

Préparée par Dr. Bouchefra Amina

Partie 2 - Extraction et raffinage du sucre de betterave

De la réception de la betterave au conditionnement du sucre



Il faut savoir que, depuis le 19^e siècle, les procédés de fabrication n'ont presque pas changé. L'extraction du sucre de betterave suit un parcours immuable. Le principe d'extraction du sucre consiste en une suite de procédés physiques : lavage, découpage, diffusion par osmose, chaulage, filtration, évaporation, cristallisation. Un fort degré de pureté doit être atteint pour que puisse intervenir la cristallisation, qui aboutit à la production de sucre « cristallisé ». On peut également trouver sur le marché des sucres « raffinés » de qualité supérieure.

1-Réception de la betterave

La récolte de la betterave commence fin septembre pour s'achever début décembre. L'arrachage est mécanique.

Une série de machines effeuillent, décollent, arrachent et chargent les betteraves dans les camions qui les transportent à la sucrerie. Le transport à la sucrerie doit s'effectuer rapidement.

La réception est l'opération qui consiste à déterminer la quantité de betteraves fournie par le planteur et sa richesse.



2-Stockage de la betterave

Le temps de stockage des betteraves est réduit au strict minimum afin de conserver leur richesse en sucre. Il existe 3 types de dégradation ayant une répercussion négative sur le rendement de l'usine : physique, chimique et microbiologique.

Pertes de sucre au cours du stockage

Le temps de séjour de la betterave arrachée a un impact considérable sur sa valeur quantitative et qualitative. L'effet combiné de ces deux phénomènes conduit à une perte en sucre et à une baisse de la qualité technologique de la betterave :



- Pertes en sucre : 45 kg par tonne de betteraves ;
- Sucres réducteurs du jus de pression : de 0,18 % à 1,47 % selon le lot ;

- Chute de pureté : 3 points ;
- Baisse du taux d'extraction : 6 points ;
- Prolifération des micro-organismes : de 40 millions initialement à 1020 millions après 5 jours, pour les levures et les moisissures, selon le lot de betterave.

À partir d'un certain moment, la betterave devient intraitable (jus de pression de pureté inférieure à 82, pH inférieur à 5, etc.).

3-Lavage de la betterave

Les betteraves sont envoyées dans des lavoirs afin de séparer la terre, les pierres, les herbes et tout autre corps étranger. Ces matières étrangères provoqueraient des difficultés de fonctionnement des machines, des fermentations et des usures.

Les eaux de lavage subissent un traitement antiseptique et une correction de pH. Pour la désinfection, l'eau de javel et/ou le chlore sont les plus utilisés. Les pertes de sucre dans le lavoir varient entre 0,10 et 0,15 %, en prenant toutes les précautions.

- Le pH de l'eau de lavage doit se situer entre 9,5 et 11 ;
- La densité de l'eau de transport doit se situer entre 1,005 et 1,015 ;
- L'appoint d'eau propre doit compenser les boues extraites du décanteur.



4- Extraction

1. Découpage

Les betteraves sont découpées mécaniquement en fines lanières appelées cossettes. La qualité de découpage doit être aussi nette que possible. Cette qualité est jugée par le nombre de Silin, mesuré par la longueur en mètres de 100 g de cossettes : on place les cossettes bout à bout et on calcule la longueur.

