

## Le MillMax<sup>®</sup> et la CEFT, 2 équipements éco-innovants au service d'une économie verte

A. Mesmacque, L. Cegel, X. Lamblin

Fives Cail, 22, rue du Carrousel, BP 10374, 59669 Villeneuve d'Ascq cedex, Tel : +33(0)3 20 88 96 00, Fax : +33(0)3 20 88 96 03

[alexandre.mesmacque@fivesgroup.com](mailto:alexandre.mesmacque@fivesgroup.com), [laurence.cegel@fivesgroup.com](mailto:laurence.cegel@fivesgroup.com)

### Résumé

Afin de conjointement augmenter leurs gains et réduire leur empreinte énergétique, les sucreries de cannes cherchent à diminuer leurs consommations d'électricité et de vapeur et développent des systèmes de cogénération. Cette production durable, au service d'une économie verte en croissance constante, implique l'optimisation des procédés et le déploiement de nouvelles technologies énergétiquement performantes.

Intégrant ces contraintes économiques et environnementales, Fives Cail a développé et implémenté avec succès, en sucrerie de cannes, deux équipements de conception éco-innovante : le moulin d'extraction appelé MillMax<sup>®</sup>, et la caisse d'évaporation à flot tombant.

Le MillMax<sup>®</sup> est un moulin destiné à travailler, de manière optimale, avec une canne dont l'indice de préparation est supérieur à 90 %. Il se compose de deux rouleaux presseurs, et d'un couloir limitant la réabsorption de jus par la bagasse en sortie de moulin. Cet équipement ne comporte ni bagassière ni dispositif de pression hydraulique et permet des gains en termes d'installation, de maintenance, et de consommation énergétique de 20 à 30 % en comparaison aux équipements de technologie dite "conventionnelle".

La caisse d'évaporation à flot tombant est très largement utilisée en sucrerie de betteraves depuis plus de 30 ans. Cette technologie a été adaptée et optimisée pour les sucreries de cannes en considérant la composition spécifique du jus de canne, à savoir des risques accrus d'encrassement du système de distribution et de la surface d'échange liés à une épuration plus incomplète qu'en sucrerie de betteraves. Les développements effectués par Fives Cail sur l'évaporateur à flot tombant ont permis l'élimination de ces problèmes. Cet équipement présente une réelle facilité d'installation et de maintenance. Il se caractérise par l'absence de chute de température hydrostatique et permet ainsi d'opérer, pour une même puissance thermique, avec des  $\Delta T$  plus faibles. Ainsi, les consommations de vapeur sont significativement inférieures aux consommations obtenues avec d'autres technologies.

*Mots clés : Moulin, Evaporateur, Energie, Environnement, Eco-équipements*

### 1. Enjeux

Toutes les industries orientent leurs développements vers la diminution des coûts, la qualité du produit, la satisfaction du client, mais également, et plus récemment, vers la maîtrise de leurs empreintes énergétique et environnementale. Les études de l'OCDE (6) prévoient que, en l'absence de nouvelle action politique, les émissions mondiales de Gaz à effets de serre augmenteront de 70 % à l'horizon 2050. Les industries productrices de sucre ou d'éthanol à partir de la canne à sucre, afin de produire "durable", ont ainsi développé la valorisation de la bagasse en développant la cogénération de vapeur et d'électricité.

La vapeur, puis l'électricité produites satisfont, dans un premier temps, les besoins de l'usine elle-même ; les excédents électriques peuvent ensuite être revendus aux réseaux nationaux d'électricité.

Afin d'augmenter la part des excédents électriques et en conséquence diminuer les coûts et l'empreinte énergétique de l'usine, il est nécessaire de réduire les consommations de vapeur et d'électricité des ateliers énergivores.

Dans cet objectif, Fives Cail a développé et mis sur le marché, pour chaque atelier de la sucrerie de cannes, des technologies innovantes et à haute performance énergétique. L'objectif de cet article consiste à présenter les principales caractéristiques et performances énergétiques obtenues avec deux équipements : le moulin d'extraction MillMax<sup>®</sup> et la caisse d'évaporation à flot tombant à tubes.

L'utilisation du logiciel CAMEIO<sup>™</sup> de Fives Cail a permis de réaliser une étude comparée entre technologies dites "conventionnelles" et technologies Fives Cail. Cette étude présente au paragraphe 4, la réduction des consommations énergétiques, la diminution de l'empreinte environnementale (émission des Gaz à Effets de Serre), et les gains financiers réalisables avec l'implémentation des technologies développées par Fives Cail.

## 2. Le moulin d'extraction : MillMax<sup>®</sup>

### 2.1. Technologies conventionnelles de moulins

La technologie de moulins dite "conventionnelle" désigne des moulins dont les rouleaux alimentateur et de décharge sont au même niveau avec un rouleau supérieur dit "flottant". Les moulins conventionnels comprennent trois ou quatre rouleaux, assurant 2 pressions successives sur la canne. Une lame fixe, « la bagassière », assure le passage de la canne entre la 1<sup>ère</sup> et la 2<sup>ème</sup> pression.

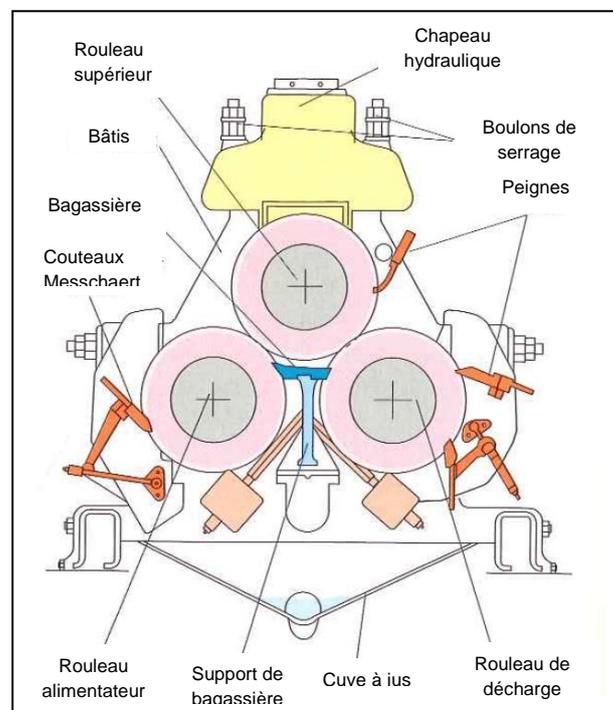
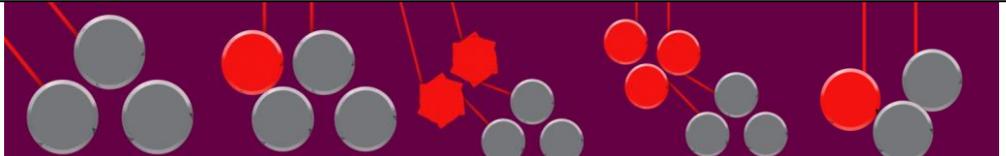


Figure 1 : Moulin 3 rouleaux conventionnel. (P.Rein-2007)

Pour améliorer leurs performances (capacité et quantité de jus sucré extraite), un, deux, puis trois rouleaux ont été rajoutés (Tableau 1).

