

Qualité de la semence, contrôle de l'ensemencement et de la qualité des cristaux de sucre

Barbara Rogé, Mohamed Mathlouthi, *Laboratoire de Chimie Physique Industrielle, UMR FARE, UFR Sciences, Université de Reims Champagne-Ardenne*

Djamchid Ahari, Jean Genotelle,
Anciennement au Groupement Technique de Sucrieries

ABSTRACT

Seeding in sugar crystallization pans has evolved these last 40 years from almost uncontrolled collision (shock) of dry particles (dust) collected in the sugar house and introduced with air in the footings at very high supersaturation (> 1.30) to rigorously controlled milled sugar crystals dispersed in isopropanol or another dispersant. Conditions of preparation of seed slurry, especially as concerns the choice of crystals to grind, the wet milling operation, the reproducibility of Mean Aperture (M.A.) and Coefficient of Variation (C.V.) of seed crystals have been established by the crystallization team at G.T.S. (Groupement Technique de Sucrieries) in the early 1970's.

It is possible to determine theoretically the weight of seed crystals if the yield of crystals in pan as well as final M.A. are known. This implies knowing of the number of crystals per unit mass. Data from literature like Thieme's Table or also experimental results from image analysis can be used.

The size and number of seed crystals are hardly correlated with size (M.A.) and number of final crystals obtained in the pan. The discrepancy depends on conditions of boiling especially stirring and also the conditions of footings preparation and quality of seed grains. As concerns the technique of making slurry of seed crystals, it is noticed that increasing the milling duration increases the number of fine particles ($< 2.5\mu\text{m}$). An important fraction of these fine particles are dissolved instantaneously at the graining. As a general rule, the higher the size of

seed grain, the larger the final crystal. However, the correlation of C.V. is not evident. Crystal size distribution also depends on washing in the centrifugals and drying and screening processes.

Nevertheless, some precautions can be adopted if it is desired to improve the conditions of crystallization and take advantage from the improvements made in slurry preparation and dispersion of seed crystals. The seeding of industrial pans remains a critical step which deserves optimization. The optimal quantity of seed crystals to use needs to be determined that the correlation between the number and mass of crystals be known precisely.

RÉSUMÉ

L'ensemencement en cristallisation industrielle de sucre a évolué ces 40 dernières années en passant d'une méthode de grainage par « choc » de particules de poussières de sucre ramassées dans l'atelier de conditionnement et introduites à sec dans un pied de cuite de forte sursaturation ($> 1,30$) à une méthode rigoureusement contrôlée de préparation de semence par broyage humide dans l'alcool iso-propylique ou un autre dispersant. Les conditions de préparation de la semence ont été établies dès le début des années 1970 par l'équipe de cristallisation du Groupement Technique de Sucrieries (G.T.S.) notamment en ce qui concerne la taille des cristaux à broyer et la reproductibilité de la granulométrie des grains de semence.

Il est possible de calculer le poids de semence à introduire en cuite si l'on connaît le rendement

et l'O.M. des cristaux obtenus après cuisson. Ceci implique la connaissance du nombre de cristaux à obtenir par unité de volume de masse-cuite. Pour cela, on peut éventuellement utiliser la formule de Thieme ou mieux encore l'analyse d'image des cristaux de semence.

La taille et le nombre de grains de semence sont difficiles à corrélérer avec la taille et le nombre des cristaux obtenus en fin de cuisson. L'écart dépend des conditions de conduite de la cuite, en particulier l'agitation et aussi du pied de cuite et de la qualité des grains de semence. En ce qui concerne la préparation de la semence, on remarque que plus la durée de broyage augmente plus le nombre de fines (< 2,5 µm) augmente. Les fines introduites dans la semence sont généralement dissoutes et disparaissent au grainage. Il ne semble pas y avoir de corrélation entre le C.V. de semence et celui du sucre final. La granulométrie de celui-ci peut aussi dépendre des étapes suivant la coulée de la cuite, à savoir le clairçage dans les turbines ainsi que le séchage, tamisage éventuel et ensilage.