2. Diffusion

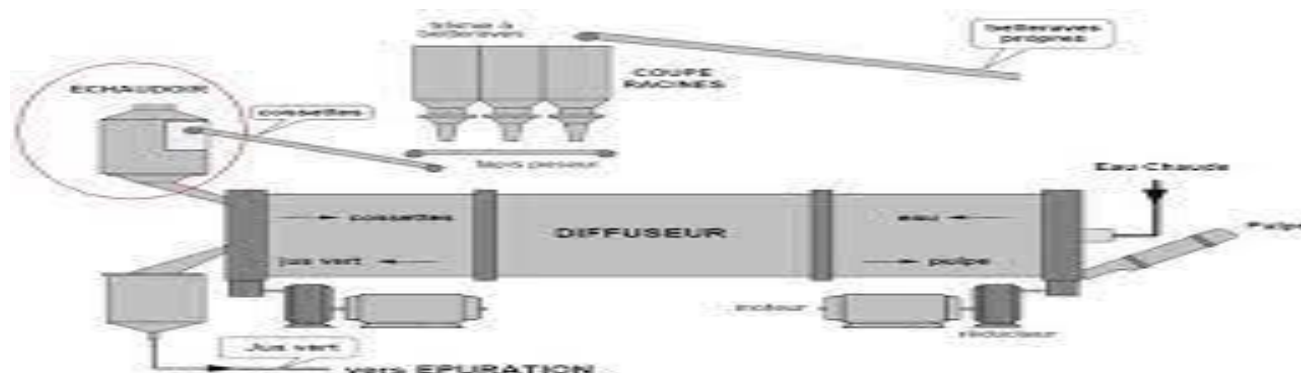
L'extraction du sucre à partir des cellules de betterave se fait par l'opération de transfert des composés solubles de la matière première vers un solvant, l'eau : il s'agit de la diffusion. Son but est d'extraire le maximum de sucre (« jus sucré ») tout en extrayant un minimum de non-sucres, notamment les matières azotées et les pectines.

Les cossettes circulent à contre-courant avec de l'eau chaude à 70-80 °C, afin de dénaturer la membrane ectoplasmique des cellules.

La matière sèche de la racine est d'environ 25 %. Ces matières sèches comprennent 17 % de paroi cellulaire insoluble, 73 % de sucre et 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.

Il existe quatre types de diffuseurs : horizontal à tube tournant, à tapis, à vis et à tour.

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. À l'intérieur, de multiples compartiments hélicoïdaux facilitent l'entraînement des cossettes et du liquide.



Le liquide suit un couloir hélicoïdal fait de tôles pleines. À chaque tour du cylindre, on déverse le contenu d'eau du couloir sur les cossettes déposées 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 matière sèche passe de 7 % à 25 %.

L'extraction du sucre par diffusion permet d'obtenir une solution diluée, de couleur noir grisâtre, opalescente, présentant environ :

- 15 % de matière sèche (ou 15 °Brix) ;
- pH = 6 ;
- 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 (MS)	15,48
Non sucres (NS)	1,62
Sucre	13,86
Eau	84,52
Total	100,00

Les impuretés, ou « non-sucres », sont gênantes pour la suite des opérations, car elles rendent difficile la purification et augmentent son coût. Elles augmentent aussi la perte de sucre dans la mélasse. 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.

L'eau utilisée pour l'extraction doit être libre de matériaux en suspension et avoir une faible alcalinité. Les matières organiques et non organiques solubles, contenues en grande quantité dans l'eau, seraient retenues dans le jus et rendraient difficile la purification.

Si l'eau est suffisamment alcaline pour neutraliser l'acidité naturelle du jus, des parties de tissu de la betterave seraient dissoutes, et un jus très foncé serait produit.

Valorisation des pulpes

À la sortie de la diffusion, les pulpes contiennent environ 92 % d'eau. Ces pulpes humides, de conservation médiocre, sont pressées pour extraire une partie de l'eau.

Elles prennent alors le nom de pulpes surpressées et contiennent entre 20 et 26 % de matières sèches. Pour assurer une bonne conservation, elles sont ensilées ou déshydratées.

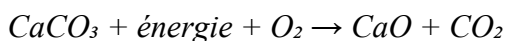
L'ensilage se fait par acidification naturelle, par fermentation des bactéries lactiques. La déshydratation est obtenue par séchage, avec un taux de matières sèches final d'environ 90 % ; ces pulpes sèches sont agglomérées en pellets, granulés de 8-10 mm de diamètre.

