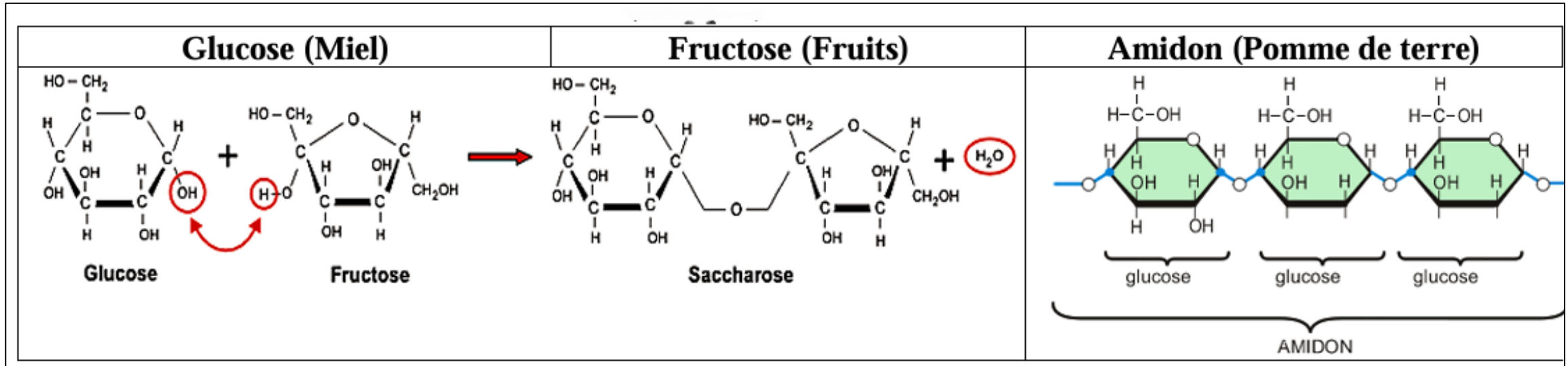




Chapitre 6: Industrie sucrière

1. Généralité sur les sucres (Rappel)



➤ Les sources de sucre

La betterave sucrière et la canne à sucre (saccharose), les pommes de terre (amidon), les carottes (saccharose mais en petite quantité), le miel (le glucose), les fruits (le fructose), le lait (le lactose).



Dans tout le cours nous nous sommes intéressés au saccharose.

- ✓ Le saccharose (également nommé saccarose, sucre de table ou sucre blanc) est un sucre au goût doux et agréable, très largement utilisé pour l'alimentation.
- ✓ Il est extrait de certaines plantes, principalement de **la canne à sucre** et de **la betterave sucrière**, et il est produit sous forme de petits cristaux blancs.
- **La masse molaire du saccharose** 342,29g/mol, **sa formule brute** C₁₂H₂₂O₁₁
- **Le point de fusion de saccharose** est 186°C et cette valeur varie de 182°C à 192°C selon la pureté de l'échantillon.
- **La solubilité du saccharose dans l'eau**

La solubilité (en g par g d'eau) du saccharose dans l'eau augmente en fonction de la température.

Exemples :

Température (°C)	0	10	20	30	40
Solubilité (g de saccharose par g d'eau)	1,81	1,86	2,00	2,15	2,34

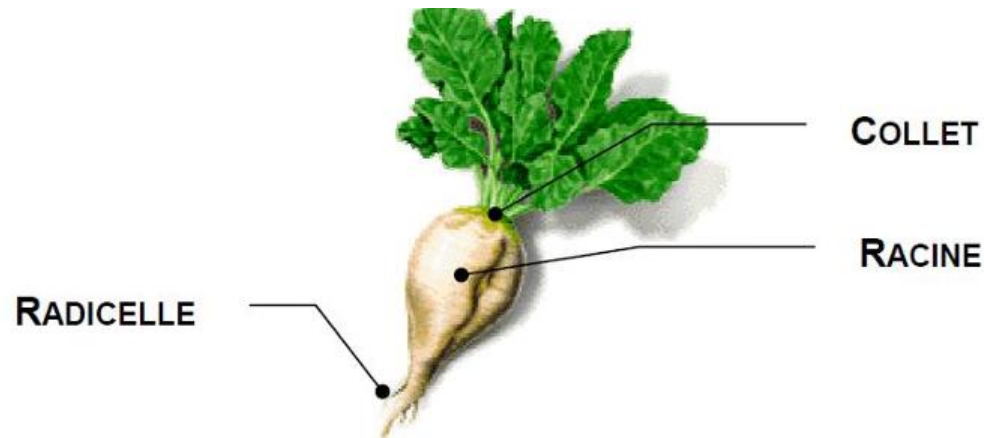
2. Transformation de la betterave en saccharose