Néanmoins, quelques précautions doivent être prises si l'on veut améliorer les conditions de la cristallisation et profiter des progrès accomplis dans la préparation et l'introduction de la semence. L'étape de grainage des cuites reste une étape critique qui nécessite encore d'être optimisée. La quantité optimale de cristaux de semence nécessite pour être déterminée avec précision la connaissance de la relation entre masse et nombre de cristaux pour des particules aussi fines (< 10 µm).

INTRODUCTION

Au cours de ces 40 dernières années, le matériel et les méthodes de travail dans l'atelier de cristallisation en sucrerie ont subi d'importantes modifications. Le personnel de conduite de la cristallisation (cuiseurs et chef cuiseur) a pratiquement disparu et l'atelier est aujourd'hui entièrement automatisé. Un des éléments qui a le plus contribué à cette spectaculaire évolution est la maîtrise du mode de grainage en cristallisation.

Les méthodes de grainage avant 1960 consistaient en un grainage par choc à une sursaturation de 1,3-1,4 et une température relativement élevée (90 °C). On introduisait un peu de poudre et il y avait admission d'air. La cristallisation était alors régie par la nucléation déclenchée par le choc. Le nombre de cristaux et leur taille finale étaient obtenus par action sur le vide et la tem-

pérature au cours de la montée de la cuite.

Le procédé par choc amélioré s'apparente au précédent. L'amorce utilisée, était récoltée parmi les dépôts de poudre impalpable (7-65 µm) du magasin à sucre soit sous forme sèche ou en dilution dans l'éthanol. La quantité utilisée était d'environ 0,5 g/hL de pied de cuite. Les conditions de travail étaient fixées empiriquement suivant la pureté du sirop.

C'était tout l'art du cuiseur que d'obtenir un produit final acceptable dans ces conditions de cristallisation. Le contrôle de la sursaturation et de la quantité de grain étaient réalisés par la méthode dite du « filet » et par observation visuelle sur une plaque de verre.

Depuis 1960, la création au sein de la CEE, d'une normalisation de la qualité des sucres, accompagnée d'exigences accrues de certains utilisateurs incitèrent les groupes sucriers à porter plus d'attention sur l'efficacité du poste de cristallisation. Les efforts se portèrent en priorité sur le mode de grainage des cuites qui passa progressivement à un véritable ensemencement où en principe, chaque cristal obtenu est issu d'une particule de semence.

Afin d'éviter le phénomène de nucléation spontanée probable lorsqu'on dépasse la zone de sursaturation métastable (au-delà de $\sigma = 1,35$), la sursaturation du pied de cuite est réglée à la valeur de 1,15-1,20. La valeur est optimale pour qu'il n'y ait ni production de grains fins secondaires, ni de risques trop importants de refonte des grains de semence lors de la circulation de la masse au travers du corps de chauffe.

Parmi les variantes de cette méthode par ensemencement, on adjoint au poste un appareil à cuire dénommé « cuite mère » qui, seule, reçoit la semence. La masse développe un « magma » avec des cristaux de l'ordre de 100 µm qui servent d'alimentation aux autres appareils du poste de cristallisation dont la conduite se trouve sensiblement simplifiée.

Le GTS (Groupement Technique des Sucreries) a travaillé il y a près de 40 ans à la normalisation des conditions de l'ensemencement afin d'accroître la qualité et la régularité des cristaux de sucre produits. Nous croyons utile d'en rappeler un certain nombre d'éléments de base nécessaires à la conduite optimale d'une cristallisation industrielle de sucre.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

1. Conditions de préparation de la semence (Méthode DITMAR)

La préparation de la semence doit être strictement normalisée. C'est le broyeur DITMAR qui avait alors été, et reste encore aujourd'hui retenu. Les études réalisées à ce sujet ont clairement démontré l'incidence de tous les paramètres du broyeur (sa capacité, le nombre de billes et leur masse totale, leur usure, la vitesse d'entraînement ou encore la durée du broyage) sur la qualité de la semence obtenue (Tableau 1).