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

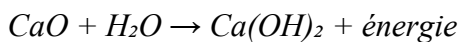
5-Épuration

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, en 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 pierre calcaire et de coke pour la combustion :



Cette réaction dépend de la température. On atteint une décomposition complète à 898 °C. Le lait de chaux est obtenu suivant la réaction :



Traitement à la chaux

Le chaulage a lieu en deux temps, préchaulage et chaulage massif, 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 :

Étape 1 : précipitation sélective des impuretés telles que les acides citrique, oxalique, malique, le sucre inverti, les matières azotées, etc., ainsi que les cations divalents et trivalents ou encore les anions sulfates ou phosphates, à la pression de 1013 hPa. Elle est essentiellement due à la précipitation de l'ion calcium sous forme de sels insolubles. L'ion OH^- participe également à la précipitation de certains minéraux en formant des hydroxydes.

Étape 2 : coagulation-floculation des protéines, saponines, colorants polyphénoliques, etc. La conception compartimentée du préchauleur permet de garantir cette alcalinité progressive.

Les paramètres du préchaulage sont les suivants :

- Alcalinité finale : 2,5 g CaO/L ;
- Température : 70-75 °C (certains procédés à 40-45 °C) ;
- pH final : 11,5 ;
- Temps de séjour : 10 à 15 min minimum.

Le préchauffage correspond à environ 1/5 de l'ajout total en chaux.

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.

Il assure les réactions de dégradation des substances azotées et des sucres réducteurs.

1ère 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 CaCO_3 .

Sur les cristaux de carbonate naissants vont s'adsorber, 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. Le pH de la 1ère carbonatation ne devrait pas descendre en dessous de celui du préchauffage.

2. Filtration ou sédimentation

La filtration a pour but :

- D'obtenir un jus clair de 1ère 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 », 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 épaississeurs, sous l'effet de la pesanteur (on ajoute des flocculants pour améliorer la précipitation).

2ème carbonatation - filtration

Après le 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).

Le pH final est d'environ 9,2, pour une alcalinité de 0,15 g CaO/L. Après la 1ère carbonatation, environ 50 % de l'acide carbonique est sous forme de carbonate, alors qu'en 2ème carbonatation, seuls 2 % le sont.

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.

6-Décalcification - Décoloration

La décalcification consiste à faire passer le jus sur des résines échangeuses d'anions (sodium contre calcium).

La décoloration a lieu sur le jus clair, avant évaporation, par ajout de SO₂, qui joue le rôle d'inhibiteur de coloration par fixation sur les liaisons carbonyles des sucres réducteurs. Cette étape empêche la formation des colorants. Une légère dilution du jus de diffusion a lieu.

Pureté = 100 × (sucre / matières sèches totales).

7-Évaporation

L'atelier d'évaporation permet de concentrer le jus épuré, ou jus avant évaporation (JAE), de 13-14 % de matière sèche jusqu'à obtenir un sirop à une concentration proche de la saturation, soit 68,5 g de matière sèche pour 100 g.

Le JAE est de couleur jaune paille et contient environ 1 % d'impuretés dissoutes.

L'évaporation a lieu dans un évaporateur à effets multiples (4 à 6 chaudières), sous pression pour les 4-5 premiers effets et sous vide pour le dernier. Cet atelier représente le cœur de la sucrerie.

8-Cristallisation

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, tandis que les impuretés restent concentrées dans le liquide, pour donner en final une solution résiduelle épuisée : la mélasse.

À 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.

La cristallisation en usine est généralement réalisée en trois étapes, appelées « jets ». Chaque jet se constitue d'une phase de cristallisation, de malaxage et de centrifugation.