2.1. Culture de la betterave sucrière

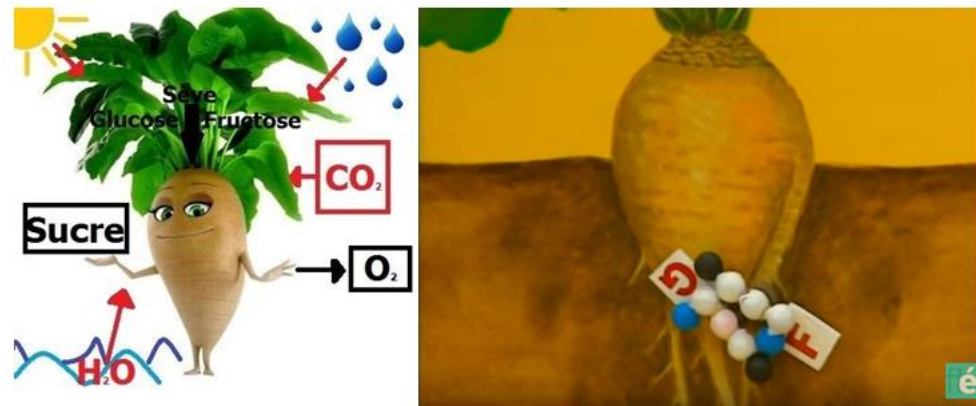
Production : La France est le 1er producteur mondial de sucre de betterave. Récolte saisonnière de **septembre à décembre**, avec un traitement industriel continu **24h/24** (≈ 40 000 t/jour).

•**Cycle de culture :** La betterave sucrière (*Beta vulgaris*) est semée de **mars à mai** et récoltée après **8–9 mois**, lorsqu'elle a accumulé assez de sucre.

•**Récolte :** L'arrachage mécanique coupe les feuilles et collet, secoue les racines pour enlever la terre, puis le tout est stocké en **silos au bord des champs**.



- **Urgence de transformation** : La betterave doit être traitée rapidement car elle perd ≈ 200 g de sucre/tonne/jour après récolte.
- **Rendement et soleil** : Plus l'ensoleillement est élevé, plus la production de sucre est importante grâce à la **photosynthèse**.
- **Formation du saccharose** :
 - Jour : production de **glucose** et stockage d'énergie.
 - Nuit : transformation en **fructose**.
 - Aube : glucose + fructose $\rightarrow$ **saccharose**, stocké ensuite dans les racines.



2.2. Réception de la betterave

Le camion chargé est pesé à l'arrivée (poids brut) puis à vide (poids net).

- Le paiement des betteraves dépend :
 - Du **poids marchand** (poids réel après déduction de la terre, cailloux, collets...).
 - De leur **teneur en sucre**.
- Un **échantillon de 150 à 200 kg** est prélevé à la réception pour analyser la **tarre-terre** et mesurer la **richesse en sucre**.

2.3. Lavage

Les betteraves sont envoyées par **bande transporteuse** ou voie **hydraulique** vers le lavoir afin d'éliminer les pierres, les herbes, les radicules et les feuilles (élimination de la terre → séparation par densité → récupération des radicules). Les herbes récupérées sont séchées pour **l'alimentation de bétails**.



2.4. Extraction du sucre

a. Découpage

- Les betteraves sont découpées en fines lanières appelées **cossettes**.
- La qualité du découpage est évaluée par le **nombre de silines** (une siline= longueur en mètres de 100 g de cossettes placées bout à bout).

b. Diffusion

- **Dénaturation des membranes** : Les cossettes sont chauffées à **70–80 °C**, les membranes deviennent perméables ; les parois s'ouvrent et laissent sortir les molécules solubles.
- L'extraction se fait dans un **diffuseur** (≈ 60 m de long, > 6 m de diamètre) où cossettes et eau chaude circulent **à contre-courant**.
- **Diffusion du saccharose** : le sucre migre naturellement de la cellule (**forte concentration**) vers l'eau du diffuseur (**faible concentration**).