Tableau 1: Conditions standards de préparation de la semence dans un broyeur DITMAR.

Appareil choisi	Broyeur DITMAR
Capacité	6 Litres
Garnissage	2200 billes acier inox – Diamètre 6,35 mm Poids total des billes : 2275 grammes
Vitesse d'entraînement	200 tours/minute
Durée de broyage	2 heures
Mode d'utilisation	2 kg de sucre cristallisé + 4 litres d'iso-propanol

1.1. Qualité du broyeur

Ces divers paramètres ont leur importance et doivent être scrupuleusement respectés. Le nombre de billes doit être contrôlé car les opérations de nettoyage et d'entretien peuvent faire l'objet d'une perte des billes. La pesée des billes est un critère important qui rend compte de leur usure. À titre d'exemple, 15 % d'usure se traduit par une augmentation du calibre et de la dispersion de la semence produite. Inversement un surpoids de billes diminuerait la dimension moyenne de la semence (Tableau 2).

Tableau 2: Influence du nombre de bille sur la finesse de la semence DITMAR.

Nombre de billes	Ouverture moyenne de la semence (μm)
2480	5,35
2120	6,2

1.2. Qualité du sucre introduit

Bien que paraissant d'intérêt secondaire, ce détail a son importance pour la préparation de la semence Ditmar: Du sucre tout-venant est à éviter. On utilise de préférence du gros grain exempt de fins cristaux et sans agglomérats afin

de préserver l'homogénéité et la taille de la semence finale (Tableau 3).

Tableau 3: Influence du calibre du sucre de départ sur la finesse de la semence.

Dimension du sucre de départ en mm	Ouverture moyenne de la semence (μm)
0,8	5,98
0,6	7,0
0,4	7,75

1.3. Le dispersant

On utilise 4 litres d'iso-propanol pour 2 kg de sucre cristallisé pour une durée totale de broyage de 2 heures qui correspond à un calibre de semence de l'ordre de 10 μm et une bonne homogénéité.

En cas de remplacement du dispersant par un autre liquide, il conviendrait d'adapter la durée du broyage en raison de son incidence sur le calibrage de la semence.

2. Contrôle de la granulométrie de la semence

Les techniques de granulométrie classiques par tamisage ne sont pas applicables à de si petites particules de cristaux. On utilise l'observation microscopique avec cellule de numération ou, éventuellement la photo directe sur papier à l'aide d'un agrandisseur de bonne puissance. L'échantillon de semence, préalablement pesé, est mis en suspension homogène dans un volume connu de sirop de sucre pur légèrement sursaturé (1,02-1,05). Le nombre de grains par gramme de semence peut être ainsi déterminé. Les grains de semence sont de forme irrégulière. Leur dimension moyenne est déterminée à partir de la plus grande longueur observée sur une population d'au moins 200 grains. On définit une dimension moyenne arithmétique (Dm) qui est de nature différente de l'ouverture moyenne (OM) qui résulterait du test de tamisage classique.

3. Choix du dispersant: nature et efficacité

Le choix du dispersant utilisé pour préparer la semence est important à plus d'un titre. L'utilisation traditionnelle de l'éthanol qui a une température d'ébullition de 78,2 °C, n'est pas sans défauts. Cela provoque à l'entrée de la semence en cuite une bulle de vapeur d'alcool, entraînant avec elle une partie non contrôlable de la semence vers le dôme de la cuite.

L'alcool iso-propylique a été par la suite choisi pour son point d'ébullition plus élevé (85 °C) qui se situe au-delà de la température de cuisson du sucre. Il permet par ailleurs d'augmenter la dispersion et le rendement des broyeurs.

Plus récemment, l'utilisation d'un Polyéthylène glycol de masse moyenne (PEG 300) semble donner de bons résultats de dispersion et d'absence de décantation de la semence avec l'avantage de ne pas être inflammable comme les alcools.