Terme	Définition
Liqueur standard (LS)	Le sirop d'alimentation du 1er jet, résultat du mélange de différents produits.
Masse cuite	Le sirop et les cristaux formés au cours de la cristallisation.
Eau mère	Le sirop entourant les cristaux, puisqu'il nourrit les cristaux.
Égout pauvre (EP)	Lors de l'essorage, l'eau mère entourant les cristaux.
Égout riche (ER)	L'eau utilisée pour le clairçage (lavage) du sucre en centrifugeuse.

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 phase métastable. Cette zone est variable selon le jet considéré : pour le 1er jet, la sursaturation est comprise entre 1,0 et 1,1 ; entre 1,0 et 1,25 pour les 2ème et 3ème jets.

-Grainage

Ceci est réalisé par un ensemencement de fins cristaux dans le sirop sursaturé en zone métastable. Lorsque la sursaturation atteint 1,15, on provoque le grainage par introduction d'une quantité de sucre broyé, bien calibrée, dispersée 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 min, afin de permettre la réorganisation de la masse cuite.

-Montée de la cuite

À 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 d'améliorer le rendement en cristaux.

-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 2 h et 5 h, selon la taille des cristaux formés et la pureté de la masse cuite.

2. 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 1 h), la masse cuite refroidit et les cristaux achèvent leur grossissement. Une addition d'eau ou d'égout est effectuée pour dissoudre les fins cristaux qu'un refroidissement rapide risquerait 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, de grande pureté, constitue l'égout riche ;
- L'essoreuse termine son cycle par un freinage électrique puis mécanique à 200 tr/min, et le sucre tombe sur un tapis vibrant grâce à un racleur ; sa teneur en eau est alors inférieure à 1 %.

9-Séchage

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 %.

La qualité de l'air requise pour le séchage doit être la suivante : sec, chaud et filtré.

À 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 de sucre amorphe superficielle.

Le sucre amorphe est un solide dont les molécules ne sont pas arrangées en structure tridimensionnelle ordonnée, mais disposées au hasard. Il est dans un état métastable.

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'activité de l'eau (A_w) est élevée. Cette particularité permet d'affirmer que la présence de sucre amorphe à la surface du cristal représente un danger pour sa conservation.

10-Conditionnement

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.

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

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.

Raffinage du sucre

Le sucre issu directement de la cristallisation en sucrerie (sucre roux ou sucre brut) n'est, dans la plupart des cas, pas directement commercialisable sous forme de sucre blanc de consommation courante : il doit subir une transformation complémentaire, réalisée dans une usine spécialisée appelée raffinerie, qui élimine les dernières impuretés et la coloration résiduelle afin d'obtenir un sucre blanc pur, conforme aux normes commerciales internationales.

1. Définition du sucre roux

Le sucre roux (ou sucre brut), obtenu en sortie de sucrerie après la première série de cristallisations (voir chapitre précédent sur la cristallisation), est un sucre cristallisé dont chaque cristal reste enrobé d'un fin film de mélasse adhérente, non totalement éliminé lors de l'essorage en centrifugeuse. C'est cette pellicule de mélasse résiduelle qui confère au sucre roux sa couleur brune ou ambrée caractéristique, ainsi qu'un léger goût de mélasse.

Le sucre roux présente une pureté saccharimétrique déjà élevée (généralement 96 à 99 % de saccharose), mais reste impropre, en l'état, aux usages exigeant un sucre blanc pur : sa coloration (exprimée en unités ICUMSA) est en effet très supérieure à celle admise pour le sucre blanc, et sa teneur en cendres, en sucres réducteurs et en humidité dépasse les tolérances fixées pour ce dernier.

Paramètre	Sucre roux (brut)	Sucre blanc raffiné
Teneur en saccharose	96 – 99 %	≥ 99,7 %
Couleur (unités ICUMSA)	800 à 1500 UI, voire plus	< 45 UI
Cendres conductimétriques	0,3 à 0,6 %	≤ 0,03 %
Humidité	0,3 à 1 %	≤ 0,06 %

Le sucre roux constitue ainsi la matière première par excellence des raffineries, qu'il soit produit localement (sucreries de canne intégrées à une raffinerie) ou importé par voie maritime depuis les grands bassins de production (Brésil, Caraïbes, océan Indien, Asie du Sud-Est), sous forme de vrac transporté en cale de vraquiers spécialisés.

