	35 614	17 638	17 360	42 929	40 648
France	96 500	100 937	36 048	48 956	54 078	72 515	59 084
Italie	3 973	88	81	50	66	54	108
Belgique / Luxembourg	127	124	2 146	4 293	310	307	281
Grande-Bretagne	1 628	213	1 869	4 192	450	398	170
Île Maurice	0	0	641	915	1 265	1 519	1 940
Cuba	695	132	64	66	0	44	0
Divers	49 335	43 869	7 891	30 945	9 567	32 109	47 506
Total	241 067	173 050	84 354	107 055	83 097	149 875	149 737

Source: Statistique suisse du commerce extérieur 2014

Consommation en tonne

Remarque	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Consommation brute y compris sucre contenu dans des produits transformés exportés	487 758	436 388	355 200	328 557	362 530	410 381	375 936
Part de la production indigène dans la con- sommation des ménages (en %)	51.5	63.9	60.6	89.5	69.3	52.9	81.0

Source: Réservesuisse, février 2014

Du sucre dans le moteur

La canne à sucre permet aussi de produire du carburant biogène (éthanol). Face aux énergies fossiles non-renouvelables, cette source d'énergie ne cesse de gagner en importance. Dans ce cas aussi, le Brésil est l'un des plus importants producteurs. Malgré les efforts des écologistes, il arrive fréquemment que les forêts tropicales soient sacrifiées illégalement au profit de champs de canne à sucre.



Sucre et alimentation

Le surpoids et l'obésité sont en constante augmentation dans notre société moderne et le coupable semble être vite trouvé: le sucre. Toutefois, en examinant de plus près la consommation de sucre dans les pays occidentaux, on constate que la consommation par habitant est restée inchangée depuis des dizaines d'années. Mais le fait est que l'homme, en raison de son mode de vie sédentaire, dépense de moins en moins d'énergie et lorsque l'apport alimentaire en sucre est supérieur aux besoins, l'excédent est stocké sous forme de graisse. Le mode de consommation du sucre s'est également modifié au fil du temps: 80 % du sucre que nous consommons sont cachés dans les aliments transformés tels que le chocolat, les boissons sucrées ou le ketchup, par exemple. En effet, deux tiers des denrées alimentaires que nous consommons contiennent du sucre.

Consommation de sucre par habitant

	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Sucre en kilo	43.2	43.6	41.0	37.5	37.4	36.4

Le sucre contenu dans notre alimentation n'est pas toujours aussi visible que dans cette barbe à papa...



...80 % du sucre que nous consommons sont cachés dans les aliments transformés



Le sucre rend heureux

Le sucre possède de nombreuses qualités. D'un goût doux et agréable, il compte parmi les sources d'énergie les plus rapides. Les hydrates de carbone purs libèrent plus vite de l'énergie que la graisse. Il est également prouvé que le sucre a des effets bénéfiques sur notre humeur: en effet, le sucre accroît la production de la sérotonine, une hormone qui influence nos états d'âme.

Tout est question de quantité

Selon les prescriptions de la législation suisse sur les denrées alimentaires, la composition des ingrédients doit être indiquée sur l'emballage, la quantité exacte n'est toutefois pas exigée. Les ingrédients mentionnés en première ligne sont ceux que l'on trouve en plus grandes quantités, etc., ce qui donne un listing des ingrédients en fonction des quantités.

Le sucre, un agent conservateur

Le sucre est aussi un agent conservateur naturel. Il prolonge la durée de conservation des aliments tout en adoucissant leur saveur. Les confitures contiennent en principe presque autant de sucre que de fruits.



Gelée aux pommes

Ingrédients

- 1 l de jus de pommes
- 1 kg de sucre gélifiant
- 2 cs de jus de citron



Préparation

- verser le jus de pomme dans une grande casserole
- ajouter le sucre gélifiant et le jus de citron
- porter à ébullition et faire cuire 2 à 3 minutes à gros bouillons
- lorsque le jus a atteint la consistance voulue, verser dans des bocaux stérilisés, bien fermer.



Matériel nécessaire

- betterave sucrière de la ferme
- brosse
- couteau
- casserole
- eau
- passoire
- filtre à café

La fabrication du sucre en classe

Il est très facile de fabriquer du sucre à la maison ou en classe. Quelques ustensiles et un peu de patience suffisent.

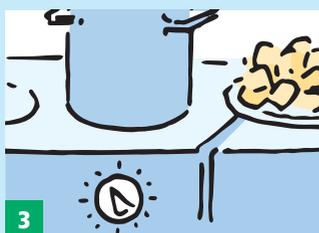
Préparation:



1. Brosser la betterave pour enlever la terre, bien laver. La betterave doit être parfaitement propre.



2. Couper la betterave en petits bâtonnets.



3. Faire bouillir de l'eau dans une grande casserole qui devra contenir en volume une fois et demie le poids des morceaux de betterave.



4. Lorsque l'eau de cuisson atteint 70°, ajouter les morceaux de betterave et laisser frémir pendant une heure.

5. Filtrer les morceaux de betterave et le jus à travers une passoire tapissée d'un filtre à café. Réserver le jus. Bien presser les morceaux pour récupérer un maximum de jus contenu dans la betterave, verser ce jus également dans la casserole.

6. Épaissir le jus en le chauffant doucement en ajoutant un peu de sucre cristallisé pour aider à la formation de cristaux puis remuer constamment. Le jus se transforme peu à peu en un sirop épais qui, en refroidissant, forme de petits cristaux.

7. Pour obtenir le sucre, il faut séparer les cristaux du sirop en décantant le liquide ou en le passant à la centrifugeuse.

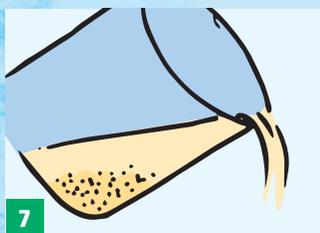
Source: www.helpster.de



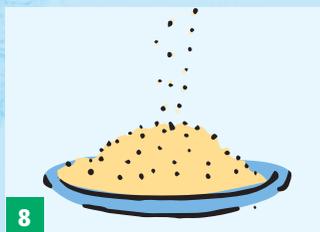
5



6



7



8



Les faits

Une racine de betterave contient 75 % d'eau et 25 % de matière sèche composée de trois quarts de sucre. Ainsi, 1 kg de betterave contient environ 16 % de sucre, donc 160 grammes.

160 g
16%

Bon à savoir

Le sucre donne de l'énergie

Un morceau de sucre nous fournit de l'énergie mais aussi environ 16 kilocalories et, pour les brûler, il faut en moyenne (estimation grossière):

- courir pendant 1,6 minute
- marcher avec un sac à dos pendant 2,5 minutes
- faire du vélo à un rythme de croisière (8km/h) pendant 6 minutes

Différents types de sucre

En plus du sucre de betterave et du sucre de canne, tous deux constitués de saccharose, il y a aussi le sucre du lait (lactose), le sucre de malt (maltose), le sucre des fruits (fructose) et le sucre de raisin (glucose ou dextrose).



Sucre de raisin

Parfois, notre corps en général ou notre cerveau en particulier a besoin très rapidement d'énergie, par exemple pendant un examen ou lors d'une longue randonnée. Pour certains, le sucre de raisin a fait ses preuves.

Les édulcorants

Pour de nombreux produits, on utilise des édulcorants artificiels. Certains édulcorants sont des produits synthétiques alors que d'autres sont produits à partir de produits de remplacement naturels, par ex. des feuilles de la plante Stévia.



Le chocolat

Les quantités de sucre contenues dans le chocolat sont très variables. Une plaque de chocolat au lait de 100 grammes contient environ 45 grammes de sucre.