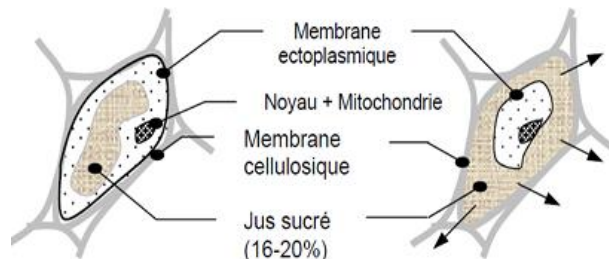


Figure 4 : Schéma d'une cellule de betterave avant et après chauffage.



- **Extraction progressive** : l'eau s'enrichit en sucre et autres composés solubles jusqu'à atteindre un quasi-équilibre.

- À la sortie :

- un **jus brut** sombre (noir-grisâtre),
- des **pulpes** pressées, fermentées puis séchées pour l'alimentation animale.

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



2.5. L'épuration

L'épuration comprend plusieurs étapes:

a. Chaulage : ajout de **lait de chaux** pour éliminer les matières végétales, sels minéraux, protéines et colorants → **Précipitation** des impuretés + **coagulation** des protéines.

Il existe de 2 types de chaulage:

- **Préchaufage** : **Alcalinisation progressive** du jus pour **précipiter impuretés** (acides, minéraux, sulfates) et coaguler protéines et colorants. Conditions : **70–75°C**, **pH ≈ 11,5**, **1/5** de la chaux totale.
- **Chaulage massif** : Ajout de **chaux** à **85°C** pour porter l'alcalinité à **10–15 g CaO/L** et **dégrader** les substances azotées et les sucres réducteurs.

b. Première carbonatation : CO_2 ajouté pour éliminer l'excès de chaux (par précipitation sous forme de CaCO_3) en plus des colorants .

c. Première filtration : séparation du jus et des impuretés (tourteaux, valorisés en agriculture) → Jus Clair 1 (JC1).

d. Deuxième carbonatation & filtration : élimination des restes de chaux (précipiter la chaux encore présente dans le jus) à 95°C , pH final $\approx 9,2$.

e. Décalcification & Décoloration : Résines échangeuses d'ions retirent le calcium pour éviter l'entartrage, SO_2 pour empêcher la formation de colorants. Jus épuré prêt pour l'évaporation.

➤ **Analyse finale du jus :** permet d'obtenir les résultats suivants.

