

Sucreries de grande capacité : optimisation des ateliers d'évaporation et de cristallisation

Alain Belotti, Laurence Cegel, Gerard Journet, Jean-Luc Magalhaes

FIVES CAIL - 22, rue du Carrousel Parc de la Cimaise BP 374 - 59666 Villeneuve d'Ascq cedex

Résumé

L'un des axes des développements technologiques de FIVES CAIL est l'extension des gammes d'équipements vers les hautes capacités ; nous illustrons tout l'intérêt de ces équipements au travers de la description d'ateliers d'Evaporation, Cristallisation et Séchage de sucre d'une sucrerie de betteraves dimensionnés pour une capacité de 20 000 TB/J.

FIVES CAIL réalise depuis ses origines des études et des installations industrielles en Sucrerie, tant en betterave qu'en canne, au fil du temps, la capacité moyenne des installations n'a cessé de croître, pour atteindre aujourd'hui des capacités de plusieurs dizaines de milliers de tonnes de betteraves ou de canne traitées par jour.

Les tailles limitées des équipements de process disponibles jusqu'alors ont fait que ces sucreries de grande capacité ont souvent été conçues avec 2, voire 3 lignes process ; cela ne constitue bien entendu pas un optimum en termes d'investissement, d'exploitation, de maintenance et de rendements.

Pour répondre à cette problématique, FIVES CAIL a conduit parallèlement à ses développements technologiques des extensions de gammes, permettant aujourd'hui de réaliser ces unités de grande capacité en une ligne unique. Nous illustrons cette démarche par la présentation d'ateliers d'évaporation, de cristallisation et de séchage de sucre en une ligne, pour une sucrerie de betterave traitant 20 000 tonnes de betteraves par jour.

Données de base

- Tonnage : 20 000 TB/J
- Richesse cossettes : 18.5 %
- Pureté jus vert : 90 %
- Rendement sucre : 84.5 %, soit une production de 3125 T/J de sucre

Evaporation

L'optimisation des bilans énergétiques en sucrerie de betterave demeure un impératif, tant pour abaisser le coût de la facture énergie, que pour satisfaire aux réglementations sur l'environnement. Cette optimisation passe par la mise en œuvre de caisses d'évaporation performantes à flot tombant, organisées à minima en 5 effets, de plus en plus en 6 effets.

Abstract

One of the FIVES CAIL technological development program activities is equipment range expansion for large capacity equipment; we are illustrating the high interest in using this equipment through the process of Evaporation, Crystallization and Sugar drying sections of a 20 000 TB/D plant.

La technologie grimpage présente 2 inconvénients majeurs à l'utilisation dans le cadre d'une sucrerie de grande capacité économe en énergie. D'une part la surface maximum réalisable pour une caisse grimpage est de l'ordre de 4000 à 5000 m², ce qui oblige à multiplier le nombre de caisses, et d'autre part la charge hydrostatique sur les faisceaux pénalise de façon assez sensible la performance thermique globale de la station d'évaporation.

La technologie d'évaporateur à descentage FIVES CAIL a bénéficié de nombreux progrès réalisés ces dernières années : optimisation de la répartition du jus sur les tubes du faisceau, optimisation de la distribution de la vapeur dans le faisceau et de l'extraction des gaz incondensables, optimisation de la séparation du jus du flux de la vapeur produite en sortie de caisse. Ces progrès permettent aujourd'hui une qualité d'échange thermique de premier ordre.

En technologie descentage à tubes il reste encore possible d'améliorer l'échange thermique tout en réduisant la recirculation (pour réduire encore les risques de recoloration) en appliquant un double passage jus sur les derniers effets. Le double passage jus permet en effet de travailler à brix plus faible sur 55 à 60% de la surface de la caisse ce qui occasionne un gain substantiel du coefficient global de transfert de la caisse. Le double passage jus permet aussi la plupart du temps d'assurer le mouillage optimum avec une recirculation jus très faible, voire nulle.

En prenant comme base de dimensionnement une surface d'évaporation spécifique de l'ordre de 2 à 2,25 m²/(TB/J), une sucrerie de 20 000 TB/J requiert 40 000 à 45 000 m². Selon le schéma évaporatoire envisagé et selon la nature et l'importance des prélèvements une telle surface totale en 6 effets peut présenter les configurations de réalisation suivantes :

2 x 7500 m² + 3 x 8500 m² + 1 x 3000 m²
ou 5 x 8000 m² + 1 x 4000 m²

Dans tous les cas la surface maximum unitaire des évaporateurs est de l'ordre de 9000 à 10 000 m², surface que FIVES CAIL est parfaitement à même de réaliser avec une caisse unique.