Tableau 1 : Evolution des moulins					
Technologie de Moulin	Conventionnel	Conventionnel	Conventionnel	Conventionnel	MillMax®
Rouleaux presseurs	3	3	3	3	2
Rouleaux complémentaires (alimentateurs ou presseurs)	-	1	2	3	1
Schéma					

Cette évolution des moulins conduit à une augmentation de leur capacité tout en maintenant leurs performances constantes. Cette augmentation se fait, cependant, au détriment des coûts (investissement et maintenance) et de la consommation énergétique.

Dans le but de proposer des moulins qui ne présentent pas les inconvénients de coûts et de consommation induits par l'évolution des moulins conventionnels, Fives Cail a adopté une approche différente, basée sur un moulin à deux rouleaux presseurs, le MillMax®, que nous présentons ci-après.

## 2.2. Descriptif général du MillMax®

Le MillMax® peut être installé dans une batterie de moulins conventionnels, à toutes les positions : en première ou en dernière place, ainsi qu'en position intermédiaire. Il peut aussi équiper une batterie d'extraction complète.

L'optimum de travail du MillMax® est obtenu avec de bonnes préparations de la canne, avec des indices de préparation supérieurs à 90 %.

Chaque MillMax® se compose de 3 rouleaux, dont 1 rouleau alimentateur et 2 rouleaux dits "presseurs" (rouleaux supérieur et inférieur). Ces rouleaux reposent sur deux bâtis latéraux, chaque bâti latéral étant lui-même composé d'un bâti inférieur, d'un bâti supérieur et d'un bâti alimentateur.

Le MillMax® ne comporte qu'un seul "point" de pression (ou broyage), entre le rouleau supérieur et le rouleau inférieur. La canne est ensuite "évacuée" du moulin par un couloir réglable, permettant de limiter la réabsorption de jus par la bagasse. Ce couloir (Figure 2, g) est équipé à son extrémité de peignes destinés à assurer l'étanchéité jus-bagasse en sortie de MillMax®.

Les cylindres sont équipés en périphérie de "dents" et de canaux (Messchaert) dont la géométrie respective est étudiée de manière à éviter le glissement de la bagasse sur les cylindres et permettre un meilleur drainage du jus.

Les principaux éléments constitutifs du MillMax® sont indiqués dans le tableau 2 et la figure 2.