4. Le facteur de forme

4.1. Calcul théorique du poids de la semence

La détermination du poids de semence (P) nécessaire pour le grainage d'une cuite était faite par estimation du nombre N de cristaux par gramme dans la masse-cuite rapportée au nombre n de grains par gramme de semence.

$$P = \frac{R \times \rho \times N}{n} 10^5 \text{ g \% hL de masse-cuite}$$

Avec ρ , masse volumique de la masse-cuite et R le rendement en cristaux à la coulée de la masse-cuite.

Cependant, la connaissance du nombre de cristaux par gramme (N) suppose que la masse d'un cristal soit connue. On utilise un coefficient K qui permet de déterminer le poids des cristaux quelle que soit leur dimension.

4.2. Calcul du nombre de cristaux

Le nombre N de cristaux par gramme de sucre à produire dans la masse-cuite est défini de la manière suivante:

$$N = \frac{1000}{\rho_s \cdot K \cdot D_m^3}$$

Avec masse volumique du sucre ($\rho_s = 1,58 \text{ kg/dm}^3$), K le coefficient de Thieme et D_m la dimension moyenne du cristal (mm).

Cette relation permet de déterminer le rapport n/N ou (Nombre de germes/g)/(Nombre de cristaux/g) comme étant égal au rapport du cube des diamètres moyens.

$$\frac{n}{N} = \left(\frac{d_m}{D_m} \right)^3$$

5. Contrôle de la dimension moyenne des germes et des cristaux (D_m et d_m)

La détermination de la dimension moyenne des cristaux ou des germes de semence est détermi-

née respectivement par tamisage et par comptage photographique.

5.1. Détermination de la dimension moyenne des germes

Un échantillon de semence est mis en suspension dans un sirop pur légèrement sursaturé ($\sigma = 1,02$) et thermostaté. La suspension ainsi obtenue est examinée au microscope. Un logiciel de traitement de l'image permet de photographier et de mesurer la plus grande dimension de la particule sur un nombre élevé de germes (> 800).

On mesure une dimension moyenne en nombre qui est très différente de l'ouverture moyenne qui, est une référence commerciale.

5.2. Détermination de la dimension moyenne des cristaux à partir de la masse-cuite

L'échantillon de masse-cuite est centrifugé sur un appareil de laboratoire garni de toiles d'usine. Le sucre est dispersé dans de l'alcool isopropylique puis à nouveau centrifugé afin d'éliminer la couche superficielle d'eau mère présente à la surface des cristaux. À l'issue de ce traitement le sucre est séché à l'air libre pendant 1 heure environ et peut être ensuite soumis à l'analyse granulométrique.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

1. Valeur du coefficient de forme K

Le poids moyen d'un cristal de sucre est habituellement calculé à l'aide de la formule de Thieme: $P(\text{mg}) = 1,59 \cdot K \cdot (a)^3$ où a (mm) est l'ouverture moyenne de l'échantillon de sucre déterminée par tamisage sur série normalisée de tamis. La valeur de a ainsi déterminée ne doit pas être confondue avec la dimension moyenne des cristaux mesurée directement sur les cristaux. Le coefficient K, défini par Thieme est égal à 0,7 et n'est valable que si la dimension a représente l'ouverture moyenne.

Par contre, lorsque la dimension moyenne est obtenue par mesure directe de la longueur des cristaux, la même formule peut être utilisée, mais avec une valeur différente du coefficient. Les nombreuses mesures réalisées au GTS ont situé ce coefficient à la valeur 0,25, ceci pour des cristaux dont la forme ne s'écarte pas trop de la forme normale.

Tableau 4 : Confirmation expérimentale de la constante K, par calcul du rendement en cristaux.