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



Tourteau

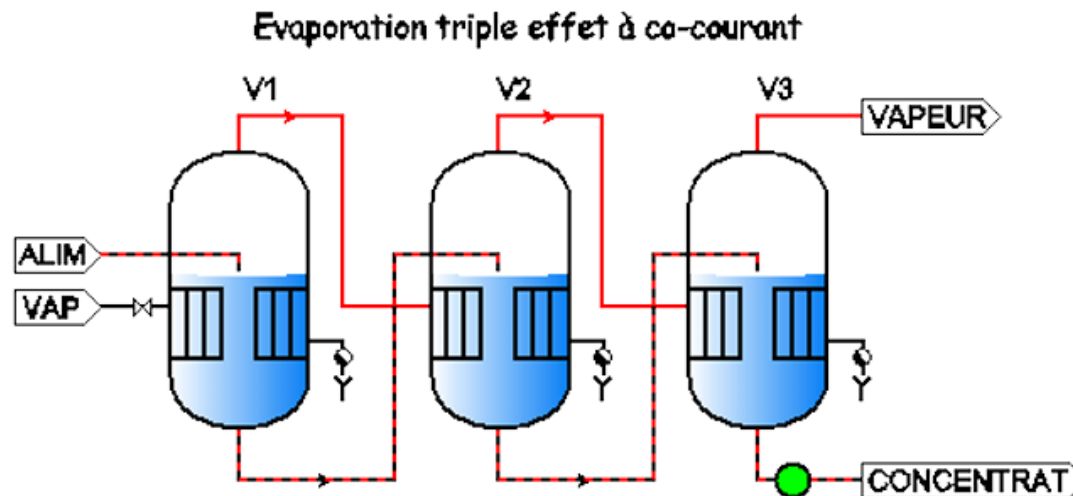


Jus après
Carbonisation

2.6. L'évaporation

- Permet de **concentrer le jus épuré** ou jus avant évaporation (**JAE**) de 13–14 % de MS jusqu'à un **sirop** à une concentration **proche de la saturation** ($\approx 68,5$ g MS/100 g).
- **Couleur du JAE** : jaune paille, contenant ≈ 1 % d'impuretés dissoutes.
- L'évaporation est réalisée dans un **évaporateur à effets multiples** (4 à 6 chaudières), sous pression pour les 4-5 premiers et sous vide pour le dernier.
- **Rôle clé** : cet atelier représente le **cœur de la sucrerie**.

▪ Exemple :



Sirop de saccharose

2.7. La cristallisation

Phase finale de purification : **séparation du sucre des impuretés.**

- **Principe** : le **saccharose cristallise**, les impuretés restent dans le liquide → formation de **mélasse**.

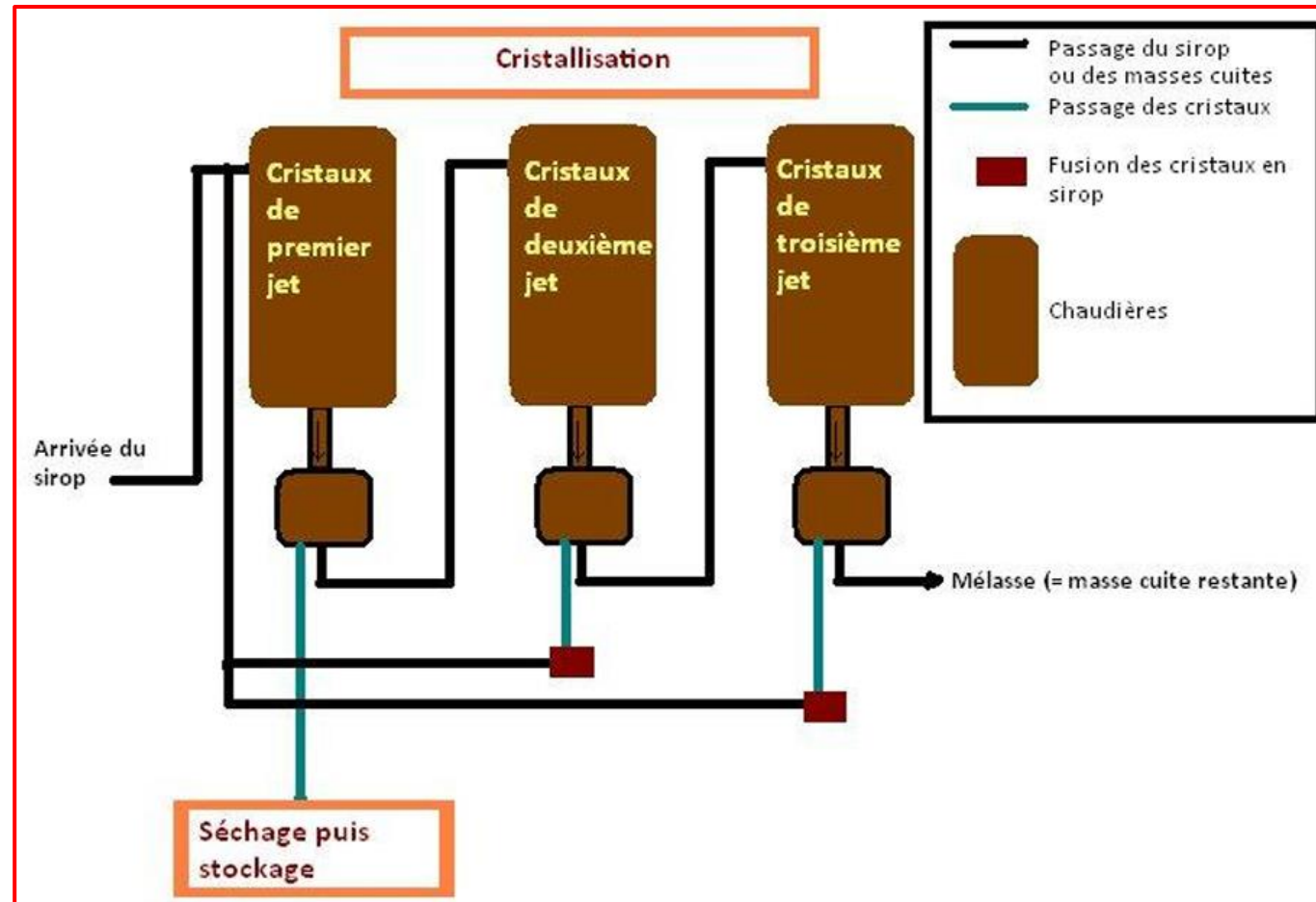
- Après évaporation : Brix = 65 %, Sucre = 60,5 %, Pureté = 93 %.