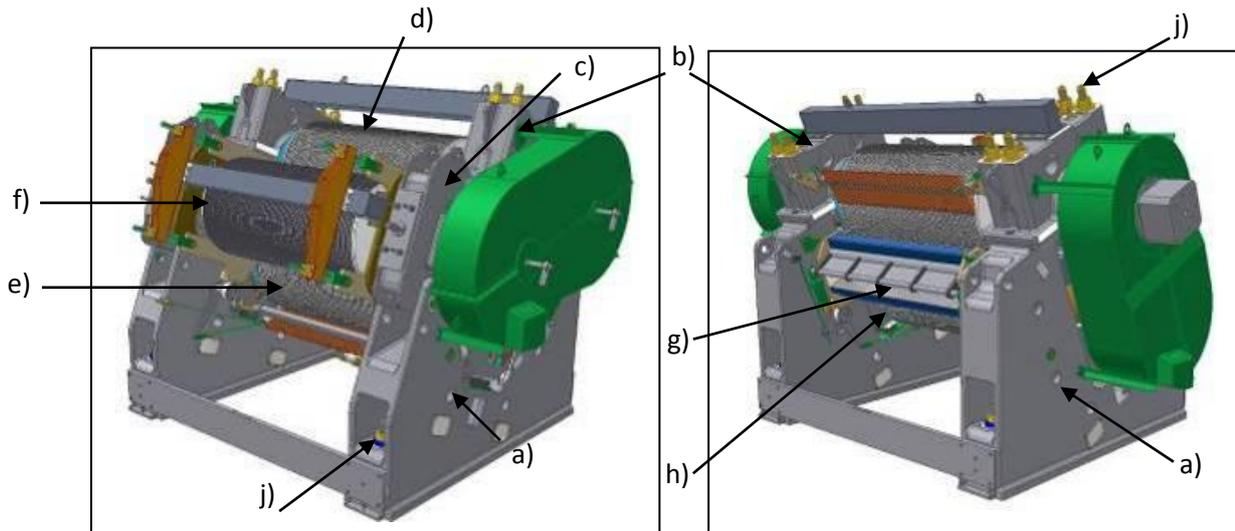


Figure 2 : Composants principaux du MillMax®

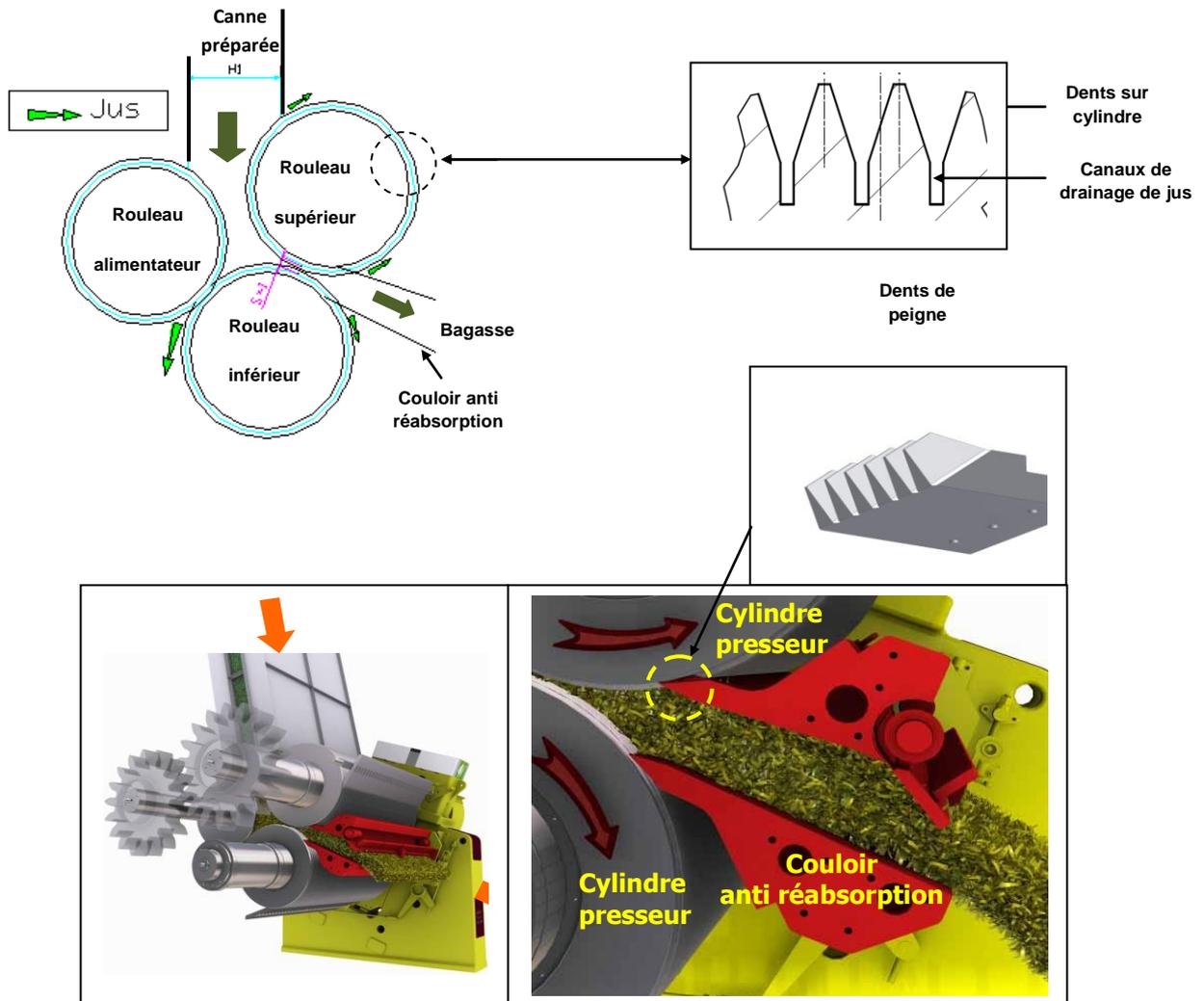


Figure 3 : Couloir anti-réabsorption du MillMax® (CAP)

**Tableau 2 : Principaux éléments constitutifs du MillMax®**

<i>Item</i>	<i>Description</i>
a	Bâtis latéraux
b	Bâtis supérieurs
c	Bâtis alimentateurs
d	Rouleau presseur haut
e	Rouleau presseur bas
f	Rouleau alimentateur
g	CAP®: Système de limitation de réabsorption de la bagasse
h	Couteaux Messchaert
i	Tirants de bâtis
j	Tirants de fondation

Le MillMax® est un moulin dont les caractéristiques principales sont les suivantes :

- il n'y a pas de bagassière pour canaliser la trajectoire de la canne ;
- il n'y a pas de pression hydraulique appliquée au rouleau presseur supérieur ;
- un rouleau alimentateur assure une alimentation stable en cannes des rouleaux presseurs
- les deux rouleaux presseurs sont équipés de canaux Messchaert associées à des couteaux ;
- un couloir réglable situé en sortie de MillMax®, le CAP®, permet de contrôler la réabsorption de jus par la canne.

### 2.3. Consommations électriques du MillMax®

Le tableau 3 ci-dessous présente les consommations électriques relevées sur quatre sites différents.

**Tableau 3 : Consommation électrique des MillMax®**

<b>Implantation</b>	<b>Pakistan</b>	<b>Guadeloupe</b>	<b>Inde</b>	<b>Sénégal (1)</b>
Position dans la batterie	1	1	1 à 4	1 à 5
Largeur (m)	2,134	1,980	1,980	2,134
Taux de fibre (%)	15	14	-	17
Capacité (Tonnes de canne par heure)	325	250	210	270
Puissance absorbée (kW) (2)	420	385	-	271
Puissance absorbée spécifique moyenne (kW / Tonnes de fibre par heure)	8,9	6,5	6,7	5,9

(1) L'installation ne fonctionne pas encore dans les conditions nominales

(2) L'entraînement des MillMax® est réalisé par moteur électrique dans les configurations ci-dessus

Les résultats obtenus démontrent que les puissances absorbées spécifiques du MillMax<sup>®</sup> sont, pour des performances process comparables, significativement inférieures à celles des moulins de technologies conventionnelles dont les puissances absorbées spécifiques varient de 10 à 13 kW/ Tonne de fibre par heure. En effets, l'absence de bagassière et la présence d'un point unique de pression réduisent les pertes énergétiques.

#### 2.4. Conclusions sur le moulin MillMax<sup>®</sup>

Les travaux de développement réalisés par Fives Cail sur le moulin d'extraction de jus, le MillMax<sup>®</sup>, ont permis de développer un équipement dont les performances énergétiques sont supérieures à celles des moulins de technologie conventionnelle. Les nombreux MillMax<sup>®</sup>, installés notamment par Fives Cail au Brésil, à la Guadeloupe, au Sénégal, en Inde et au Pakistan ont démontré des coûts d'installation et de maintenance réduits.

### 3. L'évaporateur à flot tombant à tubes

Fives Cail a conçu et fourni des évaporateurs à flot tombant pour l'industrie sucrière, d'abord en betterave, puis en canne, pour les effets 1 à 5, ainsi qu'en concentration en raffinerie.

#### 3.1. Technologies conventionnelles de caisses d'évaporation

Les technologies de caisses d'évaporation conventionnelles sont multiples. Nous effectuerons une comparaison de caisses d'évaporation à flot tombant avec les deux technologies conventionnelles suivantes : la caisse d'évaporation à grimpage type "Robert" et la caisse d'évaporation à grimpage type "Kestner".