Sommaire

	Page
Le sucre – une énergie naturelle	2
En visite chez Stefan Dardel betteravier à Aarberg BE	4
En visite aux Sucrieries d'Aarberg et de Frauenfeld	6
La fabrication du sucre en cinq étapes	8
La betterave sucrière, polyvalente par nature	10
Le marché du sucre – le jeu de l'offre et de la demande	12
Sucre de canne – sucre de betterave	14
Sucre et alimentation	16
La fabrication du sucre en classe	18
Bon à savoir	19

Impressum

Edition: Agence d'information agricole romande (AGIR)
 Conception: LID Landwirtschaftlicher Informationsdienst, Berne
 Texte: Julia Schwery
 Graphisme: atelierQuer, Rena Witschi, Steffisburg
 Photos: LID, BauernZeitung, Pixelio, fotolia.com, Julia Schwery,
 Patrick Pfister, Sucre Suisse SA
 Traduction/adaptation: AGIR, Lausanne
 Impression: Imprimerie Saint-Paul, Fribourg

Septembre 2015

Cette brochure peut être commandée gratuitement auprès de:
 Agence d'information agricole romande (AGIR)
 Case postale 1080, 1001 Lausanne
 Tél: 021 613 11 31 – Fax: 021 613 11 30
 info@agirinfo.com – www.agirinfo.com

L'agriculture sur internet

Vous trouverez d'autres informations concernant le sucre et sur l'agriculture en général sur les sites suivants:
www.sucre.ch – Sucre Suisse SA
www.zuckerruebe.ch – Centre betteravier suisse
www.svz-fsb.ch – Fédération Suisse des Betteraviers
www.agriculture.ch



De la betterave au sucre

Comment le sucre est-il extrait de la plante et quelles sont les étapes qui lui permettent d'arriver jusque dans nos assiettes ? L'extraction du sucre fait appel à des procédés mécaniques simples sans modification chimique. Explications en images !

Le sucre, appelé aussi saccharose, se forme par photosynthèse au sein des plantes. La betterave à sucre et la canne à sucre, sont toutes deux des plantes riches en sucre. Les techniques d'extraction sont similaires, sauf pour l'étape de diffusion qui est, dans le cas de la canne à sucre, remplacée par une opération de broyage.

1. Récolte : Les betteraves sont récoltées entre septembre et janvier, puis transportées jusqu'à la sucrerie implantée au plus près du champ.
2. Lavage Découpage : Les betteraves sont lavées soigneusement afin d'éliminer les traces de terre, puis découpées en fines lamelles appelées cossettes.
3. Diffusion : Les cossettes sont ensuite introduites dans un long cylindre qu'elles traversent à contre-courant d'une eau chauffée à 70°C. Le jus sucré est alors extrait des cossettes par diffusion (principe de l'osmose : le sucre sort des cellules et passe dans l'eau).
4. Filtration : Pour éliminer les impuretés, le jus sucré est additionné de lait de chaux (issu de pierres calcaires), puis filtré. Le jus clair est alors séparé des écumes.
5. Évaporation : Le jus obtenu contient environ 13% de sucre et 87% d'eau. Il est concentré par évaporation jusqu'à l'obtention d'un sirop contenant 70% de sucre.
6. Cristallisation : Des petits cristaux de sucre sont introduits pour lancer la cristallisation. On laisse grossir les cristaux 1 à 2h.
7. Essorage Séchage : Le sirop contenant les cristaux est envoyé dans des turbines ouessoreuses. Sous l'action de la force centrifuge, le sirop brun qui enveloppait les cristaux est évacué, et acheminé pour une nouvelle étape de cristallisation. Après récupération, les petits cristaux sont envoyés dans des appareils de séchage à air chaud, puis refroidis, et entreposés en silo pour achever leur stabilisation.
8. Conditionnement : Totalemment sec, le sucre peut être conditionné soit en poudre, soit en morceaux après humidification et moulage.

Le sucre extrait de la betterave est naturellement blanc.

DE LA PLANTE AU SUCRE : LE PROCESS SUCRIER

Comment le sucre est-il extrait de la plante et quelles sont les étapes qui lui permettent d'arriver jusque dans nos assiettes ?
L'extraction du sucre fait appel à des procédés mécaniques simples sans modification chimique.

LES PLANTES

Le sucre, appelé aussi saccharose, se forme par photosynthèse au sein des plantes. La betterave à sucre et la canne à sucre, sont toutes deux des plantes riches en sucre. Les techniques d'extraction sont similaires, sauf pour l'étape de diffusion qui est, dans le cas de la canne à sucre, remplacée par une opération de broyage.

Betterave



Saccharose

LA RÉCOLTE

En France, les betteraves sont récoltées entre septembre et janvier, puis transportées jusqu'à la sucrerie, implantée au plus près du champ.



LAVAGE/DÉCOUPAGE

Les betteraves sont lavées soigneusement afin d'éliminer les traces de terre, puis découpées en fines lamelles appelées cossettes.



Terre



Champs



Champs

Pierres calcaires



Lait de chaux



Les écumes sont épandues dans les champs pour leur apporter du calcium.

Écumes



Champs

Jus sucré



Cossettes



FILTRATION

Pour ne garder que le sucre, le jus sucré est additionné de lait de chaux (issu de pierres calcaires), puis filtré. Le jus clair est alors séparé des écumes.

4

DIFFUSION

Les cossettes sont ensuite introduites dans un long cylindre qu'elles traversent à contre-courant d'une eau chauffée à 70°C. Le sucre est alors extrait des cossettes : il sort des cellules et passe dans l'eau (principe de l'osmose), pour former un jus sucré.

3

PULPES



Les cossettes épuisées en sucre, appelées pulpes, vont alors servir à l'alimentation du bétail.

ÉVAPORATION

Le jus obtenu contient environ 13% de sucre et 87% d'eau. Il est concentré par évaporation jusqu'à l'obtention d'un sirop contenant 70% de sucre.

5

CRISTALLISATION

Des petits cristaux de sucre sont introduits pour lancer la cristallisation. On laisse grossir les cristaux 2 à 3h.

6

SUCRE EN POWDRE

SUCRE



Le sucre extrait de la betterave est naturellement blanc.

CONDITIONNEMENT

Totalement sec, le sucre peut être conditionné soit en poudre, soit en morceaux après humidification et moulage.

8

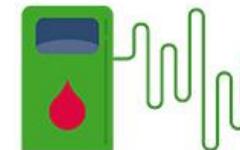
ESSORAGE / SÈCHAGE

Le sirop contenant les cristaux est envoyé dans des turbines ou essoreuses. Sous l'action de la force centrifuge, le sirop brun qui enveloppait les cristaux est évacué, et acheminé pour une nouvelle étape de cristallisation. Après récupération, les petits cristaux sont envoyés dans des appareils de séchage à air chaud, puis refroidis, et entreposés en silo pour achever

7

MÉLASSE ET ALCOOL

Après 3 étapes de cristallisation successives, le produit final non cristallisé, visqueux et très coloré, s'appelle la mélasse. On l'utilise comme support de fermentation pour la production d'alcool, de levures ou de micronutriments. L'alcool est utilisé dans l'alimentation (alcool de bouche), dans l'industrie, et comme carburant. Il prend alors le nom de bioéthanol.



L'EXTRACTION DU SUCRE



**Dossier CEDUS
avec la collaboration
de l'université de Reims:
Prof. Mathlouthi,
MC Barbara Rogè.**

L'EXTRACTION DU SUCRE

TABLE DES MATIERES DYNAMIQUE

INTRODUCTION :	4
CHAPITRE I : RECEPTION ET LAVAGE	5
1. Le transport des betteraves	5
2. La réception	5
3. Echantillonnage	6
4. Lavage	6
5. Valorisation des résidus de lavoir	6
CHAPITRE II : LA DIFFUSION	7
1. Découpage en cossettes	7
Figure 3 : Schéma d'une cossette de forme « Faîtière »	7
2. Extraction par diffusion	7
3. Théorie de la diffusion	8
4. Principe	8
5. Valorisation des pulpes	9
CHAPITRE III : L'EPURATION	10
I. Traitement a la chaux	10
1. Le Préchauffage	10
2. Le chaulage massif	11
II. 1^{ère} Carbonatation – Filtration	11
1. Carbonatation	11
2. Filtration ou sédimentation	11
III. 2^{ème} Carbonatation - Filtration	12
CHAPITRE IV: L'EVAPORATION	14
1. Théorie	14
2. Choix des conditions d'évaporation	14

CHAPITRE V: LA CRISTALLISATION	16
I. Rappels théoriques	16
II.Cristallisation en usine	18
1. La cuisson	20
2.Le malaxage	20
3.La centrifugation	20
III.Valorisation des mélasses	21
CHAPITRE VI:	22
Le Séchage	22
1. le séchage en usine	22
2. qualité du sucre	22
CHAPITRE VII : CONDITIONNEMENT DU SUCRE	24
I. Stockage	24
II. Conditionnement en morceaux	24

INTRODUCTION

Le sucre (saccharose) est extrait de la betterave sucrière (*Beta vulgaris*) ou de la canne à sucre. Ces plantes possèdent la particularité d'avoir comme glucide de réserve le saccharose, résultant de la synthèse chlorophyllienne, et de le stocker sous forme de solution aqueuse dans les cellules, sans en modifier la composition. Ces plantes accumulent le sucre, au niveau de la racine (Figure 1) pour la betterave ou de la tige pour la canne.