Par exemple, une caisse d'évaporation à descentage à tubes de

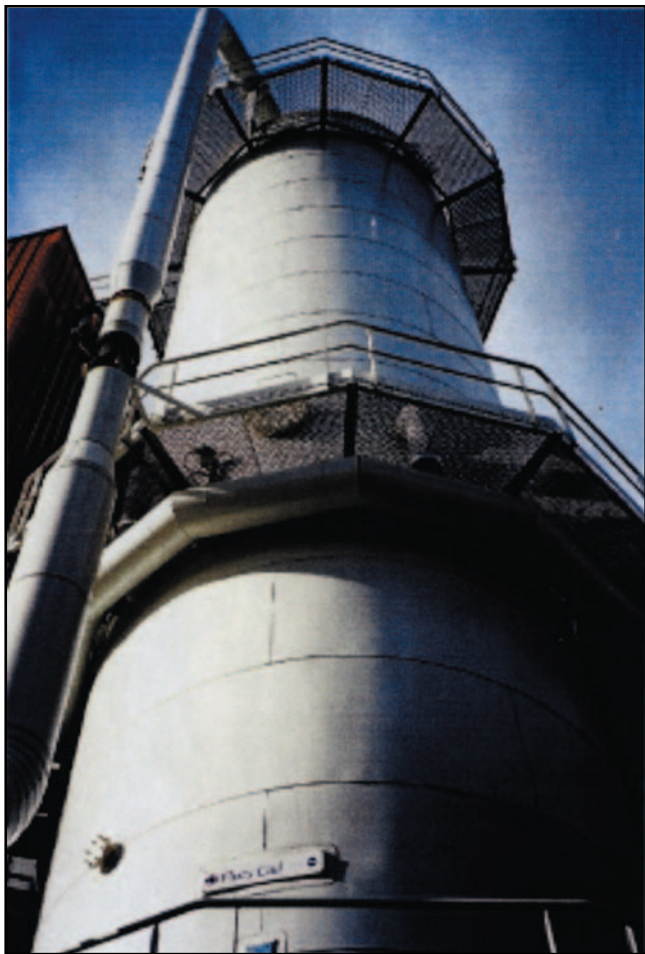
9000 m² a les dimensions principales suivantes :

- Diamètre du corps 4,7 à 4,8 m
- Longueur des tubes 12 m
- Hauteur totale de l'évaporateur environ 24 m

Et une caisse d'évaporation à descendage à tubes de 10 000 m² a les dimensions principales suivantes :

- Diamètre du corps 5,0 à 5,2 m
- Longueur des tubes 12 à 14 m
- Hauteur totale de l'évaporateur 24 à 26 m

Figure 1 : évaporateur de 7540 m² Ø 4700 mm



affiné refondus au sirop et recyclés en liqueur standard 1er jet; on peut schématiquement définir les capacités de chaque jet comme suit :

• Sucre blanc qualité n°1 CEE	environ 130 t/h
• Masse cuite 1 ^{er} jet	270 à 280 t/h 180 à 190 m ³ /h
• Masse cuite 2 ^{ème} jet	120 à 130 t/h 80 à 85 m ³ /h
• Masse cuite 3 ^{ème} jet	60 à 65 t/h 40 à 45 m ³ /h
• Magma d'affinage du sucre 3 ^{ème} jet	40 à 45 t/h 25 à 30 m ³ /h

Pour produire ces masses cuites en cuite continue on aura besoin des capacités utiles suivantes :

• Cuite continue 1 ^{er} jet CCTD	300 m ³
• Cuite continue 2 ^{ème} jet CCTW	225 m ³
• Cuite continue 3 ^{ème} jet CCTW	300 m ³

