

Bilan environnemental des technologies en sucrerie de canne

Jean-Luc Magalhaes,

Fives Cail

RÉSUMÉ

Cet article présente les performances énergétiques et les émissions de gaz à effet de serre (GES) des équipements de l'avant-usine (préparation et extraction) et de l'atelier process sucre (évaporation, cristallisation, essorage et séchage) d'une unité industrielle d'exploitation de la canne à sucre.

Différentes technologies ont été comparées et font ressortir les technologies de Fives Cail qui présentent des avantages énergétiques significatifs.

En ce qui concerne les émissions de GES, les technologies économes en énergie sont aussi celles qui limitent le plus les émissions de GES. Les émissions durant la fabrication et la fin de vie des équipements sont très faibles en comparaison à celles de la phase d'utilisation des produits.

ABSTRACT

This paper presents energy performance and greenhouse gas (GHG) emissions of front end equipment (preparation and extraction) and of sugar process equipment (evaporation, crystallization, curing and drying) of a sugarcane factory.

Different technologies have been compared and highlighted Fives Cail technologies which have significant energy advantages. As regards GHG emissions, energy-efficient technologies limit the majority of GHG emissions. GHG emissions for fabrication and end-of-life of equipment are very small compared to operation emissions.

1 - ENJEUX

Au cours de ces dernières années, les sucreries de canne ont subi d'importantes mutations.

La première de ces mutations a consisté à valoriser au mieux la bagasse en orientant les sucreries vers la cogénération de vapeur et d'électricité pour satisfaire les besoins du site industriel dans un premier temps et ensuite valoriser les excédents de production électrique. Ces excédents sont alors revendus au réseau électrique local ou utilisés pour couvrir d'autres besoins tels que l'irrigation. Pour réaliser cette mutation efficacement, il est nécessaire de réduire les consommations de vapeur et d'électricité des ateliers énergivores en augmentant les capacités d'une part et en optimisant les procédés et les technologies d'autre part. Cette mutation est en cours et est loin d'être achevée : de nombreuses sucreries ont encore besoin d'optimisations approfondies.

De plus, cette production d'électricité à partir de biomasse permet de limiter les émissions de gaz à effet de serre (GES). Ces émissions évitées peuvent être financées par le « Clean Development Mechanism (CDM) » : en 2010, 90 projets de cogénération sont financés dans 16 pays. Ces projets évitent l'émission de 4,3 millions de tonnes de CO₂ chaque année (UNFCCC).

La deuxième de ces mutations a consisté à diversifier l'utilisation de la canne à sucre avec le développement de la production de bioéthanol.

Le sucre n'est donc plus le seul produit issu de l'exploitation de la canne à sucre : l'électricité, l'éthanol et le CO₂ représentent désormais une part importante de la production et des revenus des industriels du secteur (figure 1).

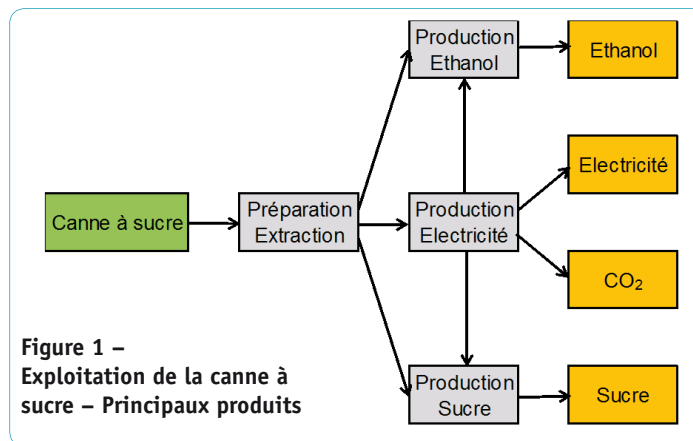


Figure 1 –
Exploitation de la canne à sucre – Principaux produits

Cette filière industrielle rajoute donc à ses préoccupations traditionnelles, l'agriculture et le process sucrier, de nouvelles préoccupations relatives à l'énergie et l'environnement (Moor, Rein). Ces préoccupations conduisent même les industriels ou les distributeurs à communiquer vers le grand public : Tate and Lyle, British Sugar précisent les émissions de GES de leurs productions de sucre blanc, roux ou raffiné. De son côté, la filière bioéthanol fait l'objet d'analyses détaillées, en particulier au Brésil (BNDES, Macedo, Wang).

Dans ce contexte où les impératifs industriels, économiques et environnementaux sont intimement liés, cet article a pour objet de quantifier le bilan environnemental des principales technologies utilisées en sucrerie de canne. Pour les aspects environnementaux, nous nous focaliserons plus particulièrement sur l'énergie et les GES.