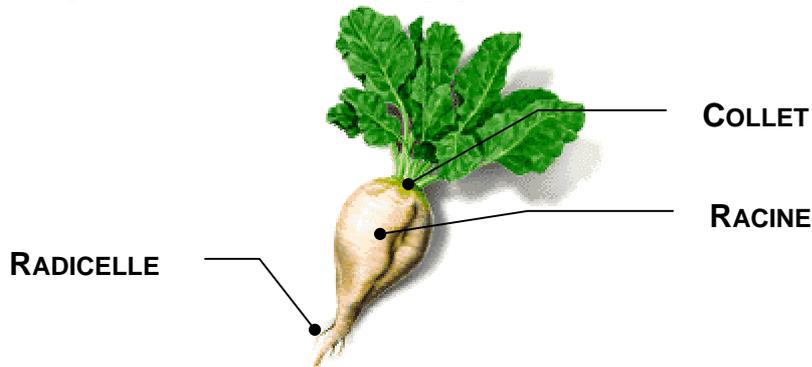


Figure 1 : betterave sucrière

La betterave sucrière est une espèce bisannuelle. En Europe métropolitaine, on produit presque uniquement du sucre à partir des betteraves. La culture de la betterave dite sucrière convient aux grandes plaines tempérées du Nord de la France; elle se caractérise par d'assez bons rendements (entre 50 et 90 t/ha) variant selon la qualité du semis, du sol, des soins et du climat. La récolte s'effectue à partir de septembre avec des durées de campagne de deux à trois mois en moyenne par an.

La culture de la canne nécessite de forts taux d'ensoleillement et de chaleur, son rendement peut atteindre 70 t/ha. La richesse en sucre de canne varie selon les pays de 11% à 16%.

La sucrerie est une industrie de séparation, qui permet d'isoler le sucre des autres constituants de la betterave ou de la canne. Cette séparation est rendue possible grâce à la succession d'opérations unitaires.

En sucrerie de betterave (chapitre 1 à 8):

- L'atelier de « **Réception et lavage** » permet d'éliminer les impuretés extérieures (Terre, pierre, débris végétaux,...)
- L'extraction du sucre par « **diffusion** » permet le transfert du sucre contenu dans la cellule tout en limitant celui des impuretés (osmose).
- Les étapes d'« **épuration** » et de « **filtration** » éliminent les impuretés dissoutes
- Les étapes ultimes de concentration par « **évaporation** » et de « **crystallisation** », éliminent l'eau et aboutissent au sucre tel que nous le consommons.
- Les étapes de « **séchage** » et de « **conditionnement** » parachèvent ce long chemin parcouru depuis la betterave.

Seules les premières étapes sont différentes pour une sucrerie de canne (chapitre 9).



Réception

CHAPITRE I

RECEPTION ET LAVAGE



Lavage

1. Le transport des betteraves

La qualité du sucre produit, dépend également de la qualité du stockage des betteraves après leur récolte. La betterave est une matière première périssable qui doit être traitée rapidement pour plusieurs raisons :

- ✓ Après l'arrachage, la perte de la richesse en sucre a lieu à raison de 200 à 400 g/ tonne et par jour. Cette quantité de sucre dépensée permet de couvrir les besoins caloriques du métabolisme de base de la betterave (respiration, pousse des feuilles).
- ✓ Les risques de fermentation et d'échauffement du silo induisent une plus grande difficulté d'extraction du sucre en usine.
- ✓ Les risques de gel et de dégel du silo favorisent la dégradation de la betterave facilement identifiable par une coloration noire de la racine. Ces dégradations produisent par exemple des polysaccharides tels que les dextrans ou les levanes. Ces molécules posant ensuite des difficultés au niveau des étapes de filtration ou de purification. Le gel peut également influencer la morphologie des cristaux puisque la présence de raffinose allonge le cristal de sucre lors de la cristallisation.

Afin de faire face à toutes ces difficultés, les usines sont en général implantées sur les lieux de culture (rayon moyen en France 25 km).

Le stockage est de deux types :

- 1- En « silo », au bord des champs (tas aux dimensions spécifiques propices à l'aération naturelle). La sucrerie les fait charger suivant un ordre pré établi avec les planteurs.
- 2- En usine, toujours sous forme de tas. Cette « réserve » de betteraves garantit une autonomie de 48 h à l'usine qui fonctionne ainsi jour et nuit pendant environ trois mois.

2. La réception

En France, la totalité des usines utilisent la « pesée directe » qui a lieu au centre de réception. Le camion, chargé de betteraves, passe sur une bascule (poids Brut) et repasse sur la même bascule à vide (poids net). L'identification du planteur et le tonnage sont enregistrés à l'aide d'un code numérique. Les betteraves sont payées en fonction de trois critères :

- ✓ Le poids marchand des betteraves livrées à la sucrerie (déduction de la terre, des cailloux, des collets,...)
- ✓ La teneur en sucre de ces betteraves.

3. Echantillonnage

A l'aide d'une sonde, appelée « Rupro », plusieurs échantillons de betteraves sont prélevés dans le camion afin d'évaluer sur une masse représentative de 150 à 200 kg :

- la tare-terre
- la teneur en sucre

La tare-terre

La tare est composée majoritairement de terre, pierres ou graviers et de déchets organiques (herbes feuilles). La tare ne comprends pas les collets (partie supérieure de la racine + feuilles).

La teneur en sucre

Pour connaître la proportion de sucre contenue dans la betterave, on procède à un dosage sur échantillons. La mesure saccharimétrique est effectuée sur un filtrat résultant de la digestion aqueuse à froid de 40g de râpure de betteraves et d'une solution aqueuse de sous-acétate de Plomb. La richesse moyenne en sucre varie de 15 à 20 % de son poids.

4. Lavage

Le déchargement des betteraves est effectué dans une fosse appelée « point fixe » et elles sont acheminées par bande transporteuse ou voie hydraulique vers le lavoir.

Les betteraves arrivant au lavoir contiennent d'importantes quantités de terre, pierres, herbes, racines et feuilles de betteraves. La séparation a lieu en plusieurs étapes :

- ✓ Un cylindre éboueur élimine la terre des betteraves
- ✓ Un séparateur utilisant la différence de densité permet d'éliminer les pierres et par flottation, les herbes
- ✓ Pour finir, on récupère les racines (petits fragments de betterave)

5. Valorisation des résidus de lavoir

- Les eaux contenant la terre et quelques débris sont soit, envoyées à l'épandage sur terre de cultures, soit, décantées dans des bassins puis recyclées.
- Les pierres sont lavées et réutilisées
- Les herbes et feuilles sont soit rendues à la culture, soit, séchées pour l'alimentation du bétail.



Les cossettes

CHAPITRE II :

LA DIFFUSION



Atelier de diffusion

1. Découpage en cossettes

Les betteraves propres sortant du lavoir tombent dans le coupe-racines dont les couteaux entraînés par un disque de grand diamètre découpent les racines en fines lanières assez rigides appelées « cossettes ». Les cossettes de forme « fâtière » (Figure 3) ont une longueur de 5 à 6 cm et une épaisseur de 0.9 à 1.3 mm, elles offrent ainsi une large surface, très favorable à l'extraction du jus par diffusion.

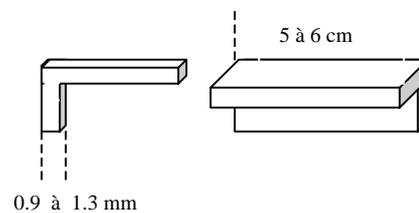


Figure 3 : Schéma d'une cossette de forme « Fâtière »

2. Extraction par diffusion

L'extraction du sucre à partir des cellules de betterave se fait par l'opération de transfert des composés solubles de la matière première vers un solvant, l'eau, il s'agit de la diffusion. Les cossettes circulent à contre-courant avec de l'eau chaude à 70-80°C afin de dénaturer la membrane ectoplasmique des cellules (Figure 4). La matière sèche de la racine est d'environ 25 %. Ces matières sèches comprennent 17% de paroi cellulaire insoluble ; 73% de sucre ; 10 % de matières solubles. Après dénaturation, les matières solubles du jus de la betterave passent en solution à travers la membrane cellulosique perméable selon les lois de la diffusion.