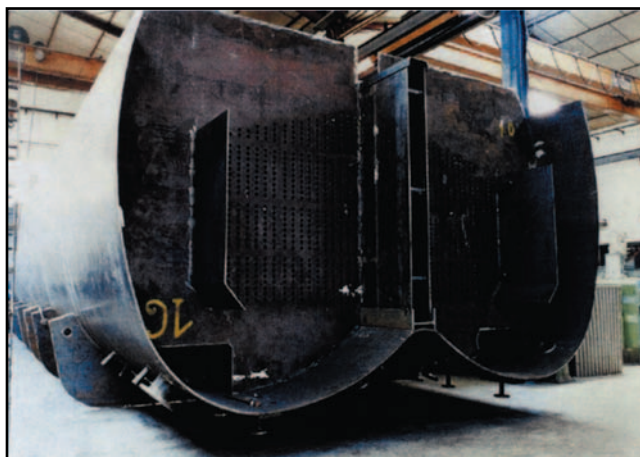
En travaillant avec des vides raisonnables, par exemple et respectivement 0,24-0,21 et 0,16 bar abs pour les masses cuites A, B et C, on calcule une température maximum (cuite avant nettoyage) de vapeur au faisceau de respectivement 103, 101 et 97°C. Ces températures assurent une utilisation sans problème de vapeur VP4, voire VP5 pour les cuites B et surtout C. Ces reculs de prélèvement extrêmes autorisent une économie de vapeur importante.

On voit donc qu'il est parfaitement possible d'assurer la cristallisation par évaporation continue d'une sucrerie de grande capacité avec une seule cuite continue sur chaque jet.

Les nettoyages périodiques pratiqués sur les cuites continues ont également fait l'objet de notre attention, et des dispositions spécifiques rendent aujourd'hui ces opérations encore plus aisées.

Pour faciliter les opérations de nettoyage des jets A et B (le jet C n'a normalement pas à être nettoyé de toute la campagne, jusqu'à 120 jours de campagne) Fives Cail propose aujourd'hui une cuite continue double : la cuite CCTD qui permet de ne nettoyer que 50% de la capacité installée tout en poursuivant la cristallisation avec les autres 50%, qui peuvent alors être exploitées à 60-65% de la capacité nominale totale. La figure 2 ci-dessous illustre une telle cuite en cours de construction.

Figure 2 : cuite CCTD en construction



A titre indicatif une cuite continue de 300 m³ a les dimensions principales suivantes :

• Largeur interne	5,58 m
-------------------	--------

Cristallisation

Aujourd'hui une sucrerie économe en énergie utilise des appareils de cristallisation par évaporation de type continue (cuites continues). Une cristallisation efficace utilise aussi des équipements de cristallisation par refroidissement. Dans les deux cas, cristallisation par évaporation et cristallisation par refroidissement, FIVES CAIL n'a pas cessé de développer ses équipements de façon à ce qu'ils répondent aux besoins de capacités croissantes et de performances accrues d'usines dont les tonnages sont toujours croissants.

De par son expérience FIVES CAIL est à même de proposer des cuites continues sur tous les jets de sucrerie et de raffinerie.

Pour répondre aux besoins d'usines de capacités toujours plus grandes notre gamme de cuites continues n'a cessé de s'étoffer jusqu'à des volumes unitaires utiles de 300, voire 350 m³.

Dans notre exemple de sucrerie type de 20 000 TB/J, on suppose un schéma de cristallisation 3 jets assez classique, c'est à dire avec sortie du sucre 1er jet, sucre 2^{ème} jet et sucre 3^{ème} jet

- Longueur interne 19,75 m
- Largeur hors tout en type CCTW 6,15 m
- Largeur hors tout en type CCTD 6,40 m
- Longueur hors tout 21,63 m

En dépit de l'accroissement de la taille de nos équipements il va de soi que les performances d'échange massique et d'échange thermique ne se sont nullement dégradées par rapport à des équipements de dimensions plus modestes. Dans ce domaine l'expérience de FIVES CAIL accumulée sur près de 220 cuites continues, sur tous les jets de sucrerie de canne, de betterave et de raffinerie, expérience renforcée par l'intégration de la société FLETCHER SMITH (environ 150 cuites continues), a permis d'évoluer vers les très grosses capacités tout en préservant les excellentes qualités d'échange thermique et d'échange massique de ces équipements.

De ce point de vue, la technologie FIVES CAIL des faisceaux à tubes horizontaux de vapeur a largement contribué à la possibilité d'extrapolation vers les grandes capacités. L'allongement de l'équipement ne pose en effet pas de problème spécifique puisque les tubes peuvent se dilater librement à l'intérieur de l'appareil sans exercer aucune poussée sur les façades d'extrémité. D'autre part, la souplesse de dessin de la section transversale du faisceau, due à cette technologie, autorise une surface supérieure du faisceau en pente descendante vers le couloir de recirculation qui améliore très nettement la circulation masse cuite dans l'appareil.