	THIEME (K = 0,7)	AHARI& GENOTELLE (K = 0,25)
(N) Nombre de cristaux/g	$2,5 \cdot 10^3$	$7 \cdot 10^3$
Rendement calculé $R = \frac{\text{Nb cristaux}}{\text{Nb cristaux/g}}$	$R = \frac{17,28 \cdot 10^{10}}{2,5 \cdot 10^3} = 66461 \text{ kg}$	$R = \frac{17,28 \cdot 10^{10}}{7 \cdot 10^3} = 23351 \text{ kg}$
Rendement analytique $R = \text{°BxMC} \frac{(\text{Pureté} - \text{Pureté EM})}{(100 - \text{Pureté EM})}$	$R = \frac{92,7 (93,5 - 85,4)}{100 (100 - 85,4)} \times 30000 \times 1,5 = 23143$	
	Rendement ABSURDE de 146 %	Bonne corrélation

La formule peut également être utilisée pour l'estimation du poids moyen des grains de semence malgré leur forme très disparate, mais avec un coefficient K de l'ordre de 0,7, valable également pour les cristaux de très petite taille (< 100 µm.)

On peut pratiquement vérifier cette hypothèse avec un contrôle de la dimension des cristaux lors de la coulée de la masse-cuite.

- Sur une cuisson industrielle de 300 hL, avec un °Brix de 92,7, un pourcentage en sucre soluble de 86,7 %, une pureté de 93,5 %, une pureté des eaux mères de 85,4 %, un Rendement de 51,4 %, on obtient un sucre de dimension moyenne 0,71 mm. Le comptage au microscope donne 3 840 cristaux/g MC soit pour 300 hL: $30000 \times 1,5 \times 1000 \times 3840 = 17,28 \cdot 10^{10}$ cristaux.
- Si d'autre part, on calcule à l'aide de la constante K, le nombre de cristaux par gramme de sucre N, on peut en déduire le rendement analytique de cette cristallisation (Tableau 4) et le comparer au rendement expérimental.

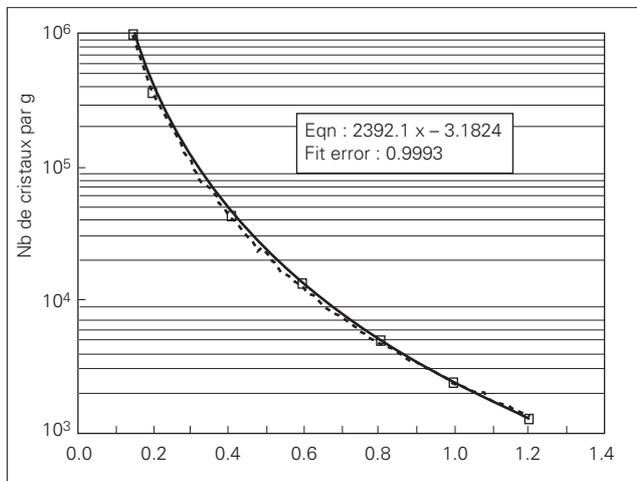


Figure 1 : Évolution du nombre de cristaux par gramme en fonction de la dimension moyenne des cristaux pour la constante de Ahari & Genotelle (K = 0,25).

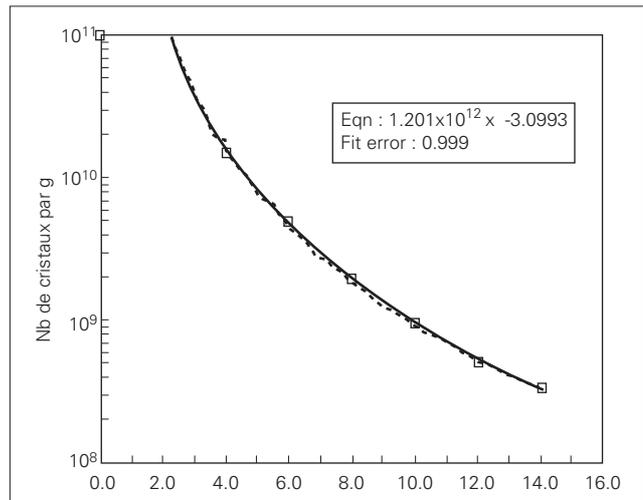


Figure 2 : Évolution du nombre de germes par gramme en fonction de la dimension moyenne des germes pour la constante de THIEME (K = 0,7).

