



Extraction et raffinage du sucre de betterave

Il faut savoir que depuis le 19ème 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.

❖ RÉCEPTION DE 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 des betteraves fournies par le planteur et leurs richesses.



❖ STOCKAGE DE LA BETTRAVE

- Le temps de stockage des betteraves est réduit au strict minimum afin de conserver leur richesse en sucre. Il existe 3 types de dégradation avec 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 une baisse de la qualité technologique de la betterave:



- Pertes en sucre : 45 Kg / T 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 initial à 1020 millions après 5 jours pour les levures et les moisissures suivant le lot de betterave.
- A partir d'un certain moment la betterave devient intraitable (jus de pression Pureté inférieure à 82, pH inférieur à 5 etc. ...).
-

❖ LAVAGE DE LA BETTRAVE

- Les betteraves sont envoyées dans des lavoirs afin de séparer la terre, les pierres et les herbes et tout autre corps étrangers. 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 à 1,015
 - - L'appoint d'eau propre doit compenser les boues extraites du décanteur.



- **EXTRACTION**

- ***1-DECOUPAGE***

- -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 SILINE, mesuré par la longueur en mètres de 100g de cossettes: placer les cossettes bout à bout et calculer la longueur.

2-DIFFUSION

-L'extraction du sucre à partir des cellules de betteraves 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.

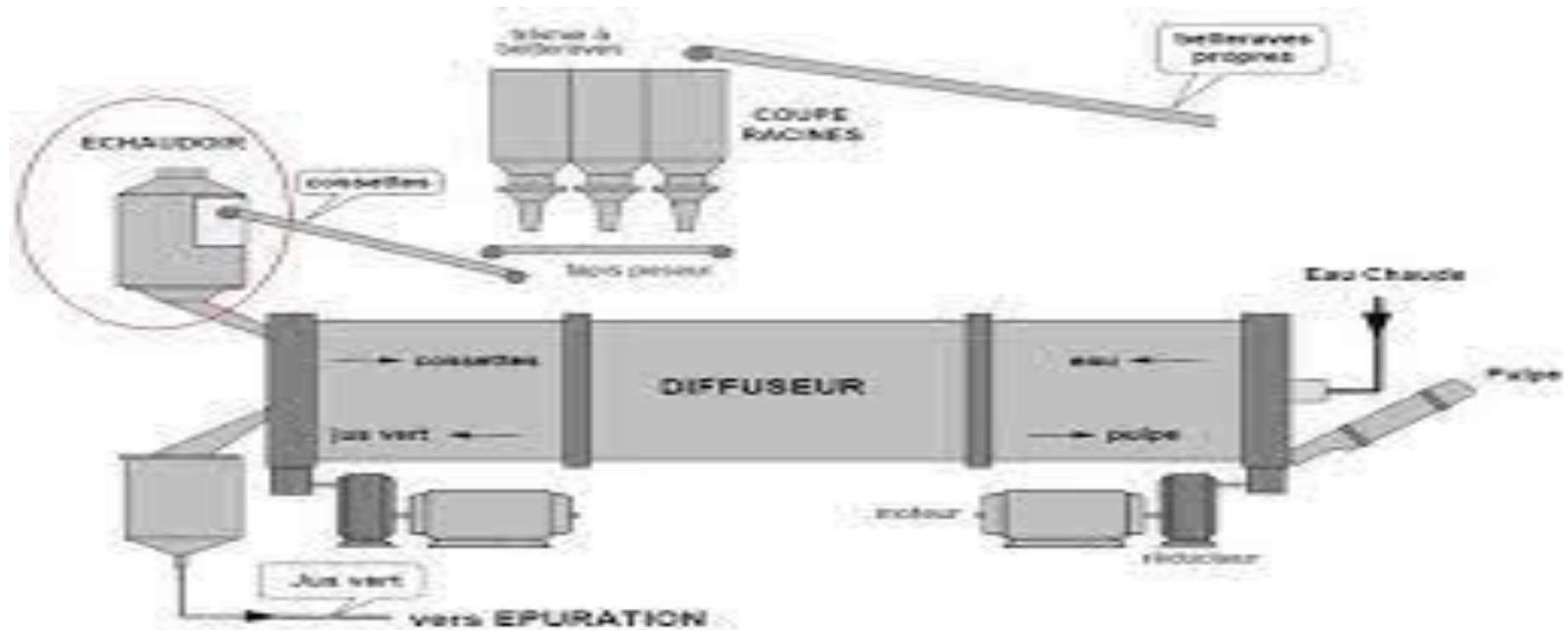
Son but est d'extraire le maximum de sucre « jus sucré » tout en extrayant un minimum de non sucres, notamment les matières azotées et les pectines.

-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; 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, opalescent à environ :

-15 % MS. (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 » vont être gênantes pour la suite des opérations, car ils rendent difficile la purification et augmentent son coût. Ils 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 seront retenues dans le jus et rendront difficile la purification.

Si l'eau est suffisamment alcaline pour neutraliser l'acidité naturelle du jus, des parties de tissu de la betterave seront dissoutes, et un jus très foncé sera 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 le nom de pulpes sur-pressées 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.

- **EPURATION**

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 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* 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:

Etape1 : Précipitation sélective des impuretés telles que (les acides citrique, oxalique, malique, sucre inverti, matières azotées, etc.).

les cations +2 et +3 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.

Etape2 : Coagulation-Floculation des protéines, saponines ou colorants polyphénoliques, etc.

La conception compartimentée du préchauteur 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 préchaulage correspond à environ 1/5 de l'ajout total en chaux.

2-Le chaulage massif

Après le préchaulage, 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:

- des substances azotées
- 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 CaCO₃.

Sur les cristaux de carbonate naissants 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.

Le pH de 1ère carbonatation ne devrait pas descendre en dessous de celui de préchaulage.

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 précipités 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).

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 0,15gCaO/L.

Après la 1ère carbonatation, environ 50% de l'acide carbonique est sous forme de carbonate alors qu'en 2ème seuls 2% le sont.

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

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 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.

Une légère dilution du jus de diffusion a lieu.

***Pureté = $100 \times (\text{sucres} / \text{matières sèches totales})$.**

- **EVAPORATION**

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

- **CRISTALISATION**

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.

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.

« liqueur standard » ou « LS » Le sirop d'alimentation du 1er jet, il est le 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 » ou « EP » Lors de l'essorage l'eau mère entourant les cristaux.

« égout riche » ou « 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 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: Ceci est réalisé par unensemencement 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 calibré dispersé dans de l'alcool isopropylique.

Ce grainage est suivi d'une période dite de maturation (maintien des conditions de sursaturation) qui dure 2 à 3min 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 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 2h et 5h 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 1h), la masse cuite refroidit et les cristaux achèvent leur grossissement. Une addition d'eau ou d'égout est effectuée pour dissoudre les fines cristaux 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 200t/min et le sucre tombe sur un tapis vibrant grâce à un racleur, sa teneur est inférieure à 1%.

- **SECHAGE**

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 sont disposés 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' 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.

- **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 sèche 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 ».

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 (20min à 70°C) ;
- Conditionnement en boîtes.