Essorage

L'atelier d'essorage d'une sucrerie comprend typiquement :

- Une batterie d'essoreuses discontinues pour le premier jet (haute pureté),
- Une batterie d'essoreuses continues pour le deuxième jet (pureté intermédiaire), pour le troisième jet et pour l'affinage du 3° jet (basse pureté).

Cet atelier participe, lui aussi, fortement à l'optimisation énergétique d'une sucrerie de grande capacité. En effet, le cahier des charges desessoreuses d'un tel atelier comprend généralement les critères suivants :

- Productivité élevée,
- Qualité de sucre élevée,
- Conduite aisée et sans à-coups,
- Niveau de sécurité extrême,
- Maintenance réduite et aisée,
- Consommation énergétique faible,
- Prix bas.

Relativement aux grandes capacités, la productivité et la consommation sont des paramètres primordiaux ; les autres éléments du cahier des charges ci-dessus sont, bien évidemment très importants, mais ils interviennent en deuxième niveau.

Essoreuses discontinues

Fives Cail dispose aujourd'hui d'une gamme d'essoreuses discontinues déclinée en tailles s'échelonnant entre 1250 et 2250 kg. Cette gamme a été conçue et développée pour répondre aux besoins actuels et futurs d'usines de grandes capacités très sensibles aux économies d'énergie.

Pour une usine de 20 000 TB/J, nous retenons pour l'application en 1er jet l'essoreuse de plus grande capacité, à savoir l'essoreuse de 2250 kg, capable d'essorer 58 T/H de masse

cuite. Le tableau 1 ci-après présente le bilan d'une batterie d'essoreuses pour une usine de 20 000 TB/J.

Caractéristiques globales de la batterie d'essoreuses

Nombre d'essoreuses	6 (dont 1 en stand-by)
Quantité de masse cuite essorée	270 à 280 t/h
Quantité de sucre produit	136 t/h
Puissance moyenne consommée	160 à 170 kW

Tableau 1 : Batterie d'essoreuses discontinues 2250 kg pour 20 000 TB/J

Il est à noter que le dimensionnement d'une telle batterie avec desessoreuses actuelles, de capacité standard (1250 kg) et de productivité standard (30 t/h) conduirait à une batterie de 11essoreuses, consommant 2 fois plus d'énergie.

Cela montre l'intérêt fort de l'utilisation d'essoreuses de grandes capacités en matière de productivité et de consommation énergétique, indépendamment des aspects investissement, exploitation et maintenance.

Essoreuses continues

Pour les deuxième et troisième jets ainsi que pour le jet d'affinage, Fives Cail dispose d'une large gamme d'essoreuses continues déclinée en 2 tailles de diamètre panier, 1250 et 1550 mm.



Figure 3 : Essoreuse continue FC 1550

Pour une application dans une usine de grande capacité nous proposons notre modèle FC 1550. Il s'agit de la plus grosseessoreuse continue disponible sur le marché (en termes de productivité). Son design a été étudié pour optimiser la consommation énergétique, en réduisant dans les meilleures conditions possibles les pertes dues aux effets de ventilation et en améliorant les rendements mécaniques de la transmission. De plus, le drainage des égouts dans le panier est réalisé dès le début de la centrifugation de la masse cuite par l'intermédiaire d'une importante densité de perforations réparties sur la totalité de la surface du panier. Pour finir, l'évacuation des égouts collectés dans les chambres à mélasse est rapide.

Les caractéristiques principales de l'essoreuse FC 1550 sont présentées dans le tableau 2 ci-après qui comprend aussi les

caractéristiques des batteries pour les deuxième et troisième jets ainsi que pour le jet d'affinage.

• Caractéristiques unitaires desessoreuses	
Diamètre max. du panier	1550 mm
Angle du panier	34°
Motorisation	160 kW
Productivité (jet 2)	46 t/h
Productivité (jet 3)	25 t/h
Productivité (affinage 3° jet)	46 t/h
• Caractéristiques globales de la batterie d'essoreuses 2^{ème} Jet	
Nombre d'essoreuses	4
(+ 1 en commun avec affinage 3° jet)	
Quantité de masse cuite essorée	130 t/h
Puissance moyenne consommée	455 kW
• Caractéristiques globales de la batterie d'essoreuses 3^{ème} Jet	
Nombre d'essoreuses	4
Quantité de masse cuite essorée	65 t/h
Puissance moyenne consommée	416 kW
• Caractéristiques globales de la batterie d'essoreuses jet d'affinage	
Nombre d'essoreuses	2
(dont 1 en commun avec jet 2)	
Quantité de masse cuite essorée	47 t/h
Puissance moyenne consommée	165 kW

**Tableau 2 : Batteries d'essoreuses continues
FC 1550 pour 20 000 TB/J**

Le dimensionnement de telles batteries avec desessoreuses actuelles, de productivité standard (30 t/h en jet 2) conduirait à un ensemble de 15essoreuses, consommant 11% d'énergie en plus.

