

La cogénération électrique dans les sucreries de canne de l'île de la Réunion

Aujourd'hui, 30 % de l'électricité produite sur l'île de la Réunion provient d'une centrale utilisant deux combustibles, dont l'un, la bagasse, est un résidu de l'industrie sucrière locale. A partir du mois de juillet 1995, une seconde centrale sera mise en service : l'ensemble couvrira alors 55 % des besoins en électricité de l'île. Ces centrales fournissent aussi l'électricité et la vapeur d'eau nécessaires au fonctionnement des sucreries qui les approvisionnent en bagasse.

B. ROBERT

Président des Compagnies thermiques de Bois-Rouge et du Gol, SIDEC, 30 rue de Miromesnil, 75008 Paris, France

L'île de la Réunion produit en moyenne 2 millions de tonnes de canne à sucre par an, actuellement traitées dans trois sucreries : le Gol, Bois-Rouge et Beaufonds (figure 1). A la fin de la campagne 1995, la sucrerie de Beaufonds sera arrêtée et l'ensemble de la production sera brassée dans les deux sucreries du Gol et de Bois-Rouge.

Le traitement de la canne entraîne la production d'un résidu fibreux, la bagasse, à raison de 320 kilogrammes en moyenne par tonne de canne broyée, soit 650 000 tonnes par an pour l'île. Les sucreries de canne la brûlent dans des chaudières adaptées pour obtenir la vapeur et l'énergie électrique dont elles ont besoin. Mais dans les sucreries modernes, cette utilisation ne permet pas d'épuiser le stock disponible. Divers emplois ont été proposés pour la bagasse excédentaire : fabrication de panneaux de fibres, de pâte à papier, de matières plastiques ou de solvants...

La solution mise en œuvre à la Réunion consiste à employer toute la bagasse comme combustible pour

produire, avec un bon rendement énergétique, de la vapeur d'eau et de l'électricité. C'est ce qui a été réalisé dans les centrales électriques couplées aux sucreries de Bois-Rouge et du Gol. La première est en service depuis 1992 et la seconde le sera en juillet 1995.

L'emploi rationnel de la bagasse

La bagasse a une masse spécifique faible, d'environ 120 kilogrammes par mètre cube. Son humidité est généralement comprise entre 46 et 48 %. Stockée, elle fermente et s'enflamme facilement. Elle a un pouvoir calorifique de 1 850 kilocalories par kilogramme, très comparable à celui de nombreux lignites extraits dans le monde à grand renfort de matériels coûteux.

Elle contient peu de cendres (3 % du poids sec environ) et pratiquement pas de soufre, ce qui est particulièrement intéressant sur le plan des rejets gazeux et solides.



Les lignites...

les lignites, comme les charbons, ont été formés à partir des végétaux ligneux de l'ère secondaire. Selon le temps et les conditions de pression, le degré d'évolution varie du produit complètement transformé (le charbon) à un produit intermédiaire (le lignite) ou peu transformé (la tourbe).

Qu'est-ce que la « cogénération » ?

Le bon rendement énergétique recherché est obtenu grâce à trois dispositions. En premier lieu, les caractéristiques de pression et de température de la vapeur en sortie de chaudière sont très sensiblement supérieures à celles généralement adoptées dans les sucreries. Ensuite, les chaudières sont conçues pour obtenir une combustion aussi complète que possible. Enfin, le fonctionnement se fait en « cogénération » pendant toute la campagne sucrière.

La cogénération consiste à produire de la vapeur à des pressions et à des températures nettement supérieures à celles nécessaires au fonctionnement de la sucrerie. La vapeur est alors détendue dans un groupe turbo-alternateur jusqu'aux conditions de pression et de température requises par la sucrerie. Cette détente permet de récupérer des quantités importantes d'énergie électrique.

Ainsi, en cogénération totale, les rendements énergétiques obtenus dans les installations modernes atteignent couramment 85 % (rapport de l'énergie récupérée à l'énergie contenue dans le combustible) au lieu de 25 à 40 % pour les fonctionnements classiques.

La complémentarité de deux combustibles

Bien entendu, de telles installations coûtent cher. Elles demandent en outre une main-d'œuvre qualifiée et un traitement adapté



Figure 1. L'implantation des sucreries et des centrales de cogénération électrique sur l'île de la Réunion.

Vue de la centrale de Bois-Rouge.
Cliché B. Robert



Le fonctionnement d'une ligne de production

Le fonctionnement d'une des deux lignes de la centrale de Bois-Rouge est présenté sur le diagramme de la figure 2.

L'abscisse (Q_b) du diagramme correspond aux quantités (en tonnes) de vapeur qui alimentent la partie basse pression de la turbine. L'ordonnée (Q_h) correspond aux quantités (en tonnes) de vapeur produites par la chaudière et alimentant la partie haute pression de la turbine.

Une deuxième échelle verticale (B) donne les quantités (en tonnes) de bagasse brûlées en regard des tonnes de vapeur produites par la chaudière.

La troisième échelle verticale (C) indique, pour un ratio de 320 kilogrammes de bagasse par tonne de canne, la correspondance entre la quantité (en tonnes) de canne traitée par la sucrerie et la quantité de bagasse produite (en réalité, il s'agit exactement de la moitié des quantités de canne traitées puisque le diagramme illustre le fonctionnement d'une seule ligne de la centrale, et non pas des deux à la fois).

Sur le diagramme, les courbes d'égal soutirage Q_s ($Q_s = \text{constante}$, en tonnes par heure) sont des droites inclinées à 45°. Les courbes d'égal puissance W ($W = \text{constante}$, en mégawatts) aux bornes de l'alternateur sont assimilables à des droites de coefficient angulaire négatif.

Si le réseau appelle une puissance W_i et si la sucrerie et la centrale demandent une quantité de vapeur soutirée Q_{si} , le point de fonctionnement I est à l'intersection des droites $W = W_i$ et $Q_s = Q_{si}$.

Prenons l'exemple du fonctionnement horaire d'une ligne en période de pleine charge.

La centrale et la sucrerie ont besoin de 180 tonnes de vapeur (soit $Q_s = 90$ pour une ligne). La centrale peut alors fournir au réseau un maximum de 26,2 mégawatts par ligne ($W = 26,2$). La quantité Q_h produite par la chaudière pour alimenter d'abord la partie haute pression de la turbine sera au total de 130 tonnes de vapeur. La quantité Q_b de vapeur alimentant la partie basse de la turbine sera de 40 tonnes par ligne. Cela correspond finalement à 55 tonnes de bagasse brûlée dans chacune des deux chaudières, c'est-à-dire au brassage initial de $172 \times 2 = 344$ tonnes de canne par la sucrerie.

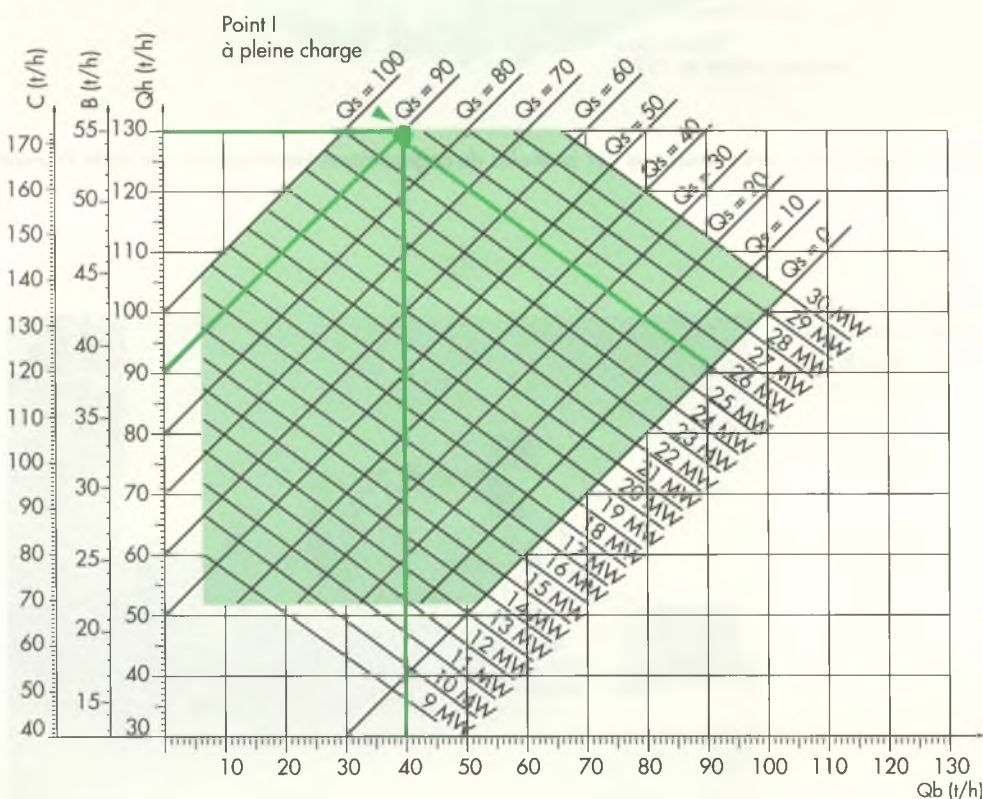


Figure 2. Diagramme de fonctionnement de la centrale de Bois-Rouge pendant la campagne sucrière.

de l'eau qui alimente les chaudières. Pour ces raisons économiques et techniques, il est indispensable qu'elles fonctionnent toute l'année sans interruption.

Or, comme le stockage de la bagasse est peu économique, celle-ci est brûlée au fur et à mesure de sa production pendant la campagne sucrière, soit pendant 5 à 6 mois à la Réunion : il faut donc utiliser, le reste de l'année, un second combustible (charbon, lignite, fuel, gaz). D'un point de vue quantitatif, la moitié environ de l'électricité ainsi produite est issue de la combustion de la bagasse, et l'autre moitié du second combustible, ici le charbon.

Les principes directeurs du projet

La centrale d'exploitation de la bagasse constitue un ensemble industriel accolé à la sucrerie, mais totalement distinct de cette dernière. En effet, elle a son propre personnel et un compte d'exploitation séparé. Une société particulière a été créée pour la financer, la construire et l'exploiter. La sucrerie livre gratuitement à la centrale la totalité de la bagasse qu'elle produit. En échange, elle reçoit gratuitement la vapeur basse pression et l'énergie électrique dont elle a besoin, c'est-à-dire 400 à 450 kilogrammes de vapeur à une pression de 3 bars et 30 kilowattheures d'énergie électrique par tonne de canne brassée.

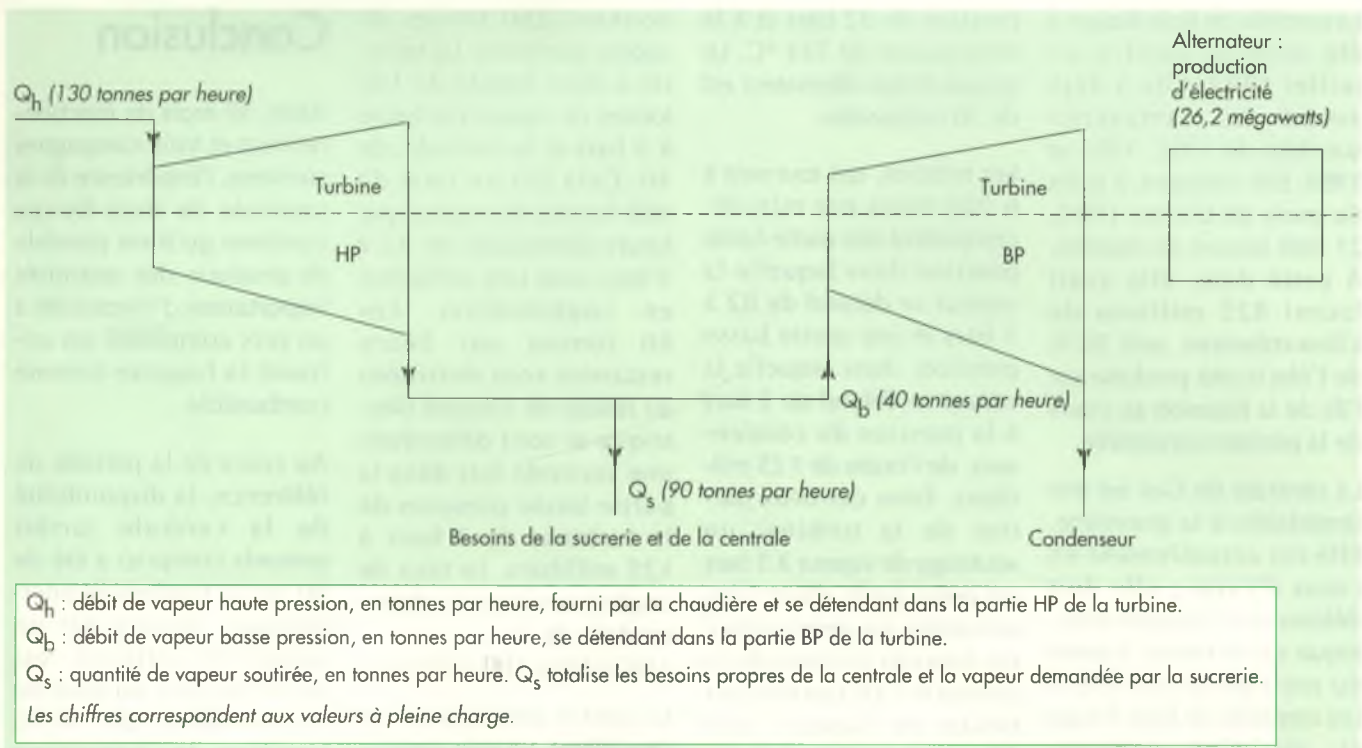


Figure 3. Le circuit de la vapeur sur une ligne de production de la centrale.

La sucrerie retourne à la centrale 90 % du poids de la vapeur qu'elle a reçue, sous forme de condensats à la température de 90 °C.

La société qui exploite la centrale tire toutes ses ressources de la vente de l'électricité produite en sus de celle utilisée par la sucrerie. Le projet repose donc sur un contrat à long terme entre cette société et l'acheteur de courant électrique.

La centrale est dimensionnée pour brûler la bagasse obtenue pendant une semaine par la sucrerie. Pour cela, la première est équipée d'un magasin à bagasse entièrement mécanisé qui permet de déconnecter la production de la bagasse de sa combustion dans les chaudières.

Pour assurer une bonne sécurité d'exploitation, la centrale comporte deux

« lignes » de production identiques, qui fonctionnent en parallèle. Chaque ligne comprend une chaudière, un groupe turbo-alternateur, un condenseur et un réfrigérant atmosphérique. Le schéma retenu permet de nombreuses possibilités de croisement : par exemple, faire débiter la chaudière n° 1 sur le turbo-alternateur n° 2 et vice-versa. Ce schéma accroît considérablement la souplesse d'exploitation. Une chaudière peut ainsi tourner au charbon et l'autre à la bagasse. Par ailleurs, les clients, sucrerie et réseau électrique, sont pratiquement assurés de disposer des ressources produites par une ligne au moins.

Les chaudières sont du type à grille avec projection des combustibles. Grâce à la conjonction de l'air primaire ascendant qui traverse

la grille et de l'air secondaire introduit en divers étages de la chambre de combustion, 70 % de la bagasse brûlent en suspension et le reste sur la grille. La combustion très complète de la bagasse, jusqu'à 50 % d'humidité, est possible grâce à :

- un grand volume du foyer, permettant un séjour suffisamment long du combustible ;
- une température élevée de l'air de combustion (jusqu'à 220 °C), par l'emploi de trois réchauffeurs d'air ;
- l'injection d'air secondaire à grande vitesse sur plusieurs niveaux ;
- la réinjection dans le foyer des cendres recueillies sous le dépoussiéreur multicyclone et sous les économiseurs.

Enfin, le passage d'un combustible à l'autre s'effectue automatiquement, soit par décision du personnel de

conduite, soit sur un défaut d'alimentation. Par exemple, dès que deux alimentateurs-projeteurs de bagasse ne sont pas alimentés, la chaudière passe au second combustible. L'automatisme agit sur les différents paramètres de la combustion pour maintenir les caractéristiques et la quantité de vapeur envoyée à la turbine.

Application aux centrales de Bois-Rouge et du Gol

Les principes décrits précédemment ont été appliqués dans deux projets à la Réunion, à proximité des sucreries du Gol et de Bois-Rouge. Pour ces deux projets, le second combustible choisi est le charbon, importé d'Afrique du Sud.

La centrale de Bois-Rouge a été mise en service en juillet 1992. Elle a déjà assuré les campagnes sucrières de 1992, 1993 et 1994. Elle comptait, à la fin du mois de février 1995, 21 000 heures de marche. A cette date, elle avait fourni 825 millions de kilowattheures, soit 30 % de l'électricité produite sur l'île de la Réunion au cours de la période considérée.

La centrale du Gol est très semblable à la première. Elle est actuellement en cours d'essai ; elle doit débiter de l'énergie électrique sur le réseau à partir du mois de juillet 1995. Les centrales de Bois-Rouge et du Gol consommeront toute la bagasse de l'île de la Réunion, soit 650 000 tonnes par an en moyenne, et 310 000 tonnes de charbon.

Description de la centrale de Bois-Rouge

La centrale de Bois-Rouge est constituée de deux lignes de production identiques (figure 3).

Chaque chaudière a une capacité de 130 tonnes par heure de vapeur, à la

pression de 82 bars et à la température de 525 °C. Le groupe turbo-alternateur est de 30 mégawatts.

Les turbines, qui tournent à 6 200 tours par minute, comportent une partie haute pression dans laquelle la vapeur se détend de 82 à 3 bars et une partie basse pression, dans laquelle la vapeur se détend de 3 bars à la pression du condenseur, de l'ordre de 125 millibars. Entre ces deux parties de la turbine, un soutirage de vapeur à 3 bars est prévu pour, d'une part, alimenter en permanence les besoins propres de la centrale (30 tonnes par heure de vapeur, soit 15 tonnes par heure et par turbine), et, d'autre part, fournir en plus la vapeur nécessaire à la sucrerie pendant la campagne sucrière (en moyenne 75 tonnes par heure et par turbine, et au maximum 85 tonnes) : au total, cela revient à un maximum de 100 tonnes par heure et par turbine.

Pratiquement, à pleine charge, la sucrerie traite, à l'heure, 340 tonnes de canne et produit 110 tonnes de bagasse, qui, brûlées dans les deux chaudières de la centrale,

donnent 260 tonnes de vapeur par heure. La sucrerie a alors besoin de 150 tonnes de vapeur par heure à 3 bars et la centrale, de 30. Cela fait un total de 180 tonnes de vapeur par heure détendues de 82 à 3 bars pour une utilisation en cogénération. Les 80 tonnes par heure restantes sont destinées au réseau de courant électrique et sont détendues une seconde fois dans la partie basse pression de la turbine, de 3 bars à 125 millibars. Le taux de cogénération ainsi défini est donc de :

$$(180/260) \times 100 = 70 \%$$

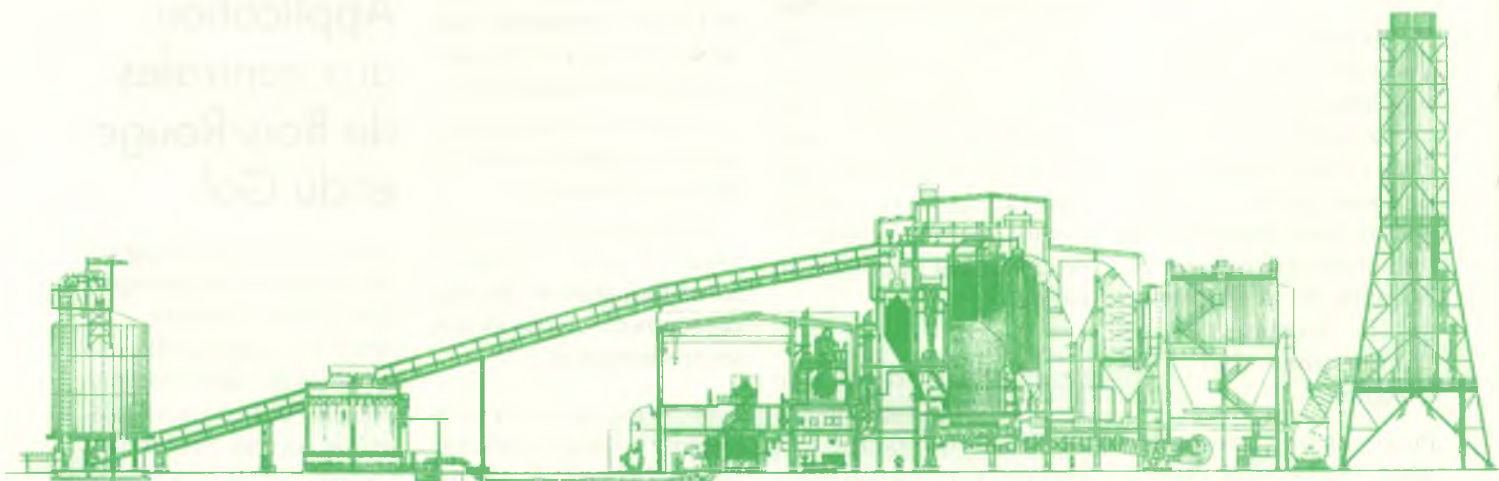
En sortie extérieure des chaudières, un soin particulier a été apporté au traitement des fumées. Le traitement à sec a été choisi. Il est effectué par un dépoussiéreur multicyclone suivi d'un dépoussiéreur électrostatique. Les résultats sont excellents : la teneur en poussière des fumées est inférieure à 30 milligrammes par normal mètre cube pour la bagasse et à 50 pour le charbon (les normes de protection de l'environnement imposent des rejets de poussière inférieurs à 100 milligrammes pour la bagasse et 50 milligrammes pour le charbon).

Conclusion

Après 30 mois de fonctionnement et trois campagnes sucrières, l'expérience de la centrale de Bois-Rouge confirme qu'il est possible de produire des quantités importantes d'électricité à un prix compétitif, en utilisant la bagasse comme combustible.

Au cours de la période de référence, la disponibilité de la centrale (arrêts annuels compris) a été de 90 %. Le rendement énergétique, mesuré par un organisme officiel, est de 65 % pour un taux de cogénération de 70 % pendant la campagne sucrière.

Pour l'industrie sucrière, l'intérêt est clair : son énergie lui est fournie gratuitement (plus d'investissement ni de frais d'exploitation). De plus, le passage instantané d'un combustible à l'autre offre beaucoup de confort dans la conduite de la sucrerie, qui est assurée de disposer de vapeur quels que soient les aléas de son exploitation. Enfin, l'emploi rationnel d'une énergie locale et renouvelable est un atout important.



Coupe en élévation de la chaudière et ses organes. Dessin Compagnie thermique de Bois-Rouge.

Résumé... Abstract... Resumen

B. ROBERT — La cogénération électrique dans les sucreries de canne de l'île de la Réunion.

Sur l'île de la Réunion, les Compagnies thermiques de Bois-Rouge et du Gol ont mis en service deux centrales électriques utilisant comme combustibles le charbon et la bagasse, résidu fibreux du traitement de la canne à sucre dans les sucreries. Chaque centrale brûle dans des chaudières spécifiques la bagasse fournie par une sucrerie. Elle offre en échange l'électricité et la vapeur d'eau dont cette dernière a besoin, et produit également de l'électricité pour le réseau de l'île. Elle fonctionne sur le principe de la cogénération électrique, c'est-à-dire qu'elle fabrique de l'électricité par détentes successives de la vapeur d'eau à haute pression (82 bars) et température élevée (525 °C) vers des basses pressions (3 bars et 125 millibars) et une température faible (45 °C dans le condenseur). A partir de 1996, les deux centrales traiteront l'ensemble de la bagasse issu de l'industrie sucrière réunionnaise (650 000 tonnes) et fourniront 55 % de l'électricité de l'île.

Mots-clés : canne à sucre, bagasse, combustible, électricité, île de la Réunion.

B. ROBERT — Electricity cogeneration in cane sugar mills in Reunion island.

The Bois-Rouge and Gol power companies on Reunion island have put into service two generating stations fuelled by coal and bagasse, the fibrous residue of sugar cane processing. Each station uses special furnaces to burn bagasse to produce the electricity and water vapour required by the mill and also feeds electricity into the island grid. The installations use the cogeneration principle, that is to say that electricity is produced by successive pressure reduction of water vapour at high pressure (82 bar) and a high temperature (525°C) to low pressures (3 bar and 125 mb) and low temperature (45°C in the condenser). From 1996, the two power installations will use all the bagasse produced by the Reunion sugar industry (650,000 tonnes) and will provide 55% of the island's power supplies.

Keywords: sugarcane, bagasse, fuel, electricity, Reunion.

B. ROBERT — La cogeneración eléctrica en los ingenios de azúcar de caña de la isla de la Réunion.

En la isla de la Réunion, las Compañías térmicas de Bois-Rouge y de Gol han puesto en servicio dos centrales eléctricas que utilizan como combustibles el carbón y el bagazo, residuo fibroso del procesamiento de la caña de azúcar en los ingenios. Cada central quema en calderas específicas el bagazo producido por una fábrica de azúcar. A cambio de éste, ofrece la electricidad y el vapor de agua que el ingenio necesita y también produce electricidad para la red de la isla. La central funciona según el principio de cogeneración eléctrica, es decir que fabrica la electricidad por expansiones sucesivas del vapor de agua a alta presión (82 bars) y temperatura elevada (525°C) hacia presiones bajas (3 bars y 125 milibares) y una temperatura también baja (45°C en el condensador). A partir de 1996, las dos centrales tratarán todo el bagazo resultante de la industria azucarera reunionesa (650 000 toneladas) y suministrarán el 55% de la electricidad de la isla.

Palabras clave: caña de azúcar, bagazo, combustible, electricidad, isla de la Réunion.

Les hauts de Saint-Pierre (Sud-Ouest).
Champ de canne à sucre à l'île de la Réunion.
Cliché R. Fauconnier