2. Le raffinage : principe général

Le raffinage regroupe l'ensemble des opérations qui transforment le sucre roux en sucre blanc de qualité alimentaire. Il repose sur un enchaînement d'étapes physico-chimiques dont le principe rappelle, dans ses grandes lignes, celui de l'épuration du jus en sucrerie (voir chapitre sur l'extraction),

mais appliqué cette fois directement à une solution concentrée de sucre déjà cristallisé, et non à un jus végétal brut :

Affinage du sucre roux → refonte (dissolution) → clarification (défécation) → décoloration → filtration → concentration par évaporation → cristallisation → centrifugation → séchage → conditionnement.

Cette succession d'opérations vise trois objectifs conjoints : éliminer la pellicule de mélasse et les impuretés organiques et minérales encore présentes ; décolorer la liqueur sucrée jusqu'au niveau de blancheur requis par les normes commerciales ; et recristalliser le saccharose sous une forme pure, calibrée et stable à la conservation.

3. Refonte et clarification

3.1. L'affinage (affination)

La première étape du raffinage consiste à débarrasser les cristaux de sucre roux de leur pellicule superficielle de mélasse, sans dissoudre le cœur du cristal. Pour cela, le sucre roux est malaxé avec un sirop chaud déjà saturé en sucre (appelé « magma » ou « liqueur d'affinage »), qui ramollit et dissout sélectivement le film de mélasse en surface sans attaquer significativement le cristal lui-même (le sirop d'affinage étant déjà proche de la saturation, il ne peut dissoudre davantage de sucre en profondeur).

Le mélange est ensuite essoré en centrifugeuse : on sépare ainsi le sucre affiné (cristaux débarrassés de l'essentiel de leur pellicule colorée) du sirop d'affinage, qui s'est chargé des impuretés et de la coloration retirées à la surface des cristaux. Ce sirop d'affinage, encore riche en sucre, est recyclé en amont du procédé ou traité séparément pour en récupérer le sucre valorisable.

3.2. La refonte

Le sucre affiné est ensuite entièrement dissous dans de l'eau chaude (ou dans des eaux de process recyclées), afin d'obtenir une solution homogène appelée liqueur brute ou liqueur de refonte, à une concentration standardisée (généralement 60 à 65° Brix). Cette étape, appelée refonte, permet de traiter le sucre non plus sous forme solide mais sous forme liquide, condition nécessaire à l'application des traitements de clarification et de décoloration qui suivent.

3.3. La clarification

La liqueur de refonte contient encore des impuretés colloïdales et des matières colorantes qu'il faut éliminer avant la décoloration proprement dite. Deux procédés principaux sont utilisés, selon les raffineries :

La carbonatation

Procédé proche de celui appliqué en sucrerie de betterave (voir chapitre sur l'épuration) : addition de lait de chaux à la liqueur, puis insufflation de dioxyde de carbone, qui précipite un carbonate de calcium finement divisé entraînant par adsorption une partie des impuretés colloïdales et colorantes ; le précipité est ensuite éliminé par filtration.

La phosphatation (ou défécation phosphocalcique)

Procédé plus répandu dans les raffineries de canne : addition à la liqueur chaude d'acide phosphorique et de lait de chaux, qui forment un précipité de phosphate tricalcique. Ce précipité, très fin et gélatineux, adsorbe efficacement les colloïdes, les matières colorantes et une partie des cires et graisses résiduelles ; il est ensuite séparé par flottation, sous insufflation de fines bulles d'air qui entraînent le

floc en surface sous forme d'écume, laquelle est raclée en continu, tandis que la liqueur clarifiée est soutirée par le bas du bac de flottation.