Le rendement analytique est plus proche du rendement calculé avec la constante égale à 0.25 déterminée par Ahari & Genotelle (1979). Le rendement calculé avec la constante de THIEME donne un rendement analytique de 146 %, ce qui serait erroné.

Les Figures 1 et 2 présentent l'évolution du nombre de cristaux par gramme de masse-cuite en fonction de la dimension moyenne des cristaux ou germes et ceci pour deux valeurs de la constante K. La constante de THIEME égale à 0,7 est réservée au calcul des germes de semence puisque son domaine d'application s'étend à des dimensions moyennes de cristaux allant jusqu'à 100 µm. La constante de Ahari et Genotelle (1979) égale à 0,25, semble être un bon modèle pour les cristaux de dimension supérieure à 300µm.

2. Masse et qualité de la semence

2.1. Masse de semence – calcul pratique

L'utilité de ces formules est illustrée par le calcul de la masse de semence à introduire dans une

Tableau 5: Exemple d'utilisation de la constante K: calcul de la masse de semence à introduire.

	THIEME (K = 0,7)	AHARI& GENOTELLE (K = 0,25)
(N) Nombre de cristaux/g	0,72 · 10 ⁴	2,02 · 10 ⁴
Semence nécessaire (g)	95	265
Pâte DITMAR (40 g semence/100 g de Ditmar)	237	660

cuite (Tableau 5). Sur une cuite de 270 hL, avec l'objectif de cristalliser un sucre de dimension moyenne égale à 0,5 mm à partir d'une semence de 8,1 µm avec un rendement de 55% la masse de semence calculée avec (K = 0,25) est très proche de la réalité de l'usine. Cependant ce calcul sous estime la refonte partielle des cristaux au cours de la centrifugation, c'est pourquoi il est prudent d'anticiper et de choisir une ouverture moyenne du sucre à la coulée légèrement supérieure.

2.2. Dispersant utilisé

Des essais récents ont montré que la nature du dispersant pouvait avoir un effet non négligeable sur la qualité de la cristallisation. Le pouvoir dispersant de l'alcool isopropylique est comparé à celui du Polyéthylène glycol (PEG 300) sur la photographie des cristaux de semence en suspension dans chacun des dispersants (Figure 3). On voit clairement une meilleure dispersion dans le PEG.

2.3. Qualité de la semence et qualité du sucre obtenu

2.3.1. L'agitation

La semence ne doit pas être laissée au repos entre sa préparation et son entrée en cristallisation. Le récipient de stockage doit être muni d'un dispositif d'agitation efficace afin de limiter au maximum la décantation et l'agglomération des fines particules de sucre. Des expériences comparatives sont présentées dans les tableaux 6 et 7, afin de quantifier l'influence de l'agitation sur l'ouverture moyenne finale des sucres à la coulée.

Avec agitation, on observe que la taille des cristaux de sucre à la coulée augmente avec la taille des particules de semence. Le coefficient de

Tableau 6: Évolution de la dimension moyenne et du CV pour une semence agitée.

Dm semence (µm)	8,6	6,3	5,3	4,9
Dm cristaux (mm)	0,91	0,82	0,76	0,74
CV	31	29	27	25

Tableau 7: Évolution de la dimension moyenne et du CV pour une semence non-agitée.

Dm semence (µm)	8,6	6,3	5,3	4,9
Dm cristaux (mm)	0,80	0,80	0,74	0,81
CV	30,5	28	26,4	33

variation diminue légèrement avec la taille des germes de semence.

Sans agitation, le comportement est aléatoire. Ceci s'explique par la présence certaine de congglomérats et par une mauvaise dispersion de la semence dans le volume de la cuite.