- Le sucre doit atteindre une **sursaturation** pour former ou faire croître les cristaux.

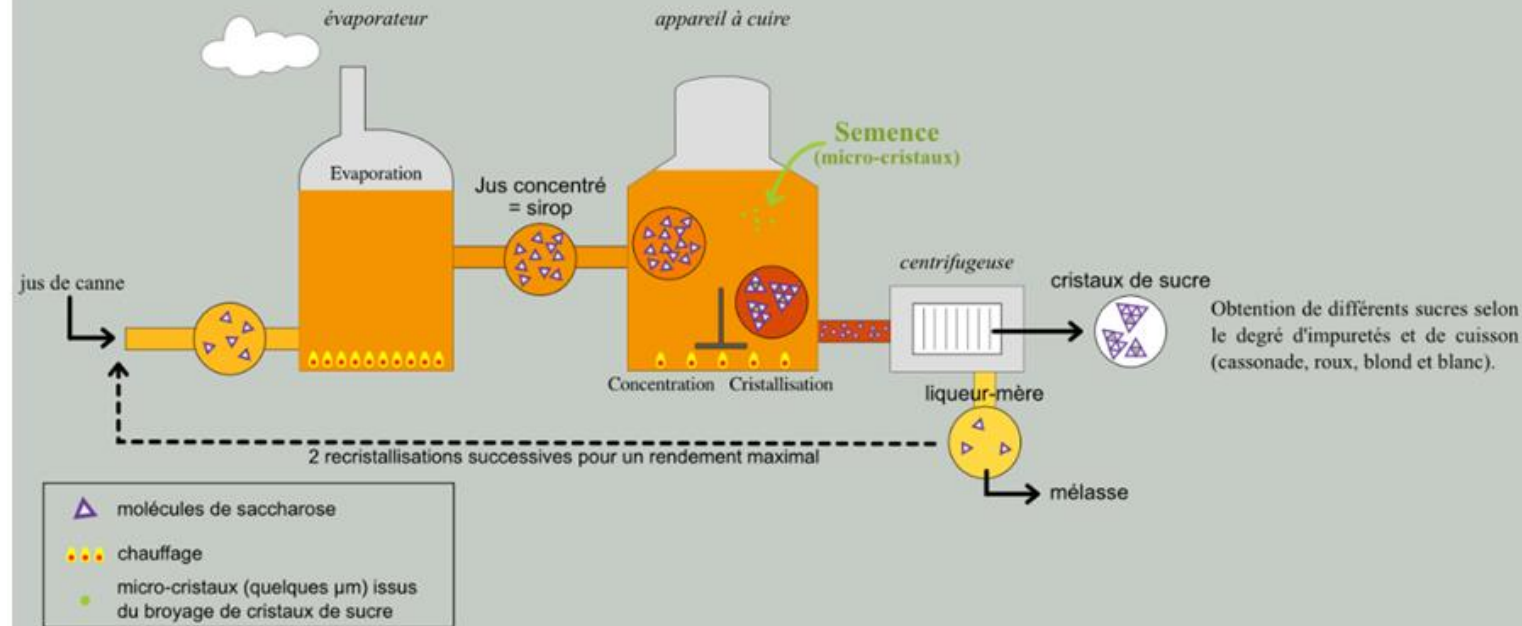
- La cristallisation se fait en **3 jets** : chaque jet comprend **cristallisation, malaxage et centrifugation**.