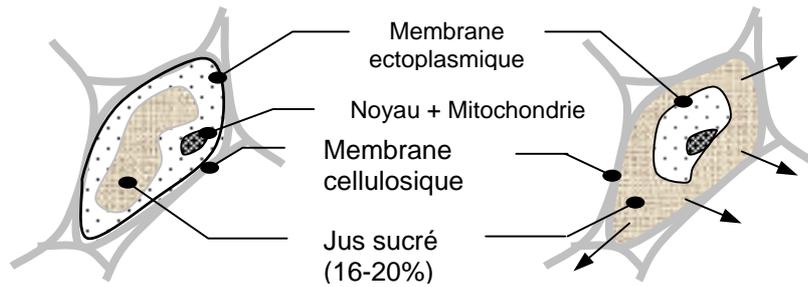


Figure 4 : Schéma d'une cellule de betterave avant et après chauffage.

3. Théorie de la diffusion

La diffusion, qui est un phénomène naturel tendant à rétablir l'équilibre dès qu'il y a un gradient de concentration, obéit à la loi de Fick ($\frac{dq}{dt} = -D.S.\frac{dC}{dx}$) où $\frac{dq}{dt}$ est la masse de matière qui diffuse par unité de temps, D le coefficient de diffusion, S la surface à travers laquelle se fait la diffusion et dC , le gradient de concentration. Si la concentration à l'intérieur des cellules est C_1 , la concentration de l'eau qui entoure les cossettes, C_2 et le coefficient d'extraction (qui inclut diffusion, surface et épaisseur de cossettes), k_e , nous pouvons exprimer l'allure d'extraction (variation de concentration dans le temps) par :

$$\frac{dC_1}{dt} = -k_e.(C_1 - C_2)$$

L'avancement de l'extraction η_L si la concentration initiale en sucre de la betterave est C_1 et celle de l'eau d'extraction $C_{2,0}$ obtenu par intégration de l'expression ci-dessous, est :

$$\eta_L = \frac{C_1 - C_{2,0}}{C_1 - C_{2,0}} = \exp(-k_e.t)$$

4. Principe

En sucrerie, la diffusion est conduite à contre-courant. Il existe quatre types de diffuseurs : diffuseur horizontal à tube tournant, le diffuseur à tapis, le diffuseur à vis, le diffuseur à tour. Par exemple, la diffusion horizontale reçoit à l'une de ses extrémités les cossettes et à l'autre l'eau chaude nécessaire à l'extraction du sucre. Elle tourne à une vitesse régulière. A l'intérieur, de multiples compartiments hélicoïdaux facilitent l'entraînement des cossettes et du liquide. Le liquide suit un couloir hélicoïdal fait de tôles pleines. A chaque tour du cylindre, on déverse le contenu d'eau du couloir sur les cossettes déposées

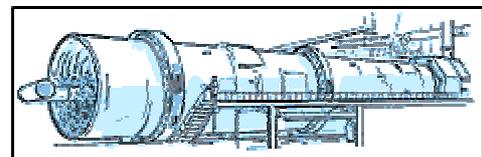


illustration : J.M. Navello

sur une tôle perforée. Le jus s'enrichit au fur et à mesure qu'il avance dans le couloir hélicoïdal. En tête de diffuseur, le jus sucré sort tandis que les cossettes épuisées sont recueillies en queue du diffuseur sous forme de pulpes (ou cossettes épuisées).

Les pulpes sont pressées pour les débarrasser d'une partie de leur eau. La teneur en matières sèche passe de 7 % à 25 % (voir II.5).

L'extraction du sucre par diffusion permet d'obtenir une solution diluée de couleur noir-grisâtre, opalescent à environ 15 % M.S. (ou 15° Brix). Ce jus acide (pH = 6) contient :

- ✓ 13 à 14 % de sucre
- ✓ 1 à 2 % d'impuretés : organiques (protéines, pectines, autres sucres, acides organiques, colloïdes) et minérales : sels de Na⁺, K, Ca, Mg, etc...
- ✓ Le reste est de l'eau.
- ✓ Analyse type :

Contenu du jus	Exprimé %
Matières Sèches (M.S.)	15,48
Non-sucres (N.S.)	1,62
Sucre	13,86
Eau	84,52
Total	100,00

Les impuretés ou « non –sucres » vont être gênantes pour la suite des opérations. C'est pourquoi, il est nécessaire de procéder à l'élimination de la plus grande partie des impuretés organiques et d'une partie des impuretés minérales au cours de l'épuration et d'éliminer l'eau au cours de la phase d'évaporation.

5. Valorisation des pulpes

A la sortie de la diffusion, les pulpes contiennent environ 92 % d'eau. Ces pulpes humides, de conservation médiocre, sont généralement pressées pour extraire une partie de l'eau. Elles prennent le nom de pulpes surpressées et contiennent entre 20 et 30% de matières sèches.

Pour assurer une bonne conservation, elles sont ensilées ou déshydratées. L'ensilage se fait par acidification naturelle, par fermentation des bactéries lactiques. La déshydratation est obtenue par séchage, avec un taux de matières sèches final d'environ 90% ; ces pulpes sèches sont agglomérées en pellets, granulés de 8-10 mm de diamètre.

D'une digestibilité élevée, riches en énergie, contenant environ 10% de matières azotées et 7% de minéraux, les pulpes conviennent bien à l'alimentation animale, en particulier aux ruminants.



Pierres à chaux

CHAPITRE III :

L'ÉPURATION



Atelier de chaulage

INTRODUCTION

L'épuration des jus de diffusion consiste d'une part, en un traitement à la chaux qui précipite un certain nombre d'impuretés et d'autre part à deux carbonatations successives qui précipitent la chaux en excès à l'aide du dioxyde de carbone.

Les sucreries fabriquent elles-mêmes les deux agents de l'épuration : chaux et dioxyde de carbone dans un four à chaux à partir de la pierre calcaire et de coke pour la combustion :



Cette réaction dépend de la température. On atteint une décomposition complète de $CaCO_3$ à $898^\circ C$ à la pression de 1013 hPa. L'enthalpie de dissociation de $CaCO_3$ est alors de 166.64 kJ/mol, soit une quantité d'énergie requise de 2971.5 kJ/kg de CaO (ou à $25^\circ C$, $E = 3155$ kJ/kg CaO).

Le lait de chaux est obtenu suivant la réaction :



L'enthalpie de la réaction à 1013 hPa et $20^\circ C$ est 1177,2 kJ/kg CaO. Cette réaction est très exothermique. Pour réduire la température et améliorer la dissolution, tout en abaissant la viscosité et rendant le lait de chaux facile à pomper, on procède en deux temps : on éteint la chaux dans les condensats dans un mélange 1:4 à 1:5 puis on dilue dans les eaux sucrées de lavage de filtre ou du jus clair.

I. Traitement à la chaux

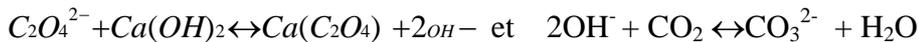
Le chaulage a lieu en deux temps, préchaulage et chaulage afin de réduire la quantité de chaux utilisée tout en maintenant une efficacité optimale.

1. Le Préchaulage

Le préchaulage correspond à une étape d'alcalinisation progressive du jus de diffusion afin de réaliser les étapes de :

- Précipitation sélective des impuretés telles que les acides citriques, oxalique, malique, sucre inverti, matières azotées, etc... mais également les cations $^{2+}$ et $^{3+}$ ou encore les anions sulfates ou phosphates.

Elle est essentiellement due à la précipitation de l'ion calcium sous forme de sels insolubles. Dans le cas de l'oxalate, par exemple, on a :



L'ion OH⁻ participe également à la précipitation de certains minéraux en formant des hydroxydes ; *Fe(OH)₂*, *Mg(OH)₂*, *Al(OH)₃*, etc...

- Coagulation – floculation des protéines, saponines ou colorants polyphénoliques, etc...

Les réactions mises en jeu lors de la floculation sont complexes et encore mal définies.