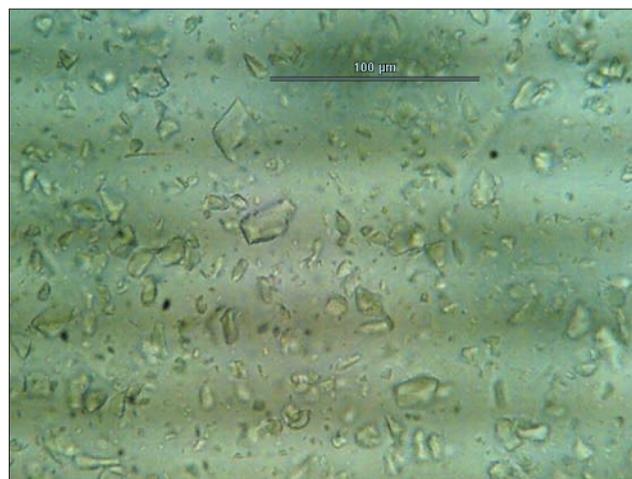
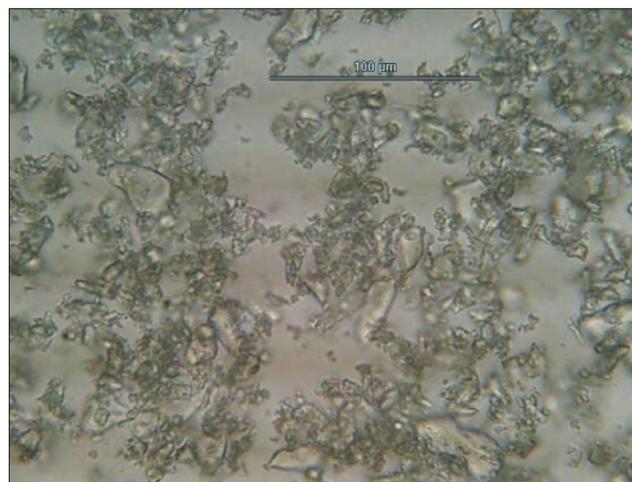


Figure 3: Comparaison du pouvoir dispersant de l'alcool isopropylique (en haut) et du polyéthylèneglycol (en bas).

2.2.2. Le nombre de cristaux

Idéalement, le nombre de germes introduit doit être égal au nombre de cristaux produits. Cependant, en pratique il est difficile de corrélérer exactement le nombre de germes au nombre de cristaux obtenus car la qualité de la semence et les conditions de cristallisation jouent un rôle important. Le *tableau 8* donne un aperçu des différences constatées en terme de variation du nombre de cristaux en fonction de la granulométrie de la semence de départ.

Tableau 8 : Évolution du nombre de cristaux en fonction de la qualité de la semence.

Broyage	Semence		Cristaux coulée		Différence nombre %
	Dm (µm)	Nombre	Dm (mm)	Nombre	
1 h	8,6 (27 % < 2,5 µm)	56 · 10 ⁹	0,91	78 · 10 ⁹	+ 39 %
2h	6,1 (38 % < 2,5 µm)	144 · 10 ⁹	0,82	114 · 10 ⁹	- 21 %
3h	5,3 (45 % < 2,5 µm)	242 · 10 ⁹	0,76	143 · 10 ⁹	- 41 %
4h	4,9 (50 % < 2,5 µm)	306 · 10 ⁹	0,74	155 · 10 ⁹	- 49,5 %

Pour une heure de broyage de la semence de type DITMAR, on a une augmentation du nombre de cristaux produit. Pour les autres temps de broyage (2 h, 3 h et 4 h), il y a une perte du nombre de cristaux. Cette baisse du nombre de cristaux à la coulée est logiquement dû à une disparition de germes et principalement parmi les plus fins.

La granulométrie des semences utilisées varie en fonction du temps de broyage. En effet, la semence contient 27 % de germes < 2,5 µm au bout d'une heure de broyage et passe à 50 % lorsqu'on observe la semence après quatre heures de broyage. Parallèlement, nous observons que plus la dimension des germes est faible plus le déficit en cristaux est important.

Une cristallisation effectuée à partir d'une semence à quatre heures de broyage accuse un manque de près de 50 % par rapport à l'ensemencement.