2 - ÉVALUATIONS

Les technologies que nous évaluons ci-après sont celles utilisées par le tronc commun de traitement de la canne à sucre (préparation et extraction) d'une part et les principales technologies de l'atelier process sucrier (cf. tableau 1 page suivante) d'autre part :

- **Pour ce qui concerne la préparation de la canne :** les coupe-cannes et le shredder gravitaire qui représentent la technologie conventionnelle, puis le shredder en ligne,
- **Pour ce qui concerne l'extraction du jus sucré de la canne :** les moulins conventionnels, les MillMax® et le diffuseur,
- **Pour ce qui concerne l'atelier process de production du sucre :** les évaporateurs à flot tombant et à grimpage, puis les cuites continues et discontinues, puis les essoreuses continues et discontinues et enfin les sècheurs.

Pour ces différentes technologies nous avons évalué les consommations en énergie et en matières d'une part, puis les émissions de gaz à effet de serre (GES) d'autre part. Les phases du cycle de vie des technologies qui ont été prises en compte sont la fabrication, le transport et l'installation sur site, puis l'utilisation et, enfin, le démantèlement en fin de vie.

Les données utilisées pour toutes ces évaluations sont précisées au paragraphe 3. Les évaluations des technologies sont ensuite présentées au paragraphe 4.

Atelier	Technologies évaluées	Produits concernés
Avant-usine		
Préparation de la canne	Coupe-cannes et shredder gravitaire Shredder en ligne	Energie, sucre, éthanol
Extraction du jus sucré	Moulins MillMax® Diffuseur	Energie, sucre, éthanol
Process sucre		
Concentration jus	Evaporateurs à flot tombant Evaporateurs à grimpage	Sucre
Cristallisation	Cuites continues Cuites discontinues	Sucre
Essorage	Essoreuses discontinues Essoreuses continues	Sucre
Séchage sucre	Sécheur multitube	Sucre

Tableau 1 – Technologies évaluées

3 - DONNÉES DE BASE

L'usine considérée est une usine qui produit du sucre roux et cogène la vapeur et l'électricité dont elle a besoin. L'excédent d'électricité est fourni au réseau électrique local. Les caractéristiques retenues sont des valeurs typiques rencontrées aujourd'hui.

Les tableaux 2 et 3 présentent les caractéristiques de la canne à sucre et de l'usine. Elles ont permis de dimensionner les équipements puis de déterminer leurs consommations.

Item	Valeur
Cannes traitées	10000 t/j
Fibres canne	14 %
Pol canne	14 %
Pureté jus canne	85 %
Durée campagne	210 jours

Tableau 2 – Caractéristiques de la canne

Item	Valeur
Chaudière	60 bar 470 °C Vapeur process : 2 bar
Avant-usine	Coupe-cannes, shredder gravitaire 5 moulins conventionnels Motorisations électriques Imbibition : 250%
Process	Evaporation : grimpage à cinq effets Cristallisation : trois jets, cuites batch, refonte des jets B et C affinés

Tableau 3 – Caractéristiques générales de l'usine

Les consommations électriques des différents équipements considérés sont issues de mesures réalisées sur site par Fives Cail ou par des usines pour ce qui concerne nos équipements propriétaires. Pour les autres équipements, nous avons considéré des valeurs publiées dans la littérature sucrière. Les consommations de vapeur sont issues de nos modèles d'usines, utilisés et validés au cours des expertises réalisées pour nos clients au fil des années. Pour évaluer les émissions de GES d'un équipement, il faut considérer les activités unitaires du cycle de vie de cet équipement. Ces activités sont l'utilisation de matériaux pour la fabrication, la maintenance, l'utilisation, le recyclage..., l'utilisation de ressources énergétiques pour la fabrication, l'utilisation, le fret et le transport de personnel. Les émissions de GES pour ces activités unitaires sont caractérisées par leurs facteurs d'émission, qui

représentent la quantité de GES émise au cours de ces activités. De nombreux facteurs d'émission sont disponibles dans des bases de données internationales reconnues. Le tableau 4 précise ceux qui ont été utilisés.

Item	Facteur d'émission	Référence
Electricité (Brésil)	283,00 kg CO ₂ / MWh	BNDES and CGEE
Acier recyclé	1,10 kg CO ₂ / kg	ADEME
Béton	0,37 kg CO ₂ / kg	ADEME

Tableau 4 – Facteurs d'émission

4 - BILAN ENVIRONNEMENTAL DES TECHNOLOGIES EN SUCRERIE DE CANNE

4.1 - Préparation de la canne

La préparation de la canne consiste à rendre accessibles les cellules contenant le jus sucré pour extraire celui-ci ultérieurement. Cette opération doit se dérouler sans perte de jus et est caractérisée par son indice de préparation. Nous avons considéré deux technologies très répandues : la préparation conventionnelle et le shredder en ligne (S. Inskip). Ces deux technologies permettent d'obtenir les mêmes résultats en ce qui concerne l'indice de préparation. Le shredder en ligne présente, par rapport à la préparation conventionnelle, plusieurs différences : il nécessite peu d'équipements et il a un encombrement au sol limité. Nous avons pris en compte pour ces deux technologies des motorisations électriques qui sont bien adaptées à la cogénération. Le tableau 5 présente les caractéristiques principales de ces deux technologies.

Technologie	Préparation conventionnelle	Shredder en ligne
Composants principaux	1 transporteur principal ; 1 niveleur 2 coupe-cannes 1 transporteur auxiliaire ; 1 shredder gravitaire ; Motorisations électriques	1 transporteur principal ; 1 niveleur ; 1 shredder en ligne ; Motorisations électriques
Performances : indice de préparation de la canne	>90 %	>90 %
Puissance absorbée	4064 kW	3403 kW
Consommation électrique annuelle	20482 MWh	17151 MWh
Emissions de GES annuelles (consommation électrique)	5800 t CO ₂ / an	4900 t CO ₂ / an

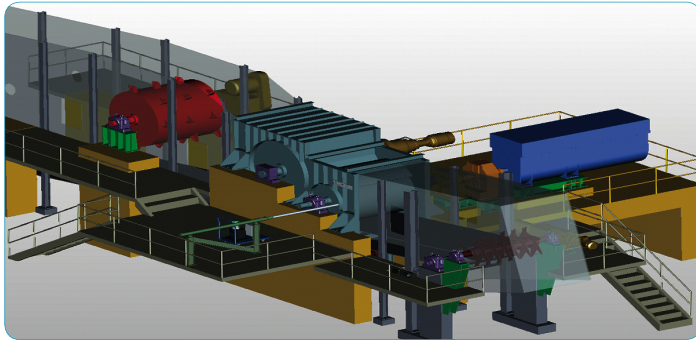
Tableau 5 – Technologies de préparation de la canne à sucre

Les consommations électriques et les émissions de GES associées font apparaître un écart entre ces deux types de technologies. Le shredder en ligne a une consommation électrique environ 16 % inférieure à celle de la préparation conventionnelle. Les émissions de GES, proportionnelles à la consommation électrique, sont plus faibles de 16% pour le shredder en ligne que pour la préparation conventionnelle.

Pour ce qui concerne le shredder en ligne, une analyse plus fine des émissions de GES au cours du cycle de vie de ce produit est présentée dans les tableaux 6 et 7.

Item	Valeur
Masse équipements (acier)	89 t
Génie civil (béton)	134 t
Maintenance annuelle (acier)	3500 kg
Recyclage acier équipements	80 %
Recyclage acier rechargement marteaux	0 %
Recyclage béton génie civil	0 %

Tableau 6 – Caractéristiques complémentaires du shredder en ligne (niveleur + shredder + motorisations)



Item	Emissions de GES
Fabrication - Montage	148 t CO ₂
Utilisation	4900 t CO ₂ / an
Fin de vie	-78 t CO ₂

Tableau 7 – Emissions de GES du shredder en ligne (niveleur + shredder + motorisations)

Cette analyse montre que les émissions de GES sont essentiellement concentrées sur la phase d'utilisation de l'équipement. La fabrication et la fin de vie ne représentent que 0,05 % des émissions avec une hypothèse de durée de vie de l'équipement de 30 ans. La maintenance annuelle ne représente que 0,1% des émissions. La préparation de la canne est un gros consommateur d'énergie. La technologie conventionnelle fait souvent appel à une turbine pour apporter l'énergie nécessaire. Il est essentiel, dans une première étape, de remplacer les turbines par des motorisations électriques (ou hydrauliques) car cette étape permet de réduire très fortement le besoin en vapeur pour l'usine ; ce qui, par conséquent, améliore le bilan énergétique global de l'usine. Dans une deuxième étape, tant pour la consommation électrique que pour les émissions de GES, la technologie de shredder en ligne est plus avantageuse que la préparation conventionnelle (figure 2). Elle permet d'exporter plus de MWh vers le réseau externe. La puissance absorbée est réduite de 660 kW dans notre exemple, soit 3300 MWh exportés en plus chaque année, ce qui est une source de revenus complémentaires.

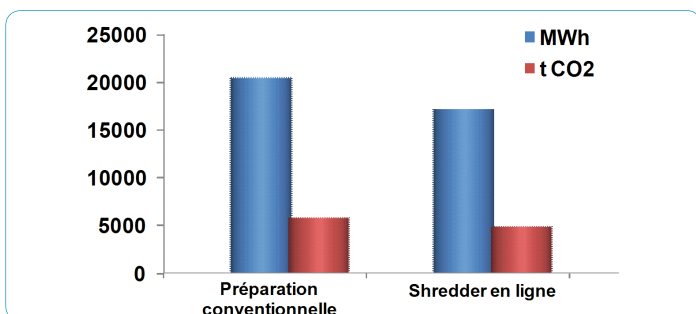


Figure 2 – Consommations électriques et émissions de GES annuelles de la préparation en ligne conventionnelle et du shredder en ligne

4.2 - Extraction du jus

Pour extraire le jus sucré, deux principes sont mis en œuvre actuellement : l'extraction par pression entre les rouleaux de moulins et l'extraction par lixiviation. Dans les deux cas cette opération est définie principalement par l'extraction de l'atelier et par l'humidité de la bagasse. Les technologies que nous avons considérées sont les moulins conventionnels ou les MillMax® pour l'extraction par pression et le diffuseur à grilles fixes avec deux moulins de répression pour l'extraction par lixiviation (P. Rein, S. Trancart). Nous avons considéré la même imbibition pour les trois technologies. Le tableau 8 présente les caractéristiques principales de ces trois technologies.

Technologie	Batterie de moulins conventionnels	Batterie de MillMax®	Diffuseur
Composants principaux	5 moulins Transporteurs intermédiaires Chutes Donnelly Motorisations électriques	5 MillMax® Transporteurs intermédiaires Chutes Donnelly Motorisations électriques	1 diffuseur 2 moulins de répression Motorisations électriques
Imbibition / fibre	250 %	250 %	250 %
Performances : Extraction pol Humidité bagasse	96,3 % 50 %	96,3 % 50 %	96,3 % 50 %
Puissance absorbée	4215 kW	2646 kW	2196 kW
Consommation électrique annuelle	21244 MWh	13336 MWh	11068 MWh
Consommation de vapeur complémentaire			6,3 t / h
Export annuel d'électricité pour compléments de vapeur	0*	0	-4202 MWh
Emissions de GES annuelles (consommation électrique et écart export électricité)	6000 t CO ₂ / an	3800 t CO ₂ / an	4300 t CO ₂ / an

(*) Valeur de référence

Tableau 8 – Technologies d'extraction du jus sucré

En ce qui concerne les consommations électriques, le diffuseur a la consommation électrique la plus faible, suivi par le MillMax® et les moulins conventionnels. A cela, il faut ajouter la consommation de vapeur nécessaire au maintien en température du diffuseur. Ayant pris en compte la même imbibition pour les trois technologies, il n'y a pas d'autre écart de consommation de vapeur. Cette consommation de vapeur conduit à une réduction de la quantité d'électricité exportée. Sur une période d'un an, 4202 MWh seront exportés en moins, comparativement aux moulins et aux MillMax®.

Le bilan global, tenant compte de la consommation électrique et de la consommation de vapeur donne l'avantage au MillMax®, puis au diffuseur et, enfin, au moulin conventionnel (figure 3). Il faut cependant noter qu'une analyse financière plus complète amène le MillMax® et le diffuseur à des niveaux très proches.

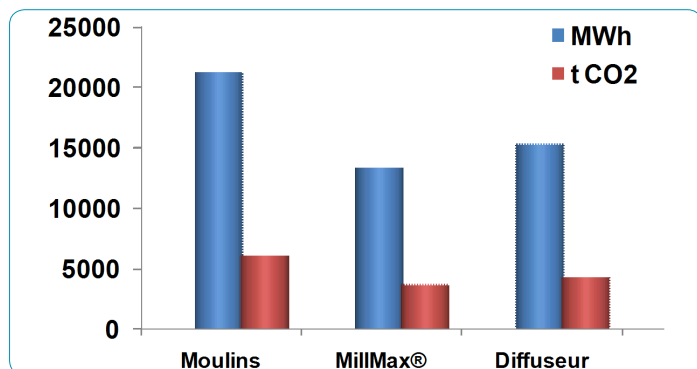


Figure 3 – Consommations électriques annuelles et émissions de GES des technologies d'extraction

Une analyse plus fine des émissions de GES au cours du cycle de vie de ces trois technologies est présentée tableaux 9 et 10.

Technologie	Batterie de moulins conventionnels	Batterie de MillMax®	Diffuseur
Masse équipements (acier)	1016 t	777 t	641 t
Génie civil (béton)	1015 t	775 t	930 t
Recyclage acier maintenance annuelle	80 %	80 %	80 %
Maintenance annuelle (acier)	18 t	11 t	7 t
Recyclage acier équipements	80 %	80 %	80 %
Recyclage béton génie civil	0 %	0 %	0 %

Tableau 9 – Caractéristiques complémentaires des technologies d'extraction

Technologie	Batterie de moulins conventionnels	Batterie de MillMax®	Diffuseur
Fabrication Montage	1500 t CO ₂	1100 t CO ₂	1000 t CO ₂
Utilisation	6000 t CO ₂ / an	3800 t CO ₂ / an	4300 t CO ₂ / an
Fin de vie	-900 t CO ₂	-700 t CO ₂	-600 t CO ₂

Tableau 10 – Emissions de GES des technologies d'extraction

Cette analyse montre que, comme pour la préparation de la canne, les émissions de GES sont essentiellement concentrées sur la phase d'utilisation de l'équipement. Quelle que soit la technologie retenue, la fabrication et la fin de vie ne représentent que

0,3 à 0,4 % des émissions pour une durée de vie des équipements de 30 ans. De même, la maintenance annuelle ne représente que 0,3% des émissions.

L'extraction du jus, comme la préparation de la canne, est un gros consommateur d'énergie. La technologie conventionnelle fait souvent appel à des turbines pour apporter l'énergie nécessaire. Comme pour la préparation, il est essentiel, dans une première étape, de remplacer les turbines par des motorisations électriques. Dans une deuxième étape, tant pour la consommation électrique que pour les émissions de GES, la technologie MillMax® est plus avantageuse que les moulins conventionnels. Elle permet d'exporter 7900 MWh de plus vers le réseau externe chaque année, ce qui est une source de revenus complémentaires.

4.3 – Evaporation du jus

La concentration du jus a pour objectif d'évaporer une grande partie de l'eau contenue dans le jus clarifié pour obtenir un sirop de brix défini, sans cristalliser à l'intérieur des évaporateurs et en colorant le jus au minimum. Nous avons considéré deux technologies : l'évaporation à grimpage et l'évaporation à flot tombant avec tubes (J. Coustel). Ces deux technologies sont présentées en 4 ou 5 effets. Le tableau 11 présente les caractéristiques et les performances principales de ces deux technologies.

	Evaporateurs à grimpage 4 effets	Evaporateurs à grimpage 5 effets	Evaporateurs à flot tombant 4 effets	Evaporateurs à flot tombant 5 effets
Technologie				
Composants principaux	4 évaporateurs	5 évaporateurs	4 évaporateurs	5 évaporateurs
Surface totale installée	17000 m ²	19000 m ²	13500 m ²	15000 m ²
Cristallisation	3 jets ; Cuites discontinues ; Prélèvements optimisés			
Consommation de vapeur atelier process sucre	414 kg / tc	360 kg / tc	403 kg / tc	350 kg / tc
Electricité exportée annuellement	0*	15290 MWh	2240 MWh	17110 MWh
Emissions de GES annuelles évitées	0	4300 t CO ₂ /an	600 t CO ₂ /an	4800 t CO ₂ /an

(*) Valeur de référence

Tableau 11 – Technologies d'évaporation du jus

Du point de vue énergétique, les différences entre ces technologies proviennent pour l'essentiel de la consommation de vapeur de l'usine résultant de l'organisation des prélèvements mise en place lorsque le schéma d'évaporation est défini. Nous avons considéré, pour chaque cas, la même avant-usine et la même cristallisation. Pour la pertinence des comparaisons, les prélèvements ont été optimisés

pour chacun des schémas considérés. A ces différences de consommation de vapeur s'ajoute un écart de consommation électrique dû aux pompes, qu'il est nécessaire d'utiliser avec les évaporateurs à flot tombant. La technologie à flot tombant permet de réduire les chutes de température entre les différents effets par l'absence de chute de température hydrostatique. Cela conduit à un léger gain en consommation de vapeur d'environ 3% par rapport au grimpage, que l'on opère en 4 ou en 5 effets. Par ailleurs, une station d'évaporation à 5 effets conduit à une réduction de la consommation de vapeur d'environ 13% par rapport à une station à 4 effets, que l'on soit en technologie grimpage ou à flot tombant. Le nombre d'effets a un impact sur la consommation plus important que la nature des évaporateurs. Pour évaluer l'impact global des différentes stations d'évaporation, nous avons déterminé les quantités d'électricité disponibles à l'export, qui dépendent en particulier de la consommation électrique des stations d'évaporation ainsi que de la consommation de vapeur de l'usine. Pour ce faire, nous avons pris comme référence le grimpage à 4 effets. Par rapport à cette référence, les tendances sont proches de celles obtenues en ne considérant que la consommation de vapeur : le flot tombant est légèrement plus performant que le grimpage et le 5 effets est beaucoup plus performant que le 4 effets. En effet, le flot tombant permet d'exporter environ 2000 MWh de plus que le grimpage, que l'on soit en 4 ou en 5 effets, et une station à 5 effets permet d'exporter entre 15000 et 17000 MWh de plus qu'une station à 4 effets, que l'on soit en grimpage ou en flot tombant (figure 4).

Lorsqu'une usine exporte ou valorise ses excédents d'électricité, elle a un intérêt économique fort à s'équiper en évaporation à flots tombant à 5 effets. Pour ce qui concerne les émissions de GES, nous retrouvons une tendance identique aux exports d'électricité : le flot tombant permet d'éviter d'émettre 500 à 600 tonnes de CO₂ par an par rapport au grimpage. Une station à 5 effets permet d'éviter d'émettre 4200 à 4300 tonnes de CO₂ par an par rapport à une station à 4 effets.

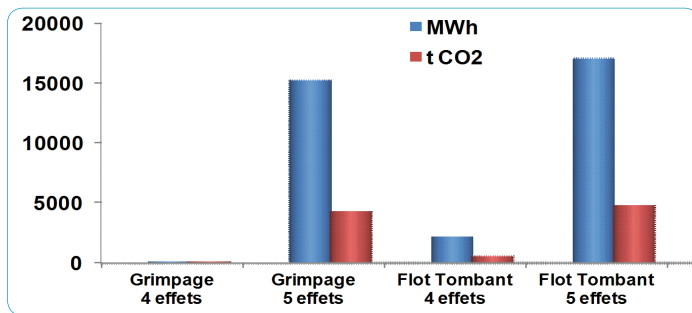


Figure 4 – Exports d'électricité et émissions de GES évitées en fonction des technologies d'évaporation

Une analyse plus fine des émissions de GES au cours du cycle de vie de ces technologies est présentée tableaux 12 et 13.

Technologie	Evaporateurs à grimpage 4 effets	Evaporateurs à grimpage 5 effets	Evaporateurs à flot tombant 4 effets	Evaporateurs à flot tombant 5 effets
Masse équipements (acier)	430 t	480 t	300 t	340 t
Génie civil (béton)			100 t	110 t
Recyclage acier équipements	80 %	80 %	80 %	80 %
Recyclage béton génie civil			0 %	0 %

Tableau 12 – Caractéristiques complémentaires des technologies d'évaporation

Technologie	Evaporateurs à grimpage 4 effets	Evaporateurs à grimpage 5 effets	Evaporateurs à flot tombant 4 effets	Evaporateurs à flot tombant 5 effets
Fabrication - Montage	470 t CO ₂	530 t CO ₂	370 t CO ₂	410 t CO ₂
Utilisation	0*	-4300 t CO ₂ / an	-600 t CO ₂ / an	-4800 t CO ₂ / an
Fin de vie	-380 t CO ₂	-420 t CO ₂	-260 t CO ₂	-300 t CO ₂

(*) Valeur de référence

Tableau 13 – Emissions de GES des technologies d'évaporation

Les émissions de GES sont essentiellement concentrées sur la phase d'utilisation des équipements. Quelle que soit la technologie retenue, la fabrication et la fin de vie représentent environ 100 tonnes de CO₂ qui sont très en-deçà des émissions évitées avec le flot tombant par rapport au grimpage ou avec le 5 effets par rapport au 4 effets.

4.4 - Cristallisation

La cristallisation est l'opération qui consiste à faire croître dans des cristallisoirs et de façon maîtrisée les cristaux de sucre. Deux technologies sont envisagées : la cristallisation discontinue et la cristallisation continue. Le tableau 14 présente les caractéristiques de ces deux technologies.

Technologie	Cuites continues	Cuites discontinues
Composants principaux	Cuites continues 3 jets ; Cuites de pied ; Malaxeurs à magma ; Malaxeurs à massecuite	Cuites batch 3 jets Malaxeurs à massecuite
Consommation de vapeur atelier process sucre	330 kg / tc	360 kg / tc
Electricité exportée annuellement	10400 MWh	0*
Emissions de GES annuelles évitées	-3000 t CO ₂ / an	0

(*) Valeur de référence

Tableau 14 – Technologies de cristallisation

Du point de vue énergétique, les différences entre ces technologies proviennent pour l'essentiel de leur consommation de vapeur. Les cuites continues permettent de fonctionner à des pressions plus basses que les cuites batch, ce qui permet de reculer les prélèvements de vapeur et de réduire la consommation globale de l'usine. Après optimisation des prélèvements, la consommation globale de l'usine est réduite d'environ 10% avec un schéma à 3 jets en cuites continues comparé à un schéma à trois jets en cuites batch. La cristallisation continue est donc très intéressante pour les économies d'énergie.

En ce qui concerne l'export d'électricité, la réduction de la vapeur consommée avec des cuites continues permet d'exporter plus d'électricité. L'écart entre la cristallisation continue et la cristal

lisation discontinue est de 10400 MWh par campagne. Lorsqu'une usine exporte ou valorise ses excédents d'électricité, elle a un intérêt économique fort à s'équiper en cristallisation continue. Pour ce qui concerne les émissions de GES, la cristallisation continue permet d'éviter d'émettre 3000 tonnes de CO₂ par an par rapport à la cristallisation discontinue (figure 5).

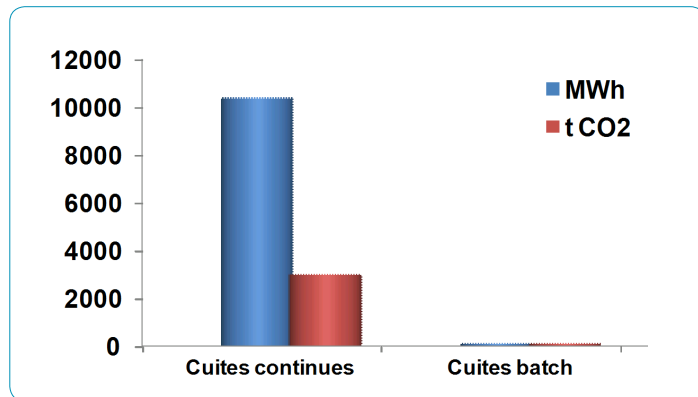


Figure 5 – Exports d'électricité et émissions de GES évitées en fonction des technologies de cristallisation

Technologie	Cuites continues	Cuites discontinues
Masse équipements (acier)	530 t	800 t
Recyclage acier équipements	80 %	80 %

Tableau 15 – Caractéristiques complémentaires des technologies de cristallisation

Technologie	Cuites continues	Cuites discontinues
Fabrication Montage	150 t CO ₂	230 t CO ₂
Utilisation	-3000 t CO ₂ / an	0
Fin de vie	-120 t CO ₂	-180 t CO ₂

Tableau 16 – Emissions de GES des technologies de cristallisation

Une analyse plus fine des émissions de GES au cours du cycle de vie de ces technologies est présentée tableaux 15 et 16. Les émissions de GES sont essentiellement concentrées sur la phase d'utilisation des équipements. Cependant, la fabrication de cuites continues nécessite moins de matières premières, ce qui conduit à des émissions de GES 35% plus faibles que pour les cuites discontinues.

4.5 - Centrifugation

Pour ce qui concerne l'essorage, nous avons considéré lesessoreuses discontinues ZUKA® pour l'essorage du premier jet et lesessoreuses continues FC 1550 pour les jets B et C (C. Pelletan, G. Pilot).

Les consommations électriques de cesessoreuses sont présentées dans le tableau 17. La consommation annuelle de tout l'essorage est de 1580 MWh (20% pour lesessoreuses batch et 80% pour les continues).

Les émissions de GES sont essentiellement concentrées sur la phase d'utilisation des équipements puisque la fabrication et la fin de vie ne représentent que 0,2% environ des émissions.



Technologie	Essoreuse ZUKA® 1750	Essoreuse FC 1550
		
Composants principaux	4essoreuses discontinues	7essoreuses continues
Consommation électrique par tonne de masecuite essorée	0,65 kWh/tmc (jet A)	4 kWh/tmc (jet B) 6 kWh/tmc (jet C)
Consommation électrique annuelle	330 MWh / an	1250 MWh / an
Masse équipements (acier)	40 t	35 t
Recyclage acier équipements	80%	80%
Emissions de GES (fabrication)	45 t CO ₂	40 t CO ₂
Emissions de GES (utilisation)	90 t CO ₂ / an	350 t CO ₂ / an
Emissions de GES (fin de vie)	-35 t CO ₂	-30 t CO ₂

Tableau 17 – Caractéristiques desessoreuses discontinues et continues

4.6 – Séchage du sucre

Pour ce qui concerne le séchage du sucre, nous avons considéré le sécheur refroidisseur multitube. La consommation électrique de cet atelier est présentée dans le tableau 18. La consommation annuelle est de 1000 MWh.

Les émissions de GES sont essentiellement concentrées sur la phase d'utilisation des équipements puisque la fabrication et la fin de vie ne représentent que 0,3% environ des émissions.


Technologie	Sécheur multitube
	
Composants principaux	1 sécheur multitube Circuit air froid Circuit air chaud Circuit dépoussiérage
Humidité finale sucre	< 0,04 %
Puissance absorbée	190 kW
Consommation électrique annuelle	1000 MWh
Masse équipements sécheur (acier)	140 t
Recyclage acier équipements	80%
Emissions de GES (fabrication)	160 t CO ₂
Emissions de GES (utilisation)	280 t CO ₂ / an
Emissions de GES (fin de vie)	-130 t CO ₂

Tableau 18 – Caractéristiques du sécheur multitube

5 - CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Nous avons évalué en détail les performances énergétiques et les émissions de gaz à effet de serre (GES) des équipements de l'avant-usine et de l'atelier process sucre d'une unité industrielle d'exploitation de la canne à sucre. Ces évaluations sont issues de mesures effectuées en usine. Quand cela a été possible, différentes technologies ont été comparées.

Ces évaluations font ressortir les technologies de Fives Cail qui présentent des avantages énergétiques significatifs :

- le shredder en ligne (-16% de consommation par rapport à la préparation conventionnelle) et le MillMax® (-37% de consommation par rapport aux moulins conventionnels) pour ce qui concerne l'avant-usine,
- les cuites continues (-10% de consommation par rapport aux cuites discontinues), les évaporateurs à flot tombant à 5 effets (-3% de consommation par rapport aux évaporateurs à grimpage à 5 effets et -13% de consommation par rapport aux évaporateurs à grimpage à 4 effets) pour ce qui concerne le process sucrier.

En ce qui concerne les émissions de GES, les émissions évitées étant proportionnelles à la consommation énergétique, les technologies économes en énergie sont aussi celles qui participent le plus aux émissions de GES évitées. La fabrication et la fin de vie des équipements représentent moins de 1% des émissions de la phase d'utilisation des produits.

Lorsqu'un exploitant industriel cogénère son électricité et sa vapeur, l'utilisation de chaudières haute pression, puis l'électrification de l'avant-usine et enfin l'emploi de technologies économes en électricité ou en vapeur lui permettront d'exporter plus d'électricité, ce qui sera pour lui une source de revenus significative. La mise en œuvre de ces technologies permet de mieux exploiter le potentiel énergétique et économique de la filière canne à sucre. A terme d'autres approches sont susceptibles d'accroître encore le potentiel énergétique de la canne (Lora). En particulier, l'utilisation de cannes plus riches en fibres, la valorisation des résidus de la canne (feuilles, paille) sont des orientations qui vont certainement se concrétiser. ■

jean-luc.magalhaes@fivesgroup.com

6 - RÉFÉRENCES

- ADEME, Emission factors guide, version 5.0, 2007
- ADEME, Bilan Carbone®, version 6, 2010
- BNDES and CGEE, Sugarcane-Based Bioethanol – Energy for sustainable development, Rio de Janeiro, 2008
- J. Coustel et al., Falling film evaporator performance results from two Reunion Island factories, Zuckerindustrie 134 (2009), 11, 225 - 229
- S. T. Inskip, Cane preparation – Optimized technology, Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol., 27, 2010
- E. E. S. Lora and al., Thermodynamics limits for the production of ethanol and electricity from sugarcane, Zuckerindustrie 131 (2006), 11, 759 – 765
- E. E. S. Lora and al., A sugarmill cogeneration plant repowering alternatives: evaluations through the combination of thermodynamics and economic concepts, International Sugar Journal 2008, 110, 1316, 488 - 495
- I. C. Macedo et al., Green house gases emissions in the production and use of ethanol from sugarcane in Brazil: the 2005/2006 averages and a prediction for 2020, Biomass and Bioenergy, 32 (2008), 582-595
- B. Moor, Simple new equipment and processes for improving energy efficiency in sugar factories, ISSCT SIMTEC Engineering workshop, June 2008
- C. Pelletan, Essoreuses continues de grande capacité, Congrès Association Van Hook, Reims - France, Mars 2004
- G. Pilot, Zuka, the new range of radically improved batch centrifugals from Fives Cail, Proceedings of the South African Sugar technologists' Association – July 2006
- P. Rein, A comparison of cane diffusion and milling, Proceedings of the South African Sugar technologists' Association – June 1995
- P. Rein, The development of sustainability standards in the sugar industry, Zuckerindustrie 135 (2010), 2, 82-87
- S. Trancart, MillMax®: an innovative technology in cane extraction, International Sugar Journal 2008, 110, 1316, 503 -512
- <http://unfccc.int>
- M. Wang et al., Life-cycle energy use and greenhouse gas emission implications of Brazilian sugarcane ethanol simulated with the GREET model, International Sugar Journal 2008, 110, 1317, 527 -545

AGORIALES 2010

Premier Forum des jeunes docteurs pour promouvoir la recherche et l'emploi scientifique dans les Industries Alimentaires, les biotransformations et la chimie verte

**lundi 18 octobre 2010, Paris nord Villepinte
Dans le cadre des salons IPA et SIAL**

Organisation : ACIA, Association des Chimistes, Ingénieurs et Cadres des Industries Agricoles et Alimentaire. avec le soutien de : Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche, Région Ile de France, Inra, Actia, AgroParisTech.

Renseignements : agoriales@numericable.fr