La conception compartimentée du préchauffeur permet de garantir cette alcalinité progressive. Les paramètres du préchauffage sont les suivants :

- ✓ Alcalinité finale : 2.5 g CaO /L
- ✓ Température : 70-75°C (certains procédés à 40 –45 °C)
- ✓ pH final de 11.5
- ✓ Temps de séjour : 10 à 15 minutes minimum

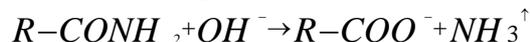
Le préchauffage correspond à environ 1/5 de l'ajout total en chaux. On recycle au préchauffage une partie des boues précipitées en 1^{er} carbonatation et en 2^{eme} carbonatation pour améliorer la filtration et la sédimentation.

2. Le chaulage massif

Après le préchauffage, le jus passe dans un réchauffeur et est envoyé dans les bacs de chaulage à 85°C où le reste du lait de chaux est ajouté de façon massive.

Le chaulage massif porte l'alcalinité totale entre 10 et 15 g CaO /L, elle assure les réactions de dégradation et notamment, la dégradation des substances azotées et des sucres réducteurs.

- La dégradation des amides et amines, conduira au dégagement d'ammoniac et à un sel de calcium insoluble : (cas de l'aspartate)



- La dégradation des sucres réducteurs conduit à des colorants, les PDAH (produits de dégradation alcaline des hexoses) et à l'acide lactique.

II. 1^{ère} Carbonatation – Filtration

1. Carbonatation

La première carbonatation sert à précipiter la chaux en excès dans le jus (0.08 à 0.1 % de CaO libre) sous forme de CaCO₃. Sur les cristaux de carbonate naissants, les matières colorantes PDAH vont s'adsorber et plus particulièrement les colorants provenant de la décomposition du sucre inverti.

Pratiquement, le jus chaulé est réchauffé puis mis en présence d'un barbotage de dioxyde de carbone (produit par le four à chaux) selon la réaction :



L'émission d'énergie favorise la vaporisation d'une partie de l'eau contenue dans le jus. Elle est par conséquent réalisée dans des « chaudières » à carbonater.

Pour éviter la redissolution des impuretés, on laisse au jus une légère alcalinité excédentaire correspondant à un pH de 11,2. Logiquement, le pH de 1^{ère} carbonatation ne devrait pas descendre en dessous de celui du préchauffage (maximum de floculation).

2. Filtration ou sédimentation

La filtration a pour but :

- ✓ D'obtenir un jus clair de 1^{er} carbonatation (JC1) 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 (tourteau ou 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 sont utilisées comme engrais.

La séparation des impuretés précipitées et du carbonate de calcium peut se faire dans des décanteurs épaisseurs sous l'effet de la pesanteur. On ajoute des flocculants pour améliorer la précipitation.

III. 2^{ème} Carbonatation - Filtration

Après réchauffage du jus (95°C), on procède à une deuxième carbonatation, opération analogue à la première, afin de précipiter la chaux encore présente dans ce jus clair (JC1) (Tableau1). Le pH final est d'environ 9,2 pour une alcalinité de 0,15 g CaO/L.

Tableau 1 : réactions mises en jeu lors de la 2^{ème} carbonatation

Formation de l'acide carbonique $CO_2 + H_2O \leftrightarrow HCO_3^- + H^+$ $HCO_3^- \leftrightarrow CO_3^{2-} + H^+$
Action sur la chaux $Ca(OH)_2 + H_2CO_3 \rightarrow CaCO_3 + H_2O$
Action sur les alcalis $2KOH + H_2CO_3 \rightarrow K_2CO_3 + 2H_2O$
Action sur les sels de calcium $Ca(R-COO)_2 + K_2CO_3 \rightarrow CaCO_3 + 2R-COOK$
Formation de Bicarbonates (pH < 9.2) $CaCO_3 + H_2CO_3 \rightarrow Ca(HCO_3)_2$

Après la 1^{er} carbonatation, environ 50 % de l'acide carbonique est sous forme de carbonate (CO_3^{2-}) alors qu'en 2^{ème} carbonatation seuls 2 % le sont. La concentration en CO_3^{2-} détermine la solubilité du carbonate de calcium en 2^{ème} carbonatation. Elle doit être suffisamment élevée pour permettre une décalcification correcte. Il doit rester suffisamment de contre ions alcalins avec le CO_3^{2-} car avec Ca^{2+} , il y a précipitation.

Avant d'être envoyé dans l'atelier de concentration, le jus épuré est généralement décalcifié et décoloré afin d'éviter l'entartrage des tubes de l'évaporateur.

- La décalcification consiste à faire passer le jus sur des résines échangeuses d'anions (Sodium contre calcium) suivant le schéma :



La régénération des résines a lieu selon trois protocoles possibles : le procédé à la saumure, le procédé à la soude, ou le procédé à l'égout pauvre de 2^{ème} jet (EP2).

- La décoloration a lieu sur le jus clair avant évaporation (JAE) par ajout de SO_2 qui joue le rôle d'inhibiteur de coloration par fixation sur les liaisons carbonyles des sucres réducteurs. Cette étape empêche la formation des colorants principaux : PDAH et mélanoidines.

Une légère dilution du jus de diffusion a lieu. Si on reprend l'analyse moyenne du jus de diffusion, on obtient :

Contenu du jus	Exprimé %
Matières Sèches (M.S.)	14,94
Non-sucre (N.S.)	1,08
Sucre	13,86
Eau	85,06
Total	100,00

A l'issue de cette seconde carbonatation , environ 1/3 des impuretés est éliminée, le jus a une pureté de 93 % environ.

$$Pureté = \frac{100 \times \text{sucre}}{\text{Matières sèches totales}}$$



Les évaporateurs

CHAPITRE IV:

L'ÉVAPORATION



Les évaporateurs

INTRODUCTION

L'atelier d'évaporation permet de concentrer le jus épuré ou jus avant évaporation (JAE) de 13 -14 % de M.S. jusqu'à obtenir un sirop à une concentration proche de la saturation, soit 68.5 g de M.S/ 100g . Le JAE est de couleur jaune paille et contient environ 1 % d'impuretés dissoutes.

L'évaporation a lieu dans un évaporateur multiple effet (4 à 6 chaudières), sous pression pour les 4-5 premiers et sous vide pour le dernier. Cet atelier représente le cœur de la sucrerie, puisque les quantités d'eau à éliminer sont si importantes que la vapeur produite permet de générer de l'énergie utile à la fois à l'évaporateur (auto- alimentation) mais aussi au fonctionnement de l'usine.

Seul le 1^{er} effet utilise de la vapeur vive produite dans une chaudière à fuel ou gaz et ramenée à 3 bars après passage dans un turbo alternateur qui génère l'électricité nécessaire à l'usine.

1. Théorie

Le facteur primordial dans le transfert de chaleur qui a lieu dans un évaporateur est la différence de température entre le milieu chauffant (généralement la vapeur d'eau) et le liquide chauffé. La température de ce dernier est influencée par la pression, l'élévation de son point d'ébullition ou encore la charge hydrostatique.

La quantité de chaleur transférée (Q) par unité de temps est donnée par la formule :

$$Q = K \times A \times \Delta\theta$$

Avec	K	Coefficient global d'échange (kJ/h.m ² .°C)
	A	Surface de l'échangeur (m ²)
	Δθ	Différence de température (milieu chauffant-liquide chauffé)

2. Choix des conditions d'évaporation

Contrôle de la pression :

La pression est abaissée d'effet en effet, le dernier étant sous vide, afin de limiter l'élévation du point d'ébullition du sirop et de compenser l'augmentation de la viscosité du sirop.

En effet, plus une solution est concentrée et plus le point d'ébullition est élevé. Par conséquent, au cours de l'évaporation multiple-effet, l'écart de température $\Delta\theta$ est réduit ainsi que le transfert de chaleur.

Ceci est compensé par le contrôle de l'écart de pression entre chacun des effets.

Contrôle du circuit des condensats :

Afin d'améliorer le rendement calorifique global de l'usine, la vapeur est prélevée dans chaque effet et redistribuée. Pour éviter tout risque de « coup de sucre » (sucre dans l'eau) dans la chaudière, une mesure en ligne de la conductivité permet de dévier l'eau si nécessaire et de préserver l'installation.

La sucrerie est une industrie auto-suffisante en eau et en énergie. L'eau provenant de la betterave est recyclée sous forme d'eau de presses en diffusion. L'eau condensée après évaporation est recyclée en chaudière vapeur.