Malaxage

En bas produit, le dimensionnement des malaxeurs verticaux repose sur le temps de séjour de la masse cuite en refroidissement, habituellement environ 40 heures.

Dans le cadre d'une usine de grande capacité, ces 40 heures conduisent à un volume de malaxage important. Pour 20 000 TB/J et pour un débit de masse cuite bas produit de l'ordre de 40 à 45 m³/h, ce volume est compris entre 1600 et 1800 m³.

Afin de ne pas devoir multiplier le nombre de malaxeurs nécessaires (les malaxeurs verticaux traditionnels de type "Tourey" ont des capacités unitaires maximum de l'ordre de 350 à 450 m³) nous avons créé un nouveau cristalliseur vertical de grande capacité. Par ailleurs, afin d'améliorer les capacités de refroidissement, soit d'un point de vue quantitatif (allure de refroidissement plus rapide), soit d'un point de vue qualitatif (refroidissement avec un ΔT plus faible), ce nouveau malaxeur a été conçu avec un rapport surface sur volume pouvant aller jusqu'à 2 m²/m³ (1,75 m²/m³ en standard). La gamme de ces nouveaux malaxeurs intègre des capacités allant de 340 à 760 m³. Ainsi, il devient possible de constituer une capacité jusqu'à 2300 m³ avec 3 malaxeurs seulement, quand il en faudrait 5 ou 6 avec des malaxeurs traditionnels.

Afin de pouvoir installer une plus grande surface d'échange thermique ce nouveau type de cristalliseur de refroidissement

vertical comporte des nappes d'échange thermique qui assurent elles-mêmes le brassage de la masse cuite. Ces nappes sont soumises à un mouvement vertical alternatif qui permet d'une part un renouvellement de la couche limite sur la surface des tubes d'échange et d'autre part un brassage de la masse cuite pour favoriser l'échange massique. Avec cette conception la vitesse linéaire de brassage est la même en tout point du malaxeur, ce qui assure une grande homogénéité d'échange thermique et d'échange massique, contrairement aux malaxeurs traditionnels de type "Tourey" où la vitesse de brassage est variable suivant le rayon.

Ajoutons que nous avons particulièrement soigné l'homogénéité de la porosité des nappes de façon à éviter tout passage préférentiel ou toute zone de rétention prolongée.

Enfin, les nappes d'échange thermique sont divisées en 2 groupes dont les mouvements sont opposés. Les 2 groupes de nappes se croisent et se raclent l'une l'autre, empêchant ainsi l'adhérence permanente de la masse cuite avec les tubes (effet "cuillère à miel").

Un tel type de malaxeur (voir figure 4) permet des vitesses de refroidissement jusqu'à 1,5 °C/h avec des Delta T eau / masse cuite de l'ordre de 10 °C.

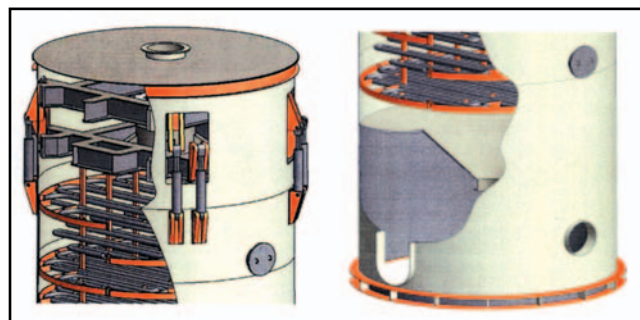


Figure 4 : malaxeur vertical à nappes mobiles

Pompages des masses cuites

Au sein de l'atelier de cristallisation, différentes pompes sont nécessaires pour transporter la masse cuite. Les besoins sont les suivants :

- transport de la masse cuite des cuites continues vers les batteries d'essoreuses (jet 1, jet 2) ou vers les malaxeurs verticaux (jet 3),
- transport des magmas vers les cuites continues (jet 1, jet 2, jet 3).

Le cahier des charges de ces pompes comprend généralement les critères suivants :

- productivité élevée,
- préservation de l'intégrité des cristaux,
- maintenance minimale,
- consommation énergétique faible,
- prix bas.

Relativement aux besoins d'une usine de grande capacité, la productivité et la consommation sont des paramètres primordiaux.

Pour répondre à ces besoins, nous disposons d'une nouvelle gamme de pompes SUMO, qui présente les caractéristiques principales suivantes (voir figure 5) :

- pompe de type Rotatif, à simple ou double rotor,
- large gamme de débits (de 10 à 120 m³/h),
- deux gammes de pression de refoulement (5 bar et 8 bar),
- faibles vitesses de rotation et larges sections d'entrée,

- cinématique performante,
- réversibilité,
- garnitures mécaniques simples et éprouvées.



Figure 5 : Pompe SUMO 55

Pour notre usine de 20 000 TB/J, le tableau 3 suivant présente les pompes qui sont proposées.

Application	Pompe sélectionnée	Nbre	Débit unitaire (m ³ /h)	Vitesse de rotation (t/mn)	Puiss. unitaire absorbée (kW)	Puiss. unitaire installée (kW)
CC jet 1 – essor. jet 1	SUMO 55	4	95	38	44	45
CC jet 2 – essor. jet 2	SUMO 55	2	90	35	41	45
CC jet 3 – malaxeurs	SUMO 33P	2	45	49	33	37
Magma jet 1 – CC jet 1	SUMO 5	2	25	35	20	22
Magma jet 2 – CC jet 2	SUMO 5	1	31	23	13	15
Magma jet 3 – CC jet 3	SUMO 5	1	16	11	7	7

Tableau 3 : Usine de 20 000 tb/j : pompes à masse cuite

Cela correspond donc à 12 équipements consommant 340 kW, pour une puissance installée de 360 kW. Le dimensionnement de ces équipements avec des pompes standard (pompes Rota) conduirait à un ensemble de 18 pompes, consommant 360 kW, pour une puissance installée de 480 kW.

Séchage

Le séchage et le refroidissement du sucre blanc sont des étapes cruciales pour assurer la conservation du sucre lors de son stockage. La quantité de sucre à traiter pour les sucreries de grande capacité ajoute un souci d'homogénéité du séchage-refroidissement ou dans le cas de l'utilisation de plusieurs appareils de la répartition du sucre humide entre les divers sècheurs.

La technologie FIVES CAIL du sècheur refroidisseur MULTITUBES permet, grâce à sa compacité et sa large gamme, de réaliser facilement des sècheurs de grande capacité jusque 150 t/h de sucre. En effet, pour sécher et refroidir 130 t/h de sucre, les dimensions de l'appareil sont de l'ordre de 7 750 mm

de diamètre total, pour une longueur totale de 17 m.

Le diamètre des 6 tubes sècheurs est de 1 500 mm et de 1700 mm pour les 6 tubes refroidisseurs. Ce faible encombrement au sol est lié à la circulation du sucre en aller-retour dans 2 faisceaux concentriques de 6 tubes sècheurs et 6 tubes refroidisseurs.

Figure 6 : Sècheur MULTITUBES



La conception en faisceaux concentriques assurant un bon équilibrage de l'ensemble de la partit tournante, la puissance installée sera seulement de 150 kW. Pour la capacité considérée, la technologie monotubulaire requiert environ le double de surface au sol, et deux équipements à installer et à maintenir, sans oublier les contraintes de séparation du débit de sucre humide.

La technologie multitubulaire permet également d'assurer la préservation de la qualité et de la granulométrie et brillance des cristaux par les faibles hauteurs de chute à l'intérieur de l'appareil. En effet, la propreté de l'installation et la brillance des cristaux

sont préservées indépendamment de la taille de l'installation. Le diamètre le plus important des tubes est de 1,7 m en refroidisseurs, à comparer à 3,5 m pour les gros sècheurs monotubulaires.

Conclusion

Ce que nous avons illustré ci-avant pour un process betterave est applicable de la même façon pour un process canne. Les équipements des ateliers décrits sont similaires ou identiques, y compris les évaporateurs à flot tombant, pour lesquels FIVES CAIL a développé un design adapté aux jus de canne, avec de nombreuses références en service.

Les nombreux projets de nouvelles sucreries, en particulier en canne, ou d'extension de sucreries existantes dans le monde, constituent donc un moteur important dans les développements de nos nouvelles générations d'équipements.