#### 3.2. Description générale de l'évaporateur à flot tombant

##### 3.2.1. Conception du faisceau

La figure 4 ci-dessous présente une illustration schématique d'un évaporateur à flot tombant en sucrerie de cannes. Elle décrit l'installation générale de l'évaporateur avec :

- en partie haute : le système de distribution de jus,
- en partie centrale : le faisceau de tubes,
- en partie basse : la boîte de collecte de jus et le système de séparation vapeur-gouttelettes.

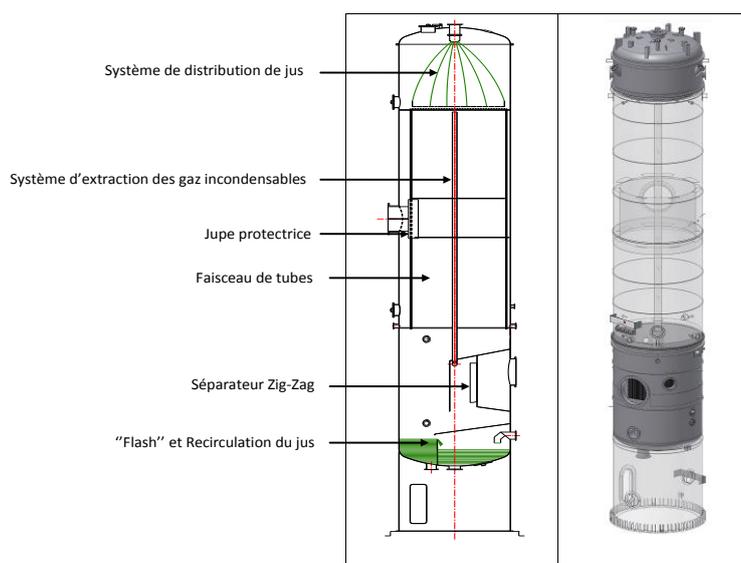


Figure 4 : Schéma de l'évaporateur à flot tombant

L'entrée de vapeur se situe au milieu de la hauteur du faisceau. Une jupe de protection ceinture le faisceau sur une hauteur de 2 à 3 mètres. Cette jupe protège le faisceau des vibrations induites par le flux de vapeur entrant dans le faisceau. Les gaz incondensables sont extraits par un tube central unique, percé régulièrement sur toute sa hauteur. On obtient ainsi un balayage efficace du faisceau, une très faible vitesse d'attaque des tubes périphériques par la vapeur, de l'ordre de 2 m/s (ainsi, il n'y a pas de sollicitation mécanique par mise en vibration), et une bonne extraction des gaz incondensables.

### 3.2.2. Système de distribution de jus

Le principal problème technique inhérent à l'évaporateur à flot tombant est l'écoulement uniforme du liquide le long des tubes. Il est indispensable que toute la surface de chauffe soit en permanence en contact avec le jus sucré afin d'éviter une surconcentration donnant lieu à une incrustation ou une dégradation du tube. Ainsi, pour être correct, le « mouillage » des tubes doit permettre une alimentation en jus homogène et suffisante pour chaque tube.

Le jus entrant est "flashé" en partie basse de l'évaporateur de manière à ne pas perturber l'alimentation et la distribution du jus dans les tubes effectuées dans la partie haute de l'évaporateur. Le jus est pompé du bas vers le haut de l'évaporateur puis distribué en 3 étapes.

Le tuyau d'entrée et les buses d'aspersion distribuent le jus sur un bac de distribution. Le jus est ensuite évacué du bac de distribution par des orifices positionnés et dimensionnés de manière à maintenir un niveau constant et homogène de jus dans le bac, et assurer une distribution régulière et uniforme du jus à travers chaque orifice (Figure 5).

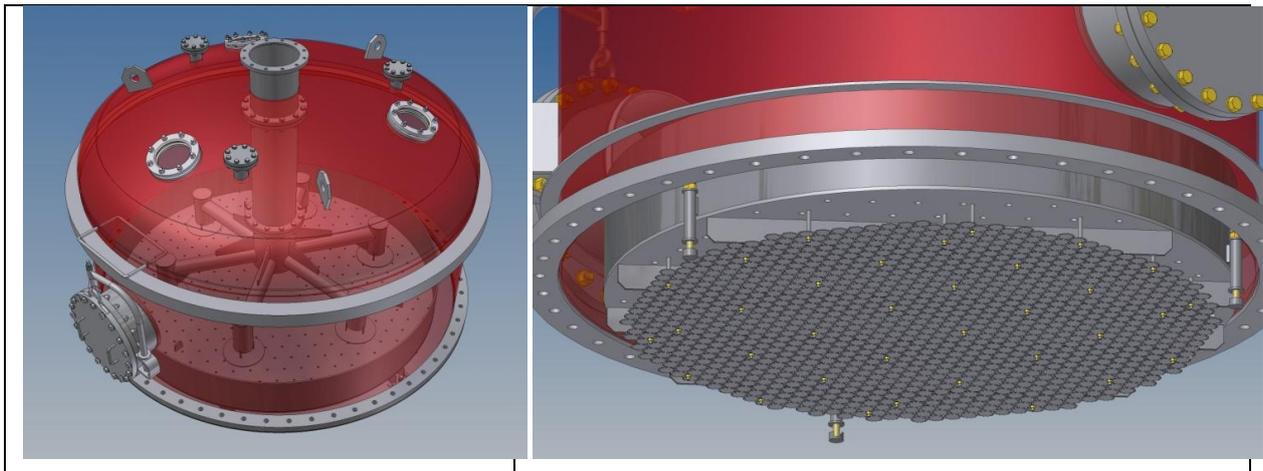


Figure 5 : Système de distribution de jus

Figure 6 : Plaque de distribution de jus sous bac de distribution

Une plaque de distribution de jus située en dessous du bac de distribution permet enfin la répartition du jus dans chaque tube afin d'obtenir un écoulement en film uniforme sur toute la périphérie interne du tube (Figure 6).

### 3.2.3. Extraction des incondensables

La vapeur entrant dans le faisceau contient des petites quantités de gaz incondensables (inertes), principalement air, ammoniac, et dioxyde de carbone. La vapeur se condensant, ces gaz tendent à s'accumuler dans des zones 'mortes' du faisceau. La présence de ces gaz incondensables peut affecter l'échange thermique entre la vapeur et le jus de 2 façons :

- le coefficient d'échange thermique entre la vapeur et la surface du tube est réduit. Les molécules de ces gaz étant amenées à la surface de condensation par le mouvement de vapeur donnent naissance à une résistance thermique à l'interface ;

- la pression partielle de ce gaz augmentant, la pression partielle de vapeur d'eau diminue et la température de condensation chute, diminuant ainsi la différence de température à travers la surface d'échange.