De même les multiples prélèvements de vapeur de l'évaporation et de la cristallisation permettent les réchauffages des jus et autres produits à tous les stades de la fabrication.

La recherche sucrière a été très active dans le domaine des économies d'énergie. On est descendu à des niveaux de consommation de l'ordre de 17 kg vapeur/100kg de betterave et 3.1 kWh/ 100 kg de betteraves pour l'électricité.



Atelier de cristallisation

CHAPITRE V:

LA CRISTALLISATION



Les cristaux

INTRODUCTION

Cette étape est la phase ultime de purification du sucre. Elle permet de séparer les impuretés contenues dans le sirop. Cette opération est réalisée à l'inverse de l'épuration calco-carbonique, puisqu'on élimine le saccharose sous forme de cristaux alors que les impuretés restent concentrées dans le liquide pour donner en final une solution résiduelle épuisée : *la mélasse*.

A la fin de l'évaporation le sirop de sucre se trouve dans les conditions suivantes :

- Brix = 65 %
- Sucre = 60.5 %
- Pureté = 93 %

Dans ces conditions, le sucre ne peut pas cristalliser. Pour cristalliser, il faut atteindre une sursaturation nécessaire à l'apparition de germes cristallins et/ou à la croissance des cristaux existants.

I. Rappels théoriques

Solubilité

Le saccharose est très soluble dans l'eau. La solubilité se définit comme étant la quantité de saccharose qui peut être dissoute pour une unité de volume de solvant donnée (ici eau). La solubilité dépend de la température et de la pureté de la solution. Pour tenir compte de cette variation de solubilité on définit un coefficient de saturation « K_{sat} » qui est le rapport des solubilités en milieu impur et en milieu pur :

$$K_{sat} = \left[\frac{\left(\frac{m_s}{m_E} \right)_{impure}}{\left(\frac{m_s}{m_E} \right)_{pure}} \right]_T$$

Avec :
 m_s masse de saccharose
 m_E masse d'eau

Saturation, sursaturation

Une solution de sucre est dite *saturée* à une température donnée lorsque, mise en présence de cristaux de sucre, ces derniers ne se dissolvent pas, ni ne grossissent. En dessous de cette concentration en sucre, la solution est dite *sous-saturée*, les cristaux peuvent se dissoudre.

On peut dépasser la limite de solubilité soit en refroidissant la solution, soit en enlevant de l'eau par évaporation. Le sirop dense peut être amené à l'état de *sursaturation* selon 3 voies différentes (Figure 5). Dans cet état de sursaturation, on a du sucre potentiellement cristallisable.

On définit le coefficient de sursaturation « σ » par :

$$\sigma = \left[\frac{\left(\frac{m_s}{ME} \right)_{\text{sursaturée}}}{\left(\frac{m_s}{ME} \right)_{\text{saturée}}} \right]_{T,P}$$

La zone de sursaturation se compose de 3 domaines (Figure 5).

- Une zone métastable : la cristallisation a lieu uniquement en présence de cristaux de semence.
- Une zone intermédiaire (nucléation hétérogène et croissance).
- Une zone labile : la nucléation a lieu spontanément (nucléation primaire).

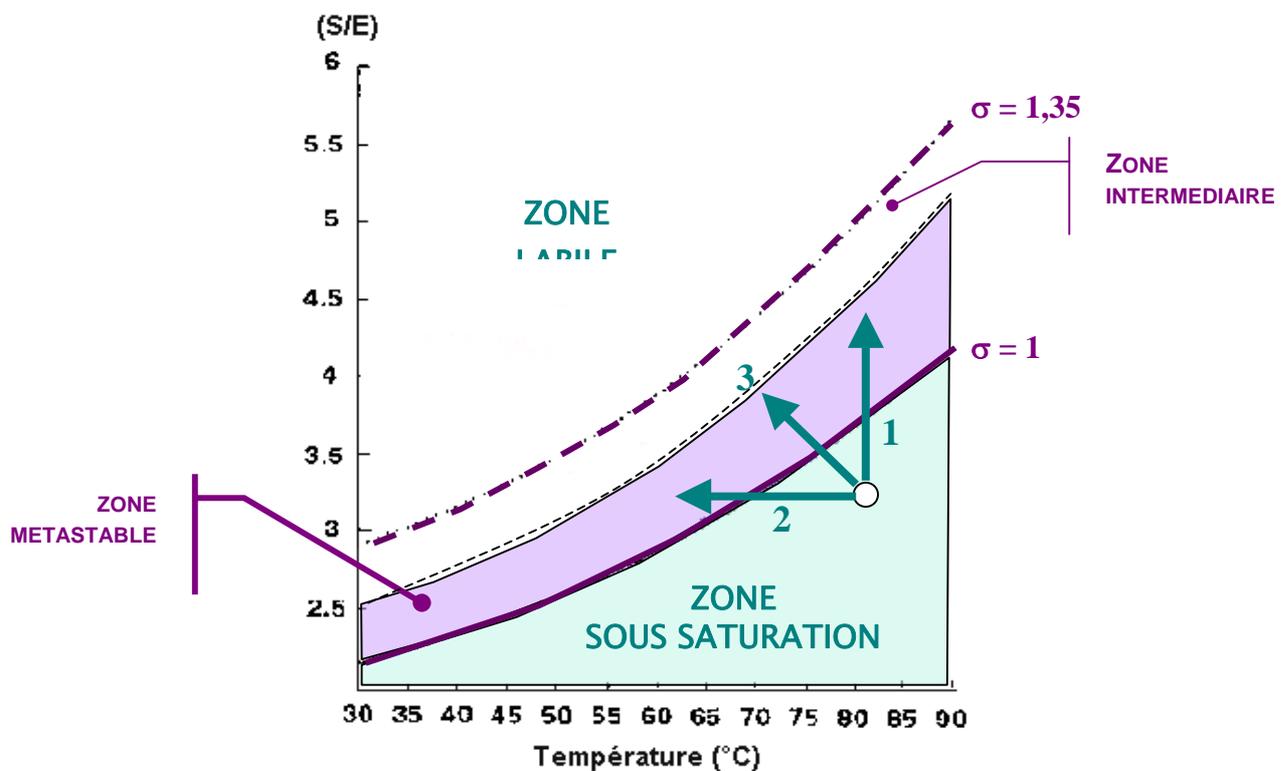


Figure 5: Courbe de solubilité du saccharose. Sursaturation atteinte par évaporation isotherme (1) ; par refroidissement (2) ou par évaporation adiabatique (3).

Nucléation et croissance

La cristallisation se compose de deux étapes :

- La nucléation (formation de noyaux ou germes cristallins)
- La croissance des cristaux déjà présents dans la solution.

La nucléation :

La formation d'agrégats de molécules de saccharose a lieu en solution bien avant l'apparition du germe cristallin. Le nombre minimum de molécules de saccharose nécessaire pour former l'unité de base pouvant rentrer dans une architecture de cristal est de six.

Sur le plan thermodynamique, la stabilité d'un noyau et son existence à l'état tridimensionnel nécessite le franchissement d'une barrière énergétique ΔG_c correspondant à la taille critique ($r_c = 20 \text{ \AA}$) soit environ 100 molécules.

La croissance des cristaux :

La croissance des cristaux après nucléation consiste à incorporer les molécules de saccharose à la surface du cristal. Cette phase est habituellement décrite comme un processus hétérogène qui se compose de deux phases.

- a) la phase de diffusion du sucre depuis la masse de la solution jusqu'à la surface du cristal, à travers une couche limite immobile entourant le cristal.
- b) la phase d'incorporation des molécules de saccharose dans le réseau du cristal.

II. Cristallisation en usine

La cristallisation en usine est généralement réalisée en trois étapes appelées « jets ». Si on procédait en une seule étape, cela donnerait des produits quasi- solides et impossibles à véhiculer et à séparer. En général on se limite à un rendement en cristaux de 55 % (% masse cuite) en 1^{er} jet et on réalise une cristallisation fractionnée en 3 jets (Figure 6). Chaque jet se constitue d'une phase de cristallisation, de malaxage et de centrifugation. On procède à l'affinage du sucre 3 (lavage à l'égout) pour réduire le recyclage de N.S. en 1^{er} jet.