- L'eau est éliminée, les molécules se rapprochent → cristallisation.

- **Mélasse récupérée** comme sous-produit, utilisée notamment pour la production de levure.



La cristallisation industrielle du sucre...

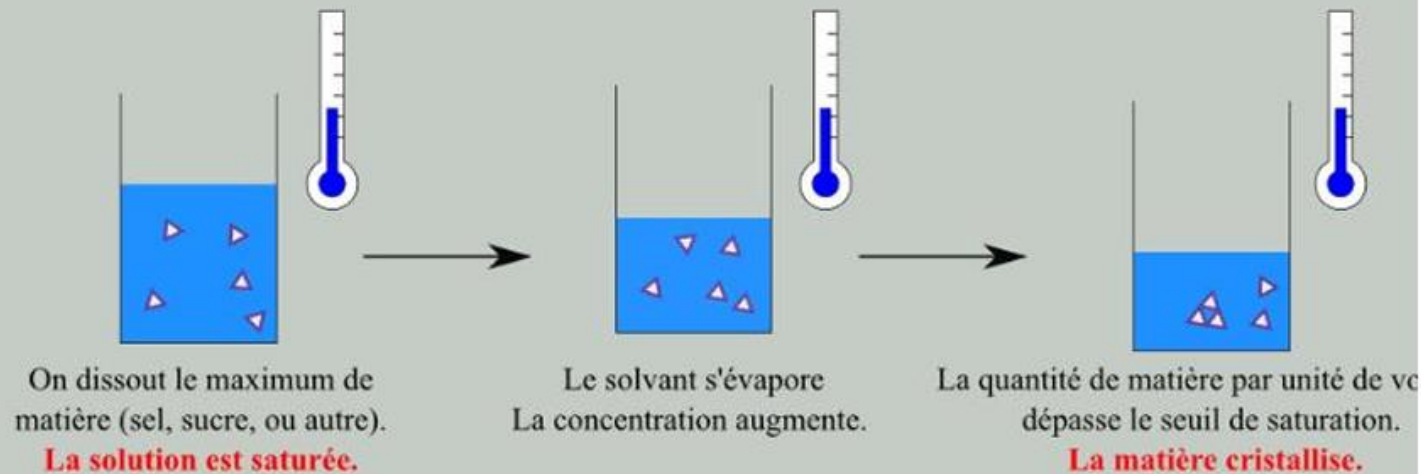


L'ajout de la semence permet de maîtriser le nombre et la taille des cristaux.

En cas de germination spontanée du saccharose, les germes, dont on ne peut maîtriser ni le nombre ni la forme, forment des cristaux de forme et tailles aléatoires.

En usine, seule a lieu la phase de croissance de la cristallisation.

Cristallisation par évaporation



2.8. Centrifugation

Cette étape est réalisée par **les turbines** (centrifugation) tournant à **1500 tr/min** afin de séparer les **cristaux** de sucre blanc et **la mélasse**.



Mélasse



Levure fraîche (pain)

2.9. Le séchage

Le sucre **chaud** (45–60 °C) et **humide** (1 %) est séché à l'aide d'air chaud dans des **cylindres rotatifs** ou en **lits fluidisés**, puis refroidi pour atteindre une teneur en eau de **0,03–0,06 %**. L'air utilisé doit être **sec, chaud et filtré**. Un séchage trop rapide peut provoquer la formation d'une couche de **sucre amorphe** à la surface.

2.10. Conditionnement

- Le sucre tamisé, classé et pesé est soit ensaché automatiquement, soit stocké en vrac dans de grands silos.
- En silo, le sucre est en apparence **sèche et fluide**. Au cours de stockage, une **phase de maturation** survient : réarrangement des cristaux, absorption du saccharose du sirop de surface et **libération d'eau**, éliminée par air insufflé.
- Le conditionnement en **morceaux** comprend :
 - Tamisage pour éliminer les impuretés ;
 - **Humidification à 2 %** (eau chaude ou vapeur) ;
 - **Moulage** des morceaux ;
 - **Séchage** jusqu'à 0,3 % d'humidité sur un tapis (≈ 20 min à 70 °C) ;
 - Conditionnement final en boîtes.