Cette étude démontre la fragilité des germes de dimension inférieure à 2-3 micromètres qui disparaissent au moment de l'introduction en cuite et ceci quelle que soit la sursaturation. La semence à deux ou trois heures de broyage contient une quantité modérée de germes de dimension inférieure à 2,5 µm, elle est donc idéalement préconisée.

2.2.3. Formation de conglomerats

La formation des conglomerats en cuite a des origines variées ; Si la sursaturation est trop élevée au moment du grainage, la semence se disperse difficilement et induit la formation de conglomerats. Par ailleurs, une agitation insuffisante de la cuite fait croître la présence de conglomerats.

Néanmoins une agitation trop forte de cette dernière inhibe la refonte dans le faisceau des fins cristaux de sucre et augmente la population de ces fins cristaux. L'optimisation des paramètres de cristallisation ainsi que la dispersion de la semence sont des points clés pouvant remédier à la formation des conglomerats. Des méthodes de contrôle de la sursaturation à l'aide de réfractomètres permettent de déterminer avec précision le point de grainage idéal dans la cuite.

En outre, l'ajout dosé de tensioactifs paraît efficace pour prévenir la formation de conglomerats. L'incidence sur la qualité des sucres est importante puisque les conglomerats possèdent une teneur en eau plus élevée ainsi qu'une quantité de cendres conductimétriques accrue.

3. Incidence du passage en malaxeur sur la qualité du sucre produit

La perte de qualité du sucre a également lieu après l'étape de cristallisation dans les malaxeurs ou les turbines. Plus précisément des essais comparatifs effectués sur des malaxeurs calorifugé ou non calorifugé ont démontré l'influence de ce paramètre température sur la taille moyenne des cristaux et le coefficient de variation (*Tableaux 9 et 10*).

Tableau 9 : Évolution de la dimension moyenne et du CV pour un malaxage non calorifugé.

	Cristaux à la coulée MC	Cristaux MC avant turbine
Dm cristaux (mm)	0,65	0,61
CV	20	39

Tableau 10 : Évolution de l'ouverture moyenne et du CV pour un malaxage calorifugé fermé.

	À la coulée	À mi-malaxeur	Fin Malaxeur	Sortie turbine
Dm cristaux (mm)	0,74	0,78	0,84	0,72
CV	26	28	27	25

Le malaxage du sucre sans maintien de température entraîne une baisse de la taille moyenne des cristaux liée à une augmentation très nette du coefficient de variation. Des malaxeurs calorifugés et fermés maintiennent le coefficient de variation constant et augmentent légèrement l'ouverture moyenne des cristaux.

CONCLUSION

Ainsi, il apparaît que la qualité de la semence est responsable en grande partie de la qualité des cristaux de sucre obtenus en fin de cristallisation. Les conditions de préparation de la semence doivent être contrôlées rigoureusement notamment en ce qui concerne le broyage (vitesse, durée, état d'entretien du broyeur) et le choix du dispersant. Une fois mise en suspension la semence doit être agitée en permanence et maintenue à une température pas très éloignée de celle de la cuite. L'introduction de la semence se fera sans rentrée d'air dans un pied de cuite

modérément concentré (sursaturation = 1,15). La masse de semence sera calculée d'après la dimension des cristaux à produire. Dans ce calcul, il faudra faire le bon choix du coefficient de forme (0,7 pour la semence et 0,25 pour les cristaux).

Des particules de semence trop fines (< 2,5 µm) peuvent se dissoudre, entraîner la création de nucléation spontanée et un C.V. élevé. Une quantité de semence insuffisante ou une agitation inadaptée peuvent donner des agglomérats. Enfin, la qualité des cristaux peut évoluer après la cristallisation dans les malaxeurs, les turbines ou l'atelier de séchage et conditionnement.

RÉFÉRENCES

Ahari, D. et Genotelle, J.(1979) , Observations sur le contrôle granulométrique des sucres et la pratique de l'ensemencement, *Indus. Alim. Agric.*791-797.