Le sirop d'alimentation du 1^{er} jet est appelé « *liqueur standard* » ou (LS), il est le résultat du mélange de différents produits (Figure 6). Le sirop et les cristaux formés au cours de la cristallisation forment la « *masse-cuite* ». Le sirop entourant les cristaux prend le nom d'*eau mère* puisqu'il nourrit les cristaux.

Lors de l'essorage, l'eau mère entourant les cristaux devient « *égout pauvre* » ou (EP) et l'eau utilisée pour le clairçage (lavage) du sucre en centrifugeuse constitue « *l'égout riche* » ou (ER)

Figure 6 - la page suivante : Cristallisation en 3 jets

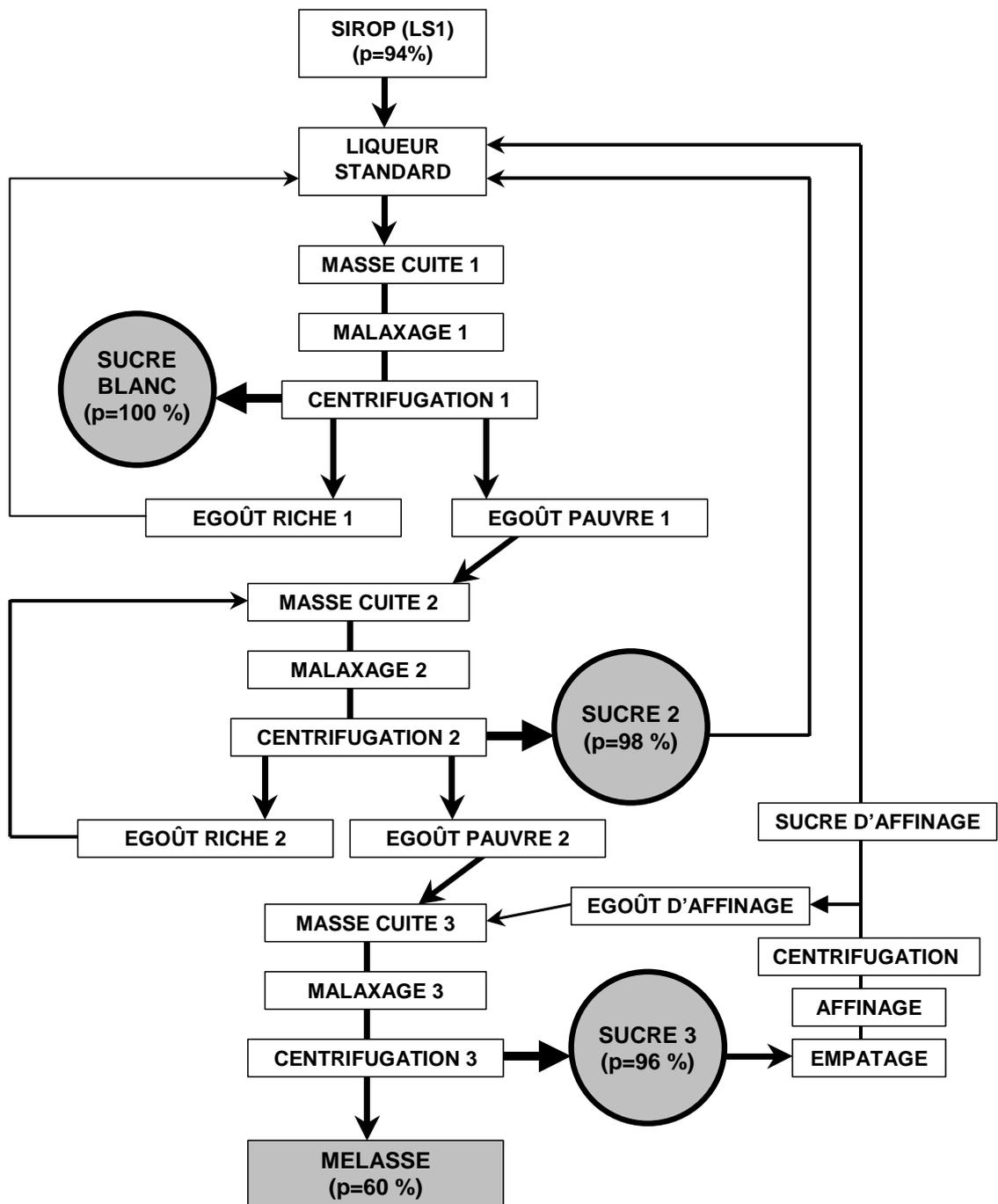


Figure 6 : Cristallisation en 3 jets

1. La cuisson

Phase de concentration :

Le sirop est concentré et agité dans de grandes chaudières dites « cuites » fonctionnant sous vide partiel. La concentration de la liqueur standard (pied de cuite) est réalisée par évaporation jusqu'à atteindre la zone métastable. Cette zone est variable selon le jet considéré. Pour le 1^{er} jet, la sursaturation est comprise entre 1,0 et 1,1 et entre 1,0 et 1,25 en deuxième et troisième jets.

Grainage :

Si l'on souhaite maîtriser la taille des cristaux obtenus, il est nécessaire de contrôler le nombre de cristaux formés. Ceci est réalisé par un ensemencement de fins cristaux dans le sirop sursaturé en zone métastable, il s'agit du « **grainage** ». En théorie, le nombre de cristaux de semence est le même que celui à la fin de la cristallisation. Les cristaux n'ont fait que grossir. Lorsque la sursaturation atteint 1,15, on provoque le grainage par introduction d'une quantité de sucre broyé bien calibré dispersés dans de l'alcool isopropylique. Ce grainage est suivi d'une période dite de maturation (maintien des conditions de sursaturation) qui dure 2 à 3 minutes afin de permettre la réorganisation de la masse cuite.

Montée de la cuite

A mesure que les cristaux grossissent dans la masse cuite, la sursaturation de l'eau mère diminue. Pour maintenir une sursaturation constante, on alimente en sirop tout en évaporant sous vide.

Le serrage

Lorsque la vitesse de cristallisation chute et que la chaudière est pleine, on procède à la phase de serrage de la cuite. L'alimentation en sirop est stoppée et l'évaporation d'eau est poursuivie. Cette phase finale de cuisson permet d'évaporer l'eau excédentaire et améliore le rendement en cristaux car il épuise l'eau mère.

Coulage et lavage de la cuite

Lorsque la cuite est vidangée, de l'eau chaude ou de la vapeur est pulvérisée sur les faisceaux de l'échangeur de chaleur afin de nettoyer l'appareil.

L'ensemble du cycle de la cristallisation dure entre 2h00 et 5h selon la taille des cristaux formés et la pureté de la masse cuite.

2. Le malaxage

La masse cuite dont la température avoisine 75 à 85 °C à la sortie de la cuite est déversée dans un bac de malaxage qui permet une agitation régulière. Durant cette période (30 min à 1h), la masse cuite refroidit et les cristaux achèvent leur grossissement. Une addition d'eau ou d'égout est effectuée pour dissoudre les fines qu'un refroidissement rapide risque de former.

3. La centrifugation

La masse-cuite est enfin alimentée dans des centrifugeuses ou turbines ayant différentes phases de fonctionnement :

- Remplissage de la turbine à faible vitesse de rotation (200 tr/min) afin d'obtenir une répartition homogène sur le tamis. Un palpeur détermine l'épaisseur maximale, soit 14 à 18 cm.
- Le turbinage s'accélère à 1500 tr/min afin d'évacuer l'eau mère entourant les cristaux (égout pauvre)

- Le clairçage par ajout d'eau chaude puis de vapeur permet de laver et enfin de sécher les cristaux, le sirop recueilli étant de grande pureté constitue l'égout riche.
- L'essoreuse termine son cycle par un freinage électrique puis mécanique à 200 t/min et le sucre tombe sur un tapis vibrant grâce à un racleur, sa teneur en eau est inférieure à 1 %.

III. Valorisation des mélasses

Le sucre cesse de cristalliser parce que la viscosité augmente lorsqu'on diminue la pureté. Cela empêche les molécules de se déplacer et de se déposer sur la surface du cristal. Par ailleurs chacun des composés chimiques dissous dans la mélasse va séquestrer une partie du sucre et l'empêcher de cristalliser. Ainsi, on a appelé effet mélassigène l'effet des non-sucre sur la solubilité du sucre.