Dans les deux cas, la liqueur clarifiée obtenue est ensuite filtrée (filtres-presses ou filtres à bougies) afin d'éliminer les dernières particules fines en suspension, avant l'étape de décoloration proprement dite (souvent réalisée sur charbon actif ou résines échangeuses d'ions, qui parachèvent l'élimination des composés colorés restants et abaissent la couleur de la liqueur au niveau requis pour le sucre blanc).

4. Concentration et cristallisation

4.1. La concentration par évaporation

La liqueur clarifiée et décolorée, encore relativement diluée, est concentrée par évaporation sous vide à effets multiples (principe identique à celui décrit pour la sucrerie), jusqu'à l'obtention d'un sirop proche de la saturation, préalable indispensable à la cristallisation du saccharose.

4.2. La cristallisation

Comme en sucrerie, la cristallisation du sucre raffiné s'effectue par cuisson sous vide partiel dans des appareils à cuire (chaudières à cuite), selon le principe de la sursaturation contrôlée : concentration du sirop jusqu'en zone métastable, grainage par ensemencement de fins cristaux calibrés, puis croissance progressive des cristaux par apport continu de liqueur sursaturée, jusqu'à l'obtention d'une masse cuite constituée de cristaux de sucre raffiné baignant dans une eau mère (liqueur mère).

Le raffinage procède généralement, comme la sucrerie, par une succession de plusieurs jets (cuites successives) : le premier jet, réalisé à partir de la liqueur la plus pure, donne le sucre blanc raffiné destiné à la consommation directe ; les jets suivants, réalisés à partir des liqueurs mères de plus en plus appauvries en pureté, donnent des sucres de qualité décroissante, réintroduits en amont du procédé (refonte) ou destinés à des usages moins exigeants, jusqu'à l'obtention d'une mélasse de raffinerie finale, non cristallisable, valorisée en alimentation animale ou en distillerie.

4.3. La centrifugation

La masse cuite est ensuite essorée en centrifugeuse (turbine), qui sépare les cristaux de sucre raffiné de la liqueur mère résiduelle ; un clairçage à l'eau chaude ou à la vapeur, en fin de cycle de centrifugation, parachève le lavage des cristaux et garantit l'obtention d'un sucre blanc de haute pureté, pratiquement dénué de coloration résiduelle.

5. Conditionnement

Le sucre raffiné humide sortant des centrifugeuses est séché par un courant d'air chaud (cylindres-séchoirs rotatifs ou lits fluidisés), puis refroidi, afin d'atteindre l'humidité finale requise pour une bonne conservation (de l'ordre de 0,03 à 0,06 %), selon un principe identique à celui décrit pour le sucre de sucrerie (voir chapitre précédent).

Après séchage, le sucre raffiné est tamisé (élimination des agglomérats ou « grugeons ») et calibration granulométrique selon l'usage commercial visé), puis dirigé vers les lignes de conditionnement final :

- Le sucre semoule (cristaux fins), conditionné en sachets, paquets ou grands sacs, pour la consommation domestique et industrielle ;
- Le sucre en morceaux, obtenu par humidification contrôlée du sucre semoule, moulage sous presse, séchage des morceaux puis conditionnement en boîtes ou étuis ;
- Le sucre glace (ou sucre en poudre), obtenu par broyage fin du sucre cristallisé, souvent additionné d'un faible pourcentage d'amidon anti-agglomérant ;

- Le sucre en vrac, stocké en silos et destiné aux industries agroalimentaires utilisatrices (confiserie, boissons, biscuiterie), transporté par camions ou wagons-citernes spécialisés.

Quel que soit le format retenu, le maintien d'une hygrométrie ambiante contrôlée au cours du stockage (silos ventilés à air sec) reste indispensable pour éviter la reprise d'humidité et la formation d'agglomérats, le sucre raffiné étant, en raison même de sa pureté, particulièrement sensible aux variations hygrométriques de son environnement de stockage.