Le système d'extraction des gaz incondensables développé par Fives Cail, présenté sur la figure 7 ci-dessous, consistant en un tube central, comporte des ouvertures régulièrement réparties sur toute la hauteur du faisceau. La conception du système d'extraction des gaz incondensables, associé à un 'balayage' vapeur correct, permet une extraction maximale des gaz incondensables. Fives Cail préconise un débit de 'balayage' vapeur qui ne doit pas être inférieur à 2,5 % du débit vapeur entrant dans le faisceau

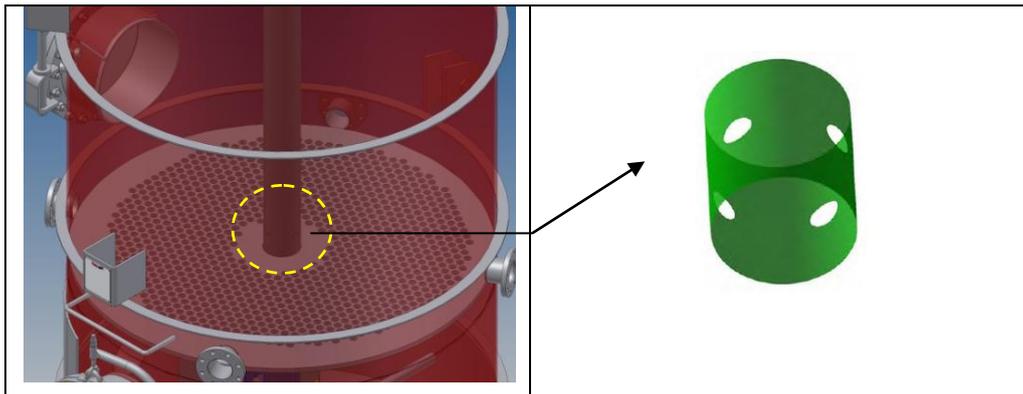


Figure 7 : Système d'extraction des incondensables

#### 3.2.4. Séparateur vapeur – gouttelettes de jus sucré

Un séparateur « Zig-Zag » est utilisé afin de séparer les gouttes de jus de la vapeur. Ce type de séparateur est plus efficace qu'un séparateur centrifuge et permet d'éviter l'encrassement. Ce type de séparateur est nettoyé par injection d'eau. La fréquence de nettoyage est définie suivant l'installation.



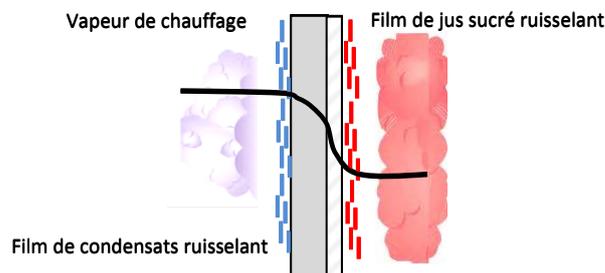
Figure 8 : Séparateur Zig-Zag (photos Lechler)

#### 3.2.5. Temps de résidence, coloration des jus et pertes en sucre

En sucrerie de betteraves, Morgenroth (4) illustre, pour un effet donné, la différence des temps de résidence entre une technologie d'évaporateur à grimpage type Robert et à flot tombant. Le temps de résidence du jus dans une station d'évaporation à technologie Robert est significativement supérieur au temps de résidence de jus dans une station d'évaporation à flot tombant. Selon Morgenroth (4), la coloration du jus clair est augmentée de 300 à 500 % (jus

de betterave non sulfité) avec la technologie Robert et de 10 à 20 % avec la technologie à flot tombant. Bien que non mesurée, la situation quant aux pertes en sucre pourrait être similaire.

### 3.3. Coefficient global d'échange thermique et consommations vapeur



**Figure 9 : Profil de température en régime stationnaire, dans un évaporateur flot tombant, entre la vapeur de chauffe jusqu'au jus sucré en ébullition.**

Le coefficient de transfert  $h$  entre paroi et jus sucré en ébullition, facteur limitant du transfert de chaleur pour les produits concentrés visqueux tel que les jus sucrés, est le plus difficile à prévoir.

Les études réalisées sur des évaporateurs à flot tombant installés en 1<sup>er</sup> et 2<sup>nd</sup> effets, respectivement sur les sites du Gol et de Bois-Rouge [1], ont été effectuées en estimant uniquement le coefficient d'échange global.

Le coefficient de transfert global  $H_g$ , incluant (Figure 9) la 'résistance' de conduction à travers la paroi, la 'résistance' du côté liquide, avec une résistance thermique d'encrassement sur la surface d'échange (renc), est calculé suivant l'équation suivante :

$H_g = \Phi / (S \cdot \Delta T)$  avec :

$\Phi$  Chaleur latente de vaporisation en W

$S$  : surface d'échange en  $m^2$ , calculée sur le diamètre interne des tubes

$\Delta T$  : Différence de température entre la vapeur d'entrée et la température du jus en  $^{\circ}K$ .

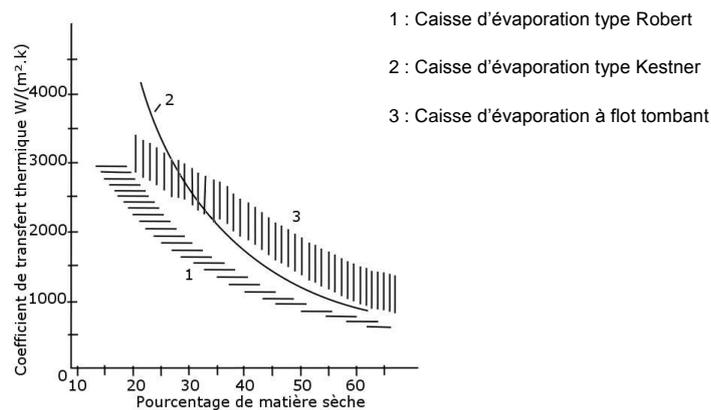
Les résultats issus des études ont permis de mesurer des coefficients d'échange globaux supérieurs à 3 000  $W/m^2 \cdot ^{\circ}K$  lorsque l'évaporateur est propre, pour les effets 1 et 2.

Les coefficients d'échange obtenus sont supérieurs à ceux obtenus avec d'autres technologies d'évaporation. Le tableau 4 ci-dessous résume les coefficients d'échange mesurés ou issus de la bibliographie pour différentes technologies de caisses d'évaporation pour 1<sup>er</sup> et 2<sup>ème</sup> effets.

Tableau 4 Coefficient d'échange global $W/(m^2 \cdot K)$		
Type évaporateur*	1 <sup>er</sup> effet	2 <sup>ème</sup> effet
Robert *	3 000 -2 500	1800-3 000
Kestner	2 900	2 100
Flot tombant (plaques)*	2 600-3 000	-
Flot tombant (tubes)	>3 000	>3 000

\*Rein (2007)

En outre, ces résultats démontrent que les constatations de Baloh [2] selon lesquelles la technologie d'évaporation à flot tombant présente des coefficients d'échange élevés en jus sucré de betteraves, sont également applicables en jus de cannes.



**Figure 10 : Coefficient d'échange global différentes technologies de caisses d'évaporation**

La technologie à flot tombant réduit les chutes de température entre les différents effets par l'absence de chute de température hydrostatique. Il est ainsi aisé d'opérer, en technologie d'évaporation à flot tombant, avec 5, voire 6 effets, permettant ainsi une consommation de vapeur minimale. Ceci est impossible avec les technologies de caisse d'évaporation conventionnelles.

Sur les sites du Gol et de Bois-Rouge, l'installation de caisses d'évaporation à flot tombant a permis d'étendre la station d'évaporation à 6 effets. Les consommations de vapeur sur le site du Gol ont été significativement diminuées. Ainsi, la consommation vapeur moyenne (à 2,7 bar abs et 150°C) était de 367 kg/tonne de cannes lors de la campagne 2007, année d'installation des caisses d'évaporation à flot tombant, à comparer à une consommation vapeur de 410,5 kg par tonne de cannes lors des campagnes précédentes.

Ceci représente un gain de 10 % en termes de consommation vapeur.

### **3.4. Nettoyage des évaporateurs à flot tombant**

Les caisses d'évaporation à flot tombant permettent un nettoyage chimique et/ou mécanique efficace et sécurisé.

Le même système de distribution décrit sur les figures 3 et 4 est emprunté par la solution de soude caustique destinée au nettoyage chimique. Ceci permet une régularité de la répartition de la soude et en conséquence un nettoyage optimum des tubes constituant le faisceau.

L'installation de vannes automatiques permet une opération sécurisée du nettoyage chimique (alcalin) des caisses d'évaporation à flot tombant. En effet, l'automatisation du nettoyage minimise, voire supprime tout risque d'erreur lié à la manœuvre de vannes d'isolement.

Le nettoyage mécanique se fait par un système mécanique de jet à très haute pression (800 bar) à buses, type Hydrojet, après ouverture des trous d'homme pour accès et relevage du bac de distribution.

La conception des caisses d'évaporation permet aux opérateurs une bonne accessibilité aux tubes et le temps de nettoyage de chaque tube ne dépasse pas 30 secondes.

Cette facilité de nettoyage est un élément important du fonctionnement de la caisse d'évaporation à flot tombant.

En effet, des essais réalisés sur caisses d'évaporation montrent que le coefficient d'échange est de l'ordre de 3 000/3 500 W/m<sup>2</sup>.°C lorsque la caisse est propre et diminue progressivement

sur 6 jours d'exploitation. Le 7<sup>ème</sup> jour, la caisse est lavée et les performances initiales sont retrouvées. La figure 11 ci-dessous présente l'évolution du coefficient d'échange par semaine au cours de 14 semaines d'essais. Celui-ci se révèle très stable, le nettoyage des caisses est aisé et il n'y a pas d'effet cumulatif de l'encrassement.

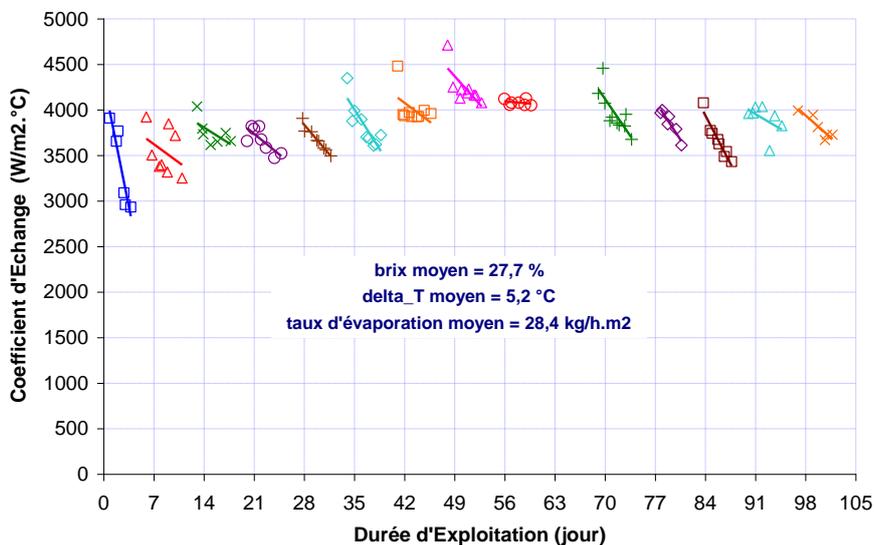


Figure 11 : Evolution du coefficient d'échange sur caisse d'évaporation à flot tombant – essais Le Gol (2)

### 3.5. Conclusions évaporateur à flot tombant

Les travaux de développement réalisés par Fives Cail sur l'évaporateur à flot tombant en sucrerie de cannes ont permis de surmonter les problèmes liés à l'importante « thermosensibilité » du jus sucré concentré de canne, à savoir des risques élevés d'encrassement du système de distribution et de la surface d'échange. Les nombreuses caisses d'évaporation à flot tombant installées notamment par Fives Cail au Brésil, à la Guadeloupe, à La Réunion et aux Philippines ont démontré des conditions d'opération et de maintenance aisées, ainsi que d'excellentes performances thermiques. Celles-ci ont pour effet de diminuer significativement les consommations en vapeur de la sucrerie de cannes et de conjointement augmenter les gains et réduire l'empreinte énergétique de la sucrerie.

## 4. Etude comparée des gains énergétiques entre technologies conventionnelles et technologies innovantes : MillMax® et évaporateurs à flot tombant

### 4.1. Simulation des gains réalisables – Logiciel CAMEIO™

Fives Cail a développé un logiciel simulant le fonctionnement d'une sucrerie de cannes, existante, en cours de rénovation, ou d'une nouvelle installation. Le logiciel CAMEIO™ permet simultanément :

- de faire varier, pour chaque étape du process sucrier, les données de l'usine ;
- de sélectionner le type d'équipements installé (quantité et technologie conventionnelle ou innovante) ;
- de définir la configuration de l'usine : présence (ou non) d'une distillerie, d'une raffinerie, d'un système de cogénération...

Pour une usine existante, le logiciel CAMEIO™ permet de déterminer les ateliers ou équipements éventuellement sous-dimensionnés en comparant les résultats issus du modèle théorique et les mesures réalisées en usine.

Pour une usine existante à rénover, ou pour une usine nouvelle, il est possible de comparer les revenus issus de la production de sucre, d'éthanol, d'électricité, ou de crédits CO<sub>2</sub> suivant différentes configurations d'usine. Le logiciel CAMEIO™ participe ainsi à la définition ou la validation l'orientation des choix technologiques assurant une maximisation des revenus. La figure 12 ci-dessous présente de manière schématique le principe de la simulation pouvant être effectuée.

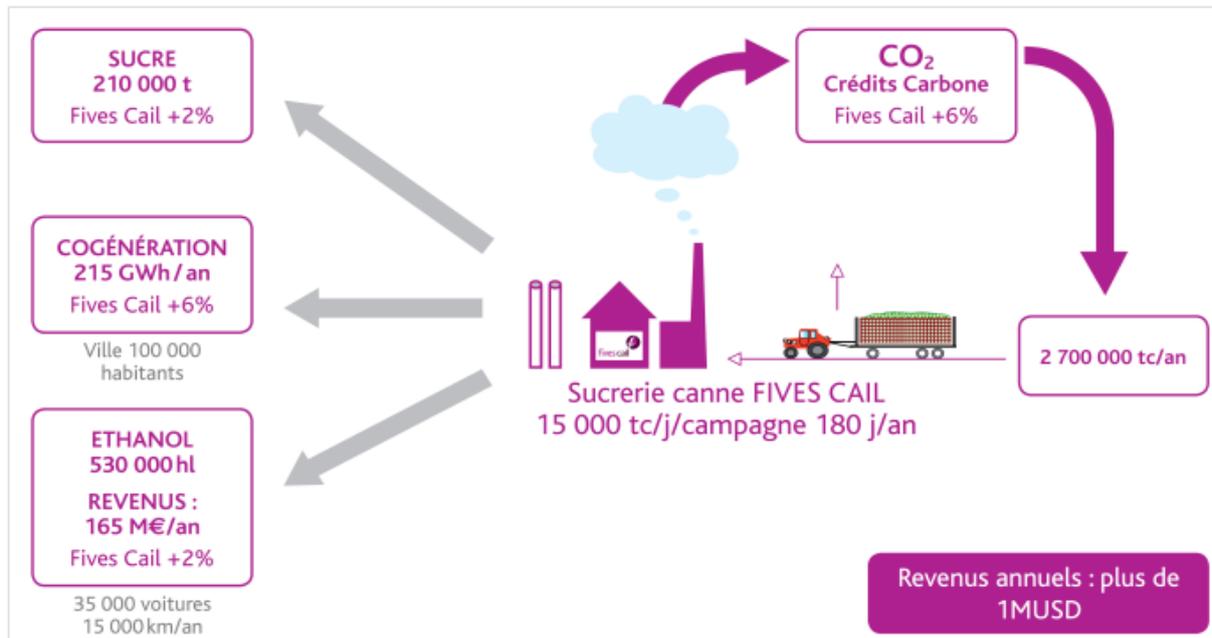


Figure 12 : Schéma de simulation d'une sucrerie de cannes par le logiciel CAMEIO™

#### 4.2. Données de base

Le tableau 5 présente les données de base considérées pour effectuer les simulations de fonctionnement de 3 sucreries de cannes sous le logiciel CAMEIO™ :

- une sucrerie de cannes "conventionnelle", produisant du sucre roux avec des équipements de technologie dite conventionnelle, pratiquant la cogénération de vapeur et d'électricité ;
- une sucrerie de cannes "mixte" produisant du sucre roux avec des moulins de technologie MillMax® et des caisses d'évaporation de technologie conventionnelle, pratiquant la cogénération de vapeur et d'électricité ;
- une sucrerie de cannes "moderne" produisant du sucre roux avec des équipements de technologie innovante, MillMax® et caisses d'évaporation à flot tombant, pratiquant la cogénération de vapeur et d'électricité

Ces 3 sucreries seront arbitrairement installées dans la même zone géographique pour faciliter la comparaison des résultats obtenus.

Les consommations électriques et de vapeur des différents équipements considérés sont issues de mesures réalisées par Fives Cail ou par des usines.

**Tableau 5 : Données de base simulation numérique**

Capacité de cannes ( <i>Tonnes de cannes par jour</i> )	10 000		
Taux de fibre (%)	14		
POL cannes (%)	14		
Pureté cannes (%)	85		
Durée campagne (jours)	210		
Pays	Sénégal		
Facteur d'émission (kg CO <sub>2</sub> / MWh)	726		
Prix du MWh (€ / MWh)	55		
Prix tonne CO <sub>2</sub> évité (€/Tonne)	12		
Type d'usine	Conventionnelle	Mixte	Moderne
Avant usine	Coupe-cannes, shredder gravitaire, avec motorisation électrique, imbibition 200%		
Technologie moulins	Conventionnelle	MillMax®	MillMax®
Technologie Evaporation	Type Robert	Type Robert	Type Flot Tombant
Process	Cristallisation : trois jets cuites continues, schéma C-B-A		
Chaudière	60 bar abs, 470°C, vapeur process 2 bar abs		
Production électrique	Turboalternateur contre-pression + Turboalternateur à condensation		
Raffinerie		Non	
Bagasse revendue		Non	
Distillerie		Non	
Electricité revendue		Oui	
Crédits CO <sub>2</sub>		Oui	

### 4.3. Consommations énergétiques et émissions de Gaz Effets de Serre, gains financiers

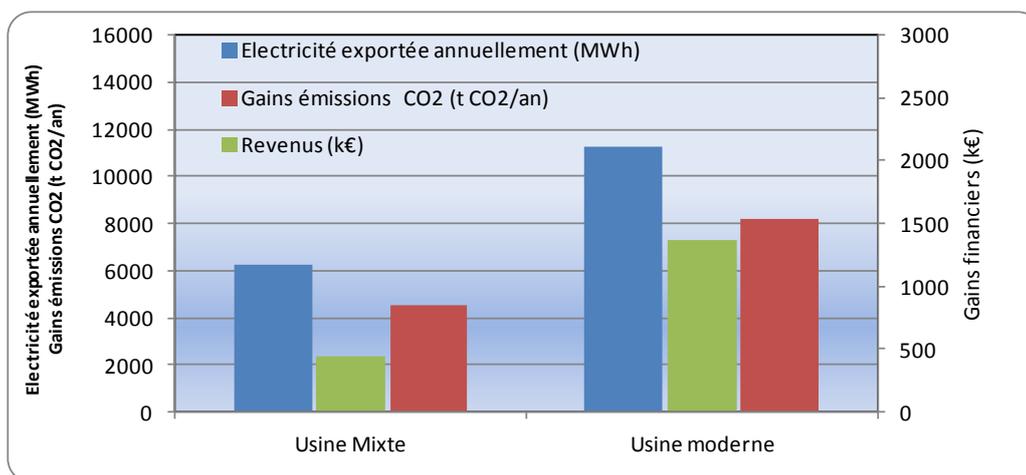
Le tableau 6 ci-dessous présente les résultats obtenus par la simulation numérique pour les 3 configurations d'usine décrites ci-dessus. Nous présentons notamment, pour la ligne d'extraction et la ligne d'évaporation, les écarts d'électricité exportables et les gains correspondants en termes d'émissions de gaz à effets de serre. Enfin nous présentons les gains financiers potentiels suivant la configuration de l'usine.

<b>Tableau 6 : Electricité exportable, gains émission GES et gains financiers</b>			
Type d'usine	Conventionnelle	Mixte	Moderne
Nombre moulins batteries	5	5	5
Imbibition (% / fibre)	200	200	200
Performances Ext.POL, Humidité bagasse	96,6 / 50	96,6 / 50	96,6 / 50
Puissance absorbée spécifique (kW/ tonnes de fibre heure)	13.3	9	9
Puissance absorbée (kW)	4 245	2 890	2 890
Consommation électrique annuelle (MWh)	19 610	13 350	13 350
Nombre effets	5	5	5
Surface installée (m <sup>2</sup> )	16 000	16 000	15 000
Vapeur de réchauffage 1 <sup>er</sup> effet (°C)	125	125	125
Consommation de vapeur station évaporation (T/h)	146,7	146,7	131,4(1)
<b>Electricité exportable réseau annuellement (MWh)</b> (Différence avec usine conventionnelle)	<b>0*</b>	<b>+6 260</b>	<b>+ 11 280</b>
<b>Emission de GES évitables (tCO<sub>2</sub>/an)</b>	<b>0*</b>	<b>4 540</b>	<b>8 190</b>
<b>Gains potentiels (k€)</b>	<b>0*</b>	<b>+ 416</b>	<b>+ 1371</b>

\* : valeur de référence

(1) Les prélèvements vapeur sont optimisés suivant la configuration de la station d'évaporation.

La figure 13 illustre sous forme de graphique les résultats issus du tableau ci-dessus entre une usine conventionnelle, mixte ou moderne.



**Figure 13 : Electricité exportée, gains en émission GES et gains financiers par an suivant configuration d'usines**

Pour la ligne d'extraction de jus, les résultats ci-dessus illustrent les avantages de la technologie MillMax<sup>®</sup> pour laquelle la consommation électrique est inférieure de 30 % à celle observée pour des moulins de technologie conventionnelle. Dans la configuration d'usines suivant le tableau 5, l'installation de MillMax<sup>®</sup> permettrait d'exporter 6 260 MWh par an,

correspondant à un gain, en termes d'émission de Gaz à Effets de Serre, de 4 540 Tonnes par an.

Pour la ligne d'évaporation du jus, les résultats ci-dessus illustrent les avantages de la technologie de caisses d'évaporation à flot tombant, pour laquelle la consommation de vapeur est inférieure de 10 % à celle observée pour caisses d'évaporation de technologie conventionnelle, notamment par l'ajout d'un effet complémentaire, l'optimisation des prélèvements vapeur, et dans une proportion moindre par des coefficients d'échange thermiques élevés.

Dans la configuration d'usine suivant le tableau 5, l'installation conjointe de MillMax<sup>®</sup> et de caisses d'évaporation à flot tombant permettrait d'exporter 11 280 MWh par an, correspondant à un gain de 8 190 Tonnes par an en termes d'émission de Gaz à Effets de Serre.

La simulation numérique a été réalisée sur un nombre d'effets identiques (5).

## 5. Conclusion

L'implantation de technologies innovantes tels le MillMax<sup>®</sup> ou la caisse d'évaporation à flot tombant permet de réduire les consommations énergétiques des lignes de préparation et d'évaporation de jus. De ce fait, l'empreinte énergétique et environnementale de la sucrerie de cannes est significativement réduite. Les intérêts liés à ces éco-équipements sont conjointement environnementaux et financiers. En effet, l'emploi de technologies économes en électricité ou en vapeur permet de favoriser d'autres sources de revenus que le sucre produit lui-même, à savoir l'électricité exportée au réseau et les gains "carbone".

Le développement d'équipements à haute performance énergétique, tel le Shredder En Ligne, l'utilisation de technologies valorisant les résidus de la canne (feuilles et pailles), la culture de cannes à haute teneur en fibre représentent plusieurs pistes permettant de réduire dans le futur l'empreinte environnementale de la sucrerie de cannes. Les sociétés de l'industrie sucrière doivent éco-innover et participer à une économie verte.

## Références bibliographiques

- [1] Magalhaes , J.L (2008).Le MillMax<sup>®</sup> : une technologie d'avant-garde en extraction cannes article – Congrès AFCAS
- [2] Coustel, J (2009) Falling-film evaporator performance results from two Reunion Island factories – Zucker Industrie
- [3] Baloh, A. (1991): Energiewirtschaft in der Zucker Industrie, Berlin, Verlag Dr. Albert Bartens, p. 283- 287
- [4] Morgenroth, Darren Jayatilaka (1997). Development of Plate Evaporator Technology, The Market Place and the Choice for the Sugar Engineer. EuroTech Link 97, British Sugar
- [5] Magalhaes , J.L (2010)., Bilan environnemental des technologies en sucrerie de cannes, Congrès IAA
- [6] OCDE (2009), La production durable et l'éco-innovation au service d'une économie verte - Synthèses