La mélasse contient environ la moitié de son poids en sucre. Les principales utilisations sont :

- Production d'alcool. Après fermentation suivie d'une distillation, la mélasse laisse un ultime résidu : la vinasse, riche en azote, qui est utilisé comme fertilisant sur les terres agricoles ou pour l'alimentation du bétail après déshydratation.
- Pour la fabrication d'aliments pour le bétail. La mélasse contient des sels de potasse, diverses matières organiques et azotées, et en particulier la bétaine qui est un précieux élément pour rééquilibrer l'alimentation animale.
- Production de levures de boulangeries
- Pour diverses fermentations industrielles (production d'acide glutamique, d'acide citrique, d'antibiotiques, etc...)



Atelier de séchage

CHAPITRE VI:

LE SECHAGE



Atelier de séchage

Le Séchage

Le sucre cristallisé blanc est évacué du fond de la turbine sur un transporteur à secousses. Encore chaud (45- 60°C) et humide (1%), le sucre est séché par de l'air chaud dans des cylindres – séchoirs rotatifs ou en lits fluidisés, puis refroidi afin d'atteindre une teneur en eau comprise entre 0.03 et 0.06%.

1. le séchage en usine

Lorsque le sucre entre dans le sécheur, il est entouré d'une couche de sirop saturé (75 à 80 % de M.S ; et 99.2 % de pureté) qui est en équilibre avec l'atmosphère qui entoure le cristal. Les lois régissant cet équilibre sont parfaitement connues et évoluent selon l'isotherme de sorption du sucre cristallisé (figure 7).

Cette couche de sirop ne garantit pas la stabilité du sucre dans le temps, c'est pourquoi il convient d'éliminer une partie de l'eau qu'elle contient afin de stabiliser le sucre.

La qualité de l'air requise pour le séchage doit être la suivante : sec, chaud et filtré. On estime le volume d'air nécessaire au séchage à environ 1000 m³ par tonne de sucre.

Les sécheurs à tambour sont les plus souvent utilisés. Le sucre y circule à co-courant avec de l'air chaud à 50°C, puis à contre-courant avec de l'air froid et sec pour refroidir le sucre et obtenir un équilibre stable en humidité relative et température avec l'ambiance environnante.

2. qualité du sucre

A la sortie du sécheur, le sucre est libéré d'une grande partie de l'eau contenue dans le sirop qui l'entoure. Si le séchage est trop rapide, l'eau du sirop est éliminée de manière brutale provoquant la formation d'une couche sucre amorphe superficielle (figure 7). le sucre amorphe est un solide dont les molécules ne sont pas arrangées en structure tridimensionnelles ordonnées, mais sont disposées au hasard. Le sucre amorphe possède des propriétés physico-chimiques très différentes du sucre cristallisé. Il est dans un état métastable. Sa tendance à adsorber l'eau, même aux faibles activités de l'eau ($A_w = 0.20$) le prédispose à la prise en masse, l'agglomération et la perte d'écoulement. Le sucre amorphe possède la capacité de recristalliser en libérant de l'eau. Par ailleurs, la recristallisation du sucre amorphe se produit

d'autant plus rapidement que l' A_w est élevée (Figure 7). Cette particularité permet d'affirmer que la présence de sucre amorphe à la surface du cristal représente un danger pour la conservation du cristal de sucre et qu'il convient d'en limiter la formation en adaptant les paramètres du sécheur.

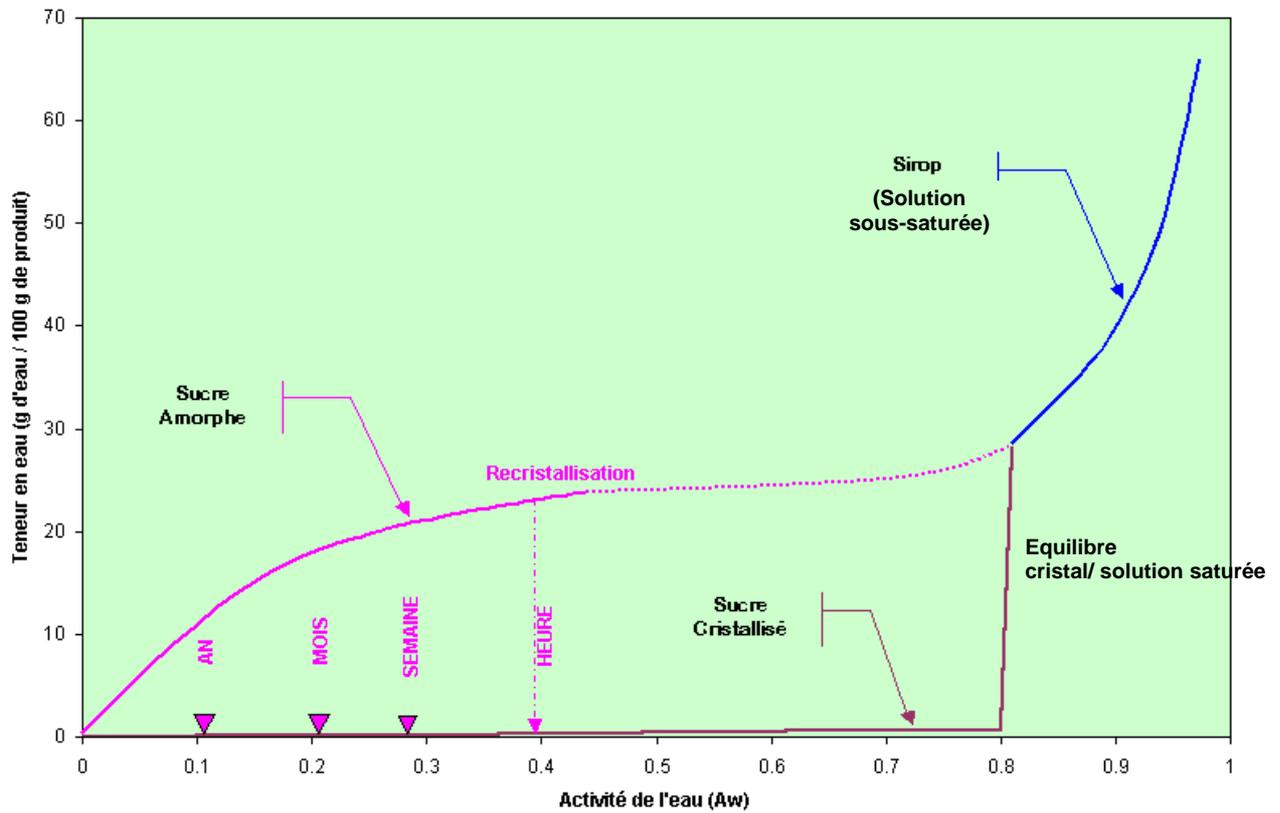


Figure 7: Isotherme de sorption de vapeur d'eau du sucre cristallisé et du sucre amorphe à 25 °C



Conditionnement en vrac

CHAPITRE VII : **CONDITIONNEMENT DU SUCRE**



Sucre en morceaux

Le sucre est ensuite tamisé, classé et pesé, puis dirigé vers l'atelier d'ensachage automatique ou vers de vastes silos où il est conservé en vrac.

I. Stockage

Le sucre prêt pour la mise en silo est en apparence sec et fluide. Au cours des premiers jours de stockage des réarrangements au niveau du cristal de sucre s'opèrent. Le cristal va incorporer les molécules de saccharose, contenues dans le sirop de surface et libérer de l'eau. Ce surplus d'eau étant éliminé par l'air insufflé dans les silos au cours d'une période dite, de « *maturation* »

Pour que le sucre conserve sa capacité d'écoulement sans prendre en masse, l'air choisi pour la période de maturation doit répondre à certaines conditions. Ces conditions peuvent être déterminées par l'intermédiaire des courbes de sorption de vapeur d'eau par le sucre, elles varient selon le type de sucre stocké.

Les débits d'air nécessaires varient entre 5000 et 6000 m³/h pour un silo de 10 000 tonnes.

II. Conditionnement en morceaux

Le conditionnement du sucre en morceaux est le résultat d'une succession d'étapes :

- Tamisage du sucre afin d'éliminer les grugeons
- Humidification du sucre à 2 % avec de l'eau chaude ou de la vapeur d'eau
- Moulage des morceaux
- Séchage des morceaux jusqu'à 0.3 % d'humidité sur un tapis (20 min à 70°C).
- Conditionnement